Schleswig-Holstein. Der echte Norden.

Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein



Schleswig-Holsteinischer Landtag
Umdruck 20/6604

SH Schleswig-Holstein
Der echte Norden

Inhalt

1 Klimarisikoanalyse 5
1.1 Bedeutung für die Klimaanpassung 5
1.2 Methodik zur Erstellung der Klimarisikoanalyse 5
1.3 Struktur und Tiefe der Analysen 6
1.4 Bewertung der Klimawirkungen und des Handlungsbedarfs 7
2 Handlungsfeld Energieinfrastruktur 8
2.1 Relevanz des Handlungsfelds 8
2.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 9
2.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 12
2.4 Klimawirkung „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland" 14
3 Handlungsfeld Gebäude 23
3.1 Relevanz des Handlungsfelds 23
3.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 24
3.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 26
3.4 Klimawirkung „Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser" 28
4 Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung 33
4.1 Relevanz des Handlungsfelds 33
4.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 34
4.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 36
4.4 Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" 38
4.5 Klimawirkung „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt" 52
5 Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur 57
5.1 Relevanz des Handlungsfelds 57
5.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 58
5.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 61
5.4 Klimawirkung „Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs" 63
6 Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz 69
6.1 Relevanz des Handlungsfelds 69
6.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 70
6.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 74
6.4 Klimawirkung „Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland" 78
7 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Boden 93
7.1 Relevanz des Handlungsfelds 93
7.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 93
7.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 100
7.4 Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind" 102
7.5 Klimawirkung „Wassermangel im Boden" 116
7.6 Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser" 124
8 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Landwirtschaft 129
8.1 Relevanz des Handlungsfelds 129

8.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 130
8.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 134
8.4 Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen" ... 137
8.5 Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus" 151
9 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Forstwirtschaft ... 161
9.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 161
9.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 162
9.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 165
9.4 Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit" ... 168
9.5 Klimawirkung „Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden" ... 178
10 Handlungsfeld Menschliche Gesundheit ... 183
10.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 183
10.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 184
10.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 187
10.4 Klimawirkung „Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze" ... 190
10.5 Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)" ... 199
10.6 Klimawirkung „Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft" ... 203
11 Handlungsfeld Bevölkerungsschutz ... 209
11.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 209
11.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 210
11.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 213
11.4 Klimawirkung „Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes" ... 215
12 Handlungsfeld Küstenschutz ... 224
12.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 224
12.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 224
12.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 228
12.4 Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen" ... 230
12.5 Klimawirkung „Veränderung von Küstenrückgang und -erosion" ... 235
13 Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft ... 244
13.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 244
13.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 245
13.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 251
13.4 Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" ... 255
13.5 Klimawirkung „Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen" ... 270
13.6 Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit" ... 276
13.7 Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten" ... 286
14 Handlungsfeld Fischerei ... 292
14.1 Relevanz des Handlungsfelds ... 292
14.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld ... 293
14.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf ... 296
14.4 Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee" ... 300
14.5 Klimawirkung „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen" ... 306

15 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe 312
15.1 Relevanz des Handlungsfelds 312
15.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 312
15.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 318
15.4 Klimawirkung „Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern“ 320
16 Handlungsfeld Tourismus 334
16.1 Relevanz des Handlungsfelds 334
16.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld 335
16.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf 338
16.4 Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen“ 339
Abkürzungsverzeichnis 352

1 Klimarisikoanalyse

1.1 Bedeutung für die Klimaanpassung

Gemäß § 10 Abs. 2 des Klimaanpassungsgesetzes des Bundes (KAnG) bildet die Klimarisikoanalyse (KRA) einen zentralen Bestandteil landeseigener vorsorgender Klimaanpassungsstrategien. Während die Klimaanalyse[1] und das Klimafolgenmonitoring[2] den Blick auf die vergangenen Entwicklungen und die aktuell beobachtbaren Auswirkungen des Klimawandels richten, dient die Klimarisikoanalyse dazu, potenzielle zukünftige Risiken des Klimawandels – wenn möglich – datengestützt zu identifizieren und zu bewerten. Dabei fließen unter anderem die Erkenntnisse aus der Klimaanalyse sowie aus dem Klimafolgenmonitoring ein. Neben den klimatischen Veränderungen berücksichtigt die Klimarisikoanalyse auch die spezifischen natürlichen, räumlichen und gesellschaftlichen Gegebenheiten in Schleswig-Holstein. Die Ergebnisse der Klimarisikoanalyse sollen die Ableitung von Handlungsbedarfen sowie die Planung und Umsetzung von gezielten Anpassungsmaßnahmen unterstützen.

1.2 Methodik zur Erstellung der Klimarisikoanalyse

Der Ausgangspunkt für die Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein ist wie in § 10 Abs. 2 KAnG vorgesehen die Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) 2021 des Bundes[3]. Die konzeptionelle Herangehensweise in der KWRA bildet das methodische Grundgerüst für die landeseigene Klimarisikoanalyse. Die Umsetzung in Schleswig-Holstein folgt auch den Grundprinzipien des internationalen Standards DIN EN ISO 14091[4] zur „Anpassung an den Klimawandel – Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung". Diese strategischen Grundlagen gewährleisten eine systematische und transparente Identifizierung von Klimarisiken. Um die Entwicklung der Klimarisiken für Schleswig-Holstein möglichst konkret abschätzen zu können, basieren die Analysen vor allem auf landesspezifischen Daten.

Die Erstellung der Klimarisikoanalyse erfolgte in einem mehrstufigen Prozess unter Federführung des Ministeriums für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur (MEKUN) und in enger Abstimmung mit den fachlich zuständigen Ressorts:

- Ausgehend von den in der KWRA 2021 aufgeführten Klimawirkungen wurden in einem ersten Schritt die in der Klimarisikoanalyse des Landes zu berücksichtigenden Klimawirkungen ausgewählt. Kriterien dafür waren die Feststellung einer grundsätzlichen ökologischen, ökonomischen oder sozialen Relevanz für Schleswig-Holstein, Hinweise auf bereits beobachtete Betroffenheiten im Land (beispielsweise auf Basis der Ergebnisse der bundesweiten KWRA 2021, des Klimafolgenmonitorings oder anderer landesspezifischer Untersuchungen), Hinweise auf zukünftig zu erwartende Betroffenheiten durch die Klimawirkung sowie Informationen zu bereits laufenden oder geplanten Aktivitäten zur Anpassung.
- Die ausgewählten Klimawirkungen wurden auf Basis ihrer Relevanz sowie der für eine Risikoanalyse zur Verfügung stehenden Datengrundlagen innerhalb der einzelnen Handlungsfelder priorisiert. Für priorisierte Klimawirkungen erfolgte eine Skizzierung entlang von Wirkungsketten. Wirkungsketten stellen die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen klimatischen Veränderungen und den möglichen ökologischen, ökonomischen oder gesellschaftlichen Auswirkungen systematisch dar. Sie verdeutlichen die zentralen Wirkpfade, über die klimatische Veränderungen zu konkreten Risiken führen können. Für die Skizzierung wurden die Wirkungsketten strukturiert aufbereitet und soweit möglich bereits mit verfügbaren Datengrundlagen für Schleswig-Holstein hinterlegt. Dieser Schritt diente zugleich als fachliche Vorbereitung der anschließenden handlungsfeldspezifischen Fachworkshops.

---

[1] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[2] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblätter: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/_functions/TB_faktenblaetter/teaserbox_faktenblaetter?nn=2542ad21-1568-4e0c-b04e-894e95c9bb77

[3] Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K., Schauser I. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland: Kurzfassung. Climate Change 26/2021. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf

[4] DIN – Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) 2021: DIN EN ISO 14091:2021-07 Anpassung an den Klimawandel – Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung. https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/klimawandel/anwenden/normen-standards-klimawandel/din-en-iso-14091-anpassung-an-den-klimawandel-vulnerabilitaet-auswirkungen-und-risikobewertung-900936

- In handlungsfeldspezifischen Fachworkshops wurden die Erstauswahl und die Priorisierung der einzelnen Klimawirkungen sowie die skizzierten Wirkungsketten gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern der zuständigen Ressorts sowie Expertinnen und Experten der nachgeordneten Fachbehörden diskutiert. Ziel war es, die Relevanzeinschätzungen zu überprüfen, mögliche weitere Datenquellen zu ergänzen, gegebenenfalls fehlende relevante Klimawirkungen zu ergänzen sowie diejenigen Klimawirkungen zu identifizieren, die sich unter Berücksichtigung aller Kriterien für eine weitere Bearbeitung (in verkürzter oder vertiefter Form) eignen.
- Auf Grundlage der Ergebnisse aller Fachworkshops erfolgte die finale Zusammenstellung der in der Klimarisikoanalyse zu bearbeitenden Klimawirkungen. Die ausgewählten Klimawirkungen wurden systematisch ausgearbeitet und anschließend mit den zuständigen Fachvertreterinnen und -vertretern der Ressorts abgestimmt.

1.3 Struktur und Tiefe der Analysen

Die Analysen zu den einzelnen Klimawirkungen folgen einer einheitlichen Struktur. Ausgangspunkt bildet die Beschreibung der Klimasignale, das heißt der für die jeweilige Klimawirkung relevanten klimatischen Einflüsse wie beispielsweise die Lufttemperatur, das Niederschlagsregime oder Extremwetterereignisse. Dabei werden die vergangene und aktuelle Entwicklung der entsprechenden Klimasignale in Schleswig-Holstein unter Bezugnahme auf die Ergebnisse der Klimaanalyse[5] dargestellt. Anschließend werden die Exposition und die Sensitivität in ihrer landesspezifischen Ausprägung analysiert. Die Exposition beschreibt das betroffene System, das heißt in welchem räumlichen oder sektoralen Umfang Bevölkerungsgruppen, Ökosysteme, Infrastrukturen oder ökonomische und kulturelle Vermögen den klimatischen Veränderungen ausgesetzt sind. Die Sensitivität beschreibt, wie empfindlich das betroffene System auf die jeweiligen klimatischen Veränderungen reagiert. Aus dem Zusammenwirken von klimatischem Einfluss, Exposition und Sensitivität lassen sich die Auswirkungen und daraus resultierende Risiken für Schleswig-Holstein ableiten. Abbildung 1 zeigt die systematische Struktur der Klimarisikoanalysen.

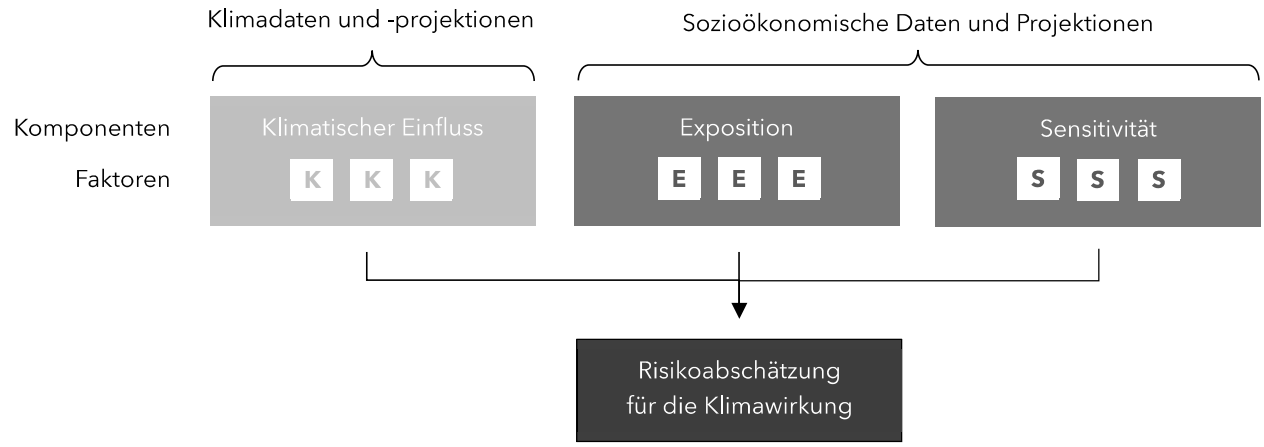


Abbildung 1: Struktur und Komponenten der Klimarisikoanalysen für einzelne Klimawirkungen (Quelle: KWRA 2021[6], abgeändert)

Für eine Abschätzung des möglichen zukünftigen Risikos werden für die Klimarisikoanalysen Projektionsdaten herangezogen. Im Sinne einer vorsorgeorientierten Betrachtung kommt dabei das pessimistischste Emissionsszenario RCP8.5 zur Anwendung. Informationen zu diesem Emissionsszenario, den dabei getroffenen Annahmen und den methodischen Hintergründen sind in der Klimaanalyse nachzulesen. Die Wahl des pessimistischen Szenarios ist auch vor dem Hintergrund bestehender Unsicherheiten in den Projektionen und mit Blick auf eine umfassende Vorsorge sinnvoll. Die Wahl des den Analysen zugrunde liegenden Emissionsszenarios und der Perzentile orientiert sich auch an den aktuellen Leitlinien des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“[7]. Liegen keine oder keine geeigneten Projektionsdaten für einzelne Komponenten oder Parameter vor, stützen sich die Analysen behelfsweise auf Daten zur aktuellen Ausprägung. Die Risikoabschätzung wird in der Regel für den Zeitraum der nahen Zukunft (2031–2060) vorgenommen, da dieser für die aktuelle strategische Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen besonders relevant ist.

[5] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 1

[6] Kahlenborn et al. 2021, s. Fußnote 3: S. 21

[7] Linke C. et al. 2024: Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“. https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf

Ausgehend von den verfügbaren Datengrundlagen erfolgen die Klimarisikoanalysen in verschiedenen Bearbeitungstiefen. Eine vertiefte Bearbeitung umfasst die datengestützte Analyse der Klimawirkung auf der Basis quantitativer Daten und möglichst unter Verwendung räumlicher Daten zu Klimasignalen, Exposition und Sensitivität für die Erstellung von Karten. Analysen zu Klimawirkungen, bei denen die Datengrundlagen für eine vertiefte quantitative Bearbeitung nicht ausreichen, stützen sich im Rahmen einer verkürzten Bearbeitung vor allem auf qualitative Auswertungen. Klimawirkungen, die im Analyseprozess diskutiert, aber aufgrund unzureichender Datengrundlagen nicht bearbeitet wurden, sind in den handlungsfeldspezifischen Zusammenfassungen der Klimarisikoanalyse tabellarisch aufgeführt.

1.4 Bewertung der Klimawirkungen und des Handlungsbedarfs

Abschließend wurden die soziale, die ökologische und die wirtschaftliche Bedeutung ausgewählter Klimawirkungen für Schleswig-Holstein bewertet. Dabei stand folgende Frage im Fokus: Welche Klimarisiken sind so bedeutend, dass die Landesregierung sie im Blick behalten muss, um bei Bedarf umgehend (weitere) Maßnahmen einleiten zu können? Die Auswahl der zu bewertenden Klimawirkungen basiert auf den im Rahmen der handlungsfeldspezifischen Fachworkshops getroffenen fachlichen Einschätzungen zur Relevanz und zu den verfügbaren Wissens- beziehungsweise Datengrundlagen. Klimawirkungen wurden nicht in den Bewertungsprozess einbezogen, wenn ihnen bereits in den Fachworkshops eine geringe Relevanz für Schleswig-Holstein zugeschrieben wurde oder sie aufgrund unzureichender Daten- und Wissensgrundlagen derzeit nicht fundiert bewertet werden können. Nicht bewertet wurden außerdem Klimawirkungen mit wesentlichen thematischen Überschneidungen mit anderen Klimawirkungen. Eine zukünftige Bewertung dieser zunächst ausgeklammerten Klimawirkungen wird im Rahmen der Fortschreibung der Klimarisikoanalyse geprüft und bei geeigneten Rahmenbedingungen umgesetzt.

Die Bewertung erfolgte mithilfe eines zweistufigen Bewertungsverfahrens. Dabei war es jeweils möglich, einer Klimawirkung eine geringe, eine hohe oder eine sehr hohe Bedeutung zuzuschreiben. In einem ersten Schritt erfolgte eine handlungsfeldspezifische schriftliche Bewertung der Klimawirkungen durch die jeweils zuständigen Ressorts. An diesem ersten Schritt haben sich stets mehrere Fachleute beteiligt. Häufig haben sie die Bewertung zusammen vorgenommen, sodass eine einheitliche Bewertung das Ergebnis der schriftlichen Befragung war. Zum Teil haben aber auch mehrere Behörden, Abteilungen oder Referate separat voneinander eine Klimawirkung bewertet, dann ist die Bewertung aus diesem ersten Schritt möglicherweise uneinheitlich. In einem zweiten Schritt wurden die Ergebnisse der ressortinternen Bewertungen im Rahmen eines handlungsfeldübergreifenden Fachworkshops reflektiert. Ziel dieses Austauschs war es, unterschiedliche fachliche Perspektiven zusammenzuführen, die Bewertungen zu plausibilisieren, eine konsistente Einordnung der Klimarisiken über die einzelnen Handlungsfelder hinweg zu erreichen und bisher fehlende Bewertungen nachzuholen. Die Ergebnisse dieses Workshops wurden mit denen der schriftlichen Bewertung zusammengeführt. Sie ersetzen sie jedoch nicht, weil nicht alle am ersten Schritt beteiligten Fachleute beim Workshop anwesend waren. Die Bewertungen gelten somit als gleichwertig und müssen in der Zusammenschau betrachtet werden. Wo im Workshop keine Bewertung abgegeben wurde, galt die schriftliche Bewertung als bestätigt.

Zusätzlich zur Bedeutung der Klimawirkungen wurde durch die Fachpersonen aus den Ressorts bewertet, ob seitens der Landesregierung zusätzlicher Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren besteht. Diese Bewertung durchlief denselben zweistufigen Prozess. Die Einschätzung ist vor allem als Hinweis für die Fortschreibung der Klimaanpassungsstrategie zu verstehen.

2 Handlungsfeld Energieinfrastruktur

2.1 Relevanz des Handlungsfelds

Für eine moderne Gesellschaft und eine funktionierende Wirtschaft ist eine sichere, umwelt- und klimaverträgliche sowie bezahlbare Versorgung mit Energie eine grundlegende Voraussetzung. Um diese Ansprüche zu verbinden und ihnen dauerhaft gerecht zu werden, stellt Deutschland derzeit sein Energiesystem im Zuge der Energiewende auf die Versorgung mit erneuerbaren Energien um und strebt eine sparsame und effiziente Verwendung von Energie an. Diese Transformation des Energiesystems bedeutet weitreichende strukturelle und infrastrukturelle Anpassungen in allen Bereichen der Energiewirtschaft, vom Netzausbau über die Umstellung der Strom-, Wärme- und Kälteversorgung auf erneuerbare Energie bis zur Digitalisierung und Flexibilisierung.

Viele der dazu notwendigen Maßnahmen stärken das Energieversorgungssystem auch gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels. In der KWRA 2021 wurden für den Bereich Energiewirtschaft unter anderem die Klimafolgen für den Transport von Energieträgern, für die Energieumwandlung in thermischen Kraftwerken und erneuerbaren Erzeugungsanlagen sowie die Energieübertragung in den Blick genommen. Die Analyse kam hier zu dem Ergebnis, dass die Abkehr von fossilen und nuklearen Brennstoffen und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien mit Blick auf mögliche Klimawirkungen auf mittlere Frist tendenziell günstig ist. So sollen bis Mitte des Jahrhunderts regionale Lieferketten vor allem von fossilen Brennstoffen über Wasserstraßen, Schiene und Straße nur noch eine geringe Bedeutung aufweisen und Hitze und Trockenheit nur noch wenige verbliebene kühlwasserabhängige Wärmekraftwerke beeinträchtigen. Auf der anderen Seite wurden hinsichtlich der erneuerbaren Energien die zu erwartenden Ertragsänderungen von Photovoltaik-Anlagen als gering eingeschätzt, Unterbrechungen von Windkraftanlagen infolge von Starkwind wird es auch in Zukunft kaum geben. Für die Ertragssituation für Windkraftanlagen insgesamt konnte keine Aussage getroffen werden, da die Unsicherheit von Projektionen zukünftiger Windgeschwindigkeiten zu hoch ist. Die Stromversorgung kann zukünftig grundsätzlich stärker von Unterbrechungen durch Extremereignisse beeinträchtigt sein, die in Häufigkeit und Intensität zunehmen werden. Im Zuge des fortschreitenden Netzausbaus für die Energiewende wird aber davon ausgegangen, dass mittelfristig der Anteil von verkabelten Leitungen sowie die Verknüpfungsdichte des Netzes zunehmen und das Stromnetz insgesamt dadurch weniger anfällig gegenüber Wetterextremen sein wird.[8]

Das Land Schleswig-Holstein treibt die Energiewende in seinem Zuständigkeitsbereich ambitioniert voran. So sieht das novellierte Energiewende- und Klimaschutzgesetzes (EWKG) 2025 vor, die jährliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien an Land in Schleswig-Holstein bis 2030 auf mindestens 45 TWh zu steigern. Für die Jahre danach wird ein weiterer Ausbau angestrebt. Der Anteil der Wärme aus erneuerbaren Energien, aus unvermeidbarer Abwärme oder einer Kombination hieraus am gesamten Wärmeverbrauch in Schleswig-Holstein soll bis zum Jahr 2030 in einem Zielkorridor von mindestens 38 % bis 50 % liegen. Als Energieträger zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien wird dabei, neben den aktuell führenden biogenen Energieträgern, Strom aus erneuerbaren Quellen immer wichtiger, vor allem für den Betrieb von Wärmepumpen. Des Weiteren wird erwartet, dass erneuerbarer Strom für die Elektromobilität auf der Schiene und zunehmend auch der Straße an Bedeutung gewinnt.[9] Zur Deckung des absehbar steigenden Strombedarfs setzt Schleswig-Holstein mit dem Ausbau der Stromerzeugung aus Sonne und Wind nach dem aktuellen Kenntnisstand auf Energiequellen mit einer vergleichsweise geringen Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen. Weitere derzeit im Land stattfindende Maßnahmen der Energiewende erhöhen die Stabilität und Flexibilität des Energieversorgungssystems: zum Beispiel der Ausbau von Power-to-Gas zur Nutzung von überschüssigem Strom für die Wasserstoffproduktion, der Ausbau von Batteriespeichern oder die Stärkung der Sektorkopplung. Auch diese höhere Stabilität und Flexibilität kommen der Vorsorge für wetterbedingte Ausnahmesituationen und damit der Klimaanpassung des Energieversorgungssystems zugute.

[8] Voß M., Kahlenborn W., Porst L., Dorsch L., Nilson E., Rudolph E., Lohrengel A.-F. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland - Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Band 23, S. 98ff. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_23-2021_kwra2021_infrastruktur.pdf.

[9] MEKUN (Hrsg.) 2025: Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein 2025. S. 23, 28, 38 f., 40. www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/Monitoringbericht2025.pdf

2.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

2.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland

Die Erzeugung von grünem Wasserstoff ist in Schleswig-Holstein ein zentraler Bestandteil für die Transformation hin zu einem erneuerbaren Energiesystem. Neben Batteriespeichern, Druckluftspeichern, Pumpspeicherkraftwerken und anderen Technologien übernimmt Wasserstoff im erneuerbaren Energiesystem eine zentrale Rolle als Speichermedium für regenerative Energie. Damit die Erzeugung von Wasserstoff als grün bezeichnet werden kann, ist die Wasserelektrolyse, also der Prozess der Zerlegung von Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff mittels elektrischer Energie, mit erneuerbarem Strom zu betreiben. Vor diesem Hintergrund strebt Schleswig-Holstein an, die Erzeugungskapazitäten von derzeit rund 8 MW bis zum Jahr 2045 sukzessive auf 10 GW zu steigern.[10] Die Voraussetzung hierfür sind günstig: Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien übersteigt den Bedarf bereits seit einigen Jahren deutlich[11], und der Anlagenbestand insbesondere der Windenergie an Land sowie Offshore soll zukünftig weiter ausgebaut werden. Für Schleswig-Holstein wird schon für 2030 davon ausgegangen, dass ausreichend erneuerbarer Strom für die bilanzielle Deckung des regionalen Bedarfs nach grünem Strom und grünem Wasserstoff vorhanden ist.[12]

Eine wesentliche Voraussetzung für die Produktion von grünem Wasserstoff ist die Verfügbarkeit von Wasser in nachhaltig ausreichender Menge als Ausgangsstoff für Wasserelektrolyse sowie zur Kühlung dieses Prozesses. Für die Herstellung von 1 kg Wasserstoff sind 10 kg Reinstwasser erforderlich, das aus rund 12 kg Oberflächenwasser oder aus 20 bis 30 kg Meerwasser gewonnen werden muss. Der Wasserbedarf für die Kühlung hängt stark von der eingesetzten Kühltechnologie ab. Bei einer Trockenkühlung ist der Wasserbedarf auf die Reinstwassergewinnung beschränkt, allerdings weist diese Kühltechnologie bei einer steigenden Temperatur eine geringere Kühlwirkung auf. Hingegen entsteht bei einer Kreislaufkühlung ein zusätzlicher Wasserbedarf zwischen 17 kg und 40 kg und für die Durchlaufkühlung sogar ein zusätzlicher Bedarf zwischen 920 kg und 2.450 kg. Die zukünftige Verfügbarkeit von Wasser ist für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft und Standortentscheidungen zur Ansiedlung von Wasserelektrolysen in Schleswig-Holstein daher ein zentraler Faktor.

Im Rahmen der Klimawirkung wurde unter Verweis auf die Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" vor allem anhand der klimatischen Wasserbilanz (KWB) sowie anhand von Abflussregime-Typen (Willems et al. 2004)[13] die aktuelle und zukünftige Wasserverfügbarkeit mit Blick auf Oberflächengewässer im Binnenland in den Blick genommen. Die KWB hat sich in den vergangenen Jahrzehnten bereits leicht verändert. Im Vergleich zum Zeitraum 1961–1990 war die klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991–2020 fast landesweit höher. Räumlich betrachtet ist für Schleswig-Holstein ein West-Ost-Gradient der KWB zu erkennen, der Osten des Landes ist also trockener als der Westen. Hinsichtlich der Abflussregime-Typen ist das Risiko zur Austrocknung von Gewässern in Teilen der Geest und des Hügellandes im Landesinneren besonders hoch.

Zukünftig könnte die KWB unter Annahme einer ungünstigen Entwicklung bis Mitte des Jahrhunderts (2031–2026) entlang der Nordseeküste leicht zunehmen, während es im Südosten des Landes zu einem Rückgang und infolgedessen zu einer niedrigen KWB käme. Diese Entwicklung hängt insbesondere mit dem projizierten weiteren Temperaturanstieg sowie dem zunehmenden Auftreten von Hitze zusammen. Hinsichtlich der Niederschlagsmenge- und -verteilung ist die Entwicklungsrichtung nicht eindeutig. Unter Annahme einer ungünstigen Entwicklung können allerdings in den Sommermonaten, in denen niedrige Abflüsse ohnehin häufiger auftreten, die Niederschlagsmengen ab- und Trockenperioden zunehmen. Insbesondere in Regionen, deren Gewässer stärker zum Austrocknen neigen, könnte die Wasserverfügbarkeit dadurch eingeschränkt werden. Neben der Wassermenge ist dabei auch die bei Niedrigwasser schneller steigenden Wassertempe-

[10] MEKUN (Hrsg.) 2024: Die Wasserstoffstrategie für das klimaneutrale Industrieland Schleswig-Holstein. Fortschreibung der Wasserstoffstrategie.SH. S. 12. www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/wasserstoff/ExterneLinks/Wasserstoffstrategie_Fortschreibung_2023.pdf

[11] MEKUN 2025, s. Fußnote 9: S. 40

[12] MEKUN 2024, s. Fußnote 10: S. 7

[13] Willems W., Dick T., Stricker K. 2004: Statistische Regionalisierung von Hochwasserabflüssen, Abflussregimen und ökologischen Indizes in Schleswig-Holstein. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

raturen zu berücksichtigen: Um die in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV)[14] für den ökologischen Zustand beziehungsweise das ökologische Potenzial definierten Anforderungen bezüglich der maximalen Temperatur und der Temperaturerhöhung durch die Einleitung einzuhalten, können bei hohen Wassertemperaturen Einschränkungen für die Wärmeeinleitung notwendig werden. Potenziell ist die Klimawirkung „Veränderung der Wasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse" demnach vor allem in den Regionen im Südosten und Osten Schleswig-Holsteins, im Bereich des Hamburger Rings sowie in der westlichen Geest stärker ausgeprägt, wo es besonders in den Sommermonaten zu geringen Abflüssen und damit zu einer quantitativ und, hinsichtlich der Temperatur, qualitativ eingeschränkten Wasserverfügbarkeit kommen kann. In Abhängigkeit insbesondere von der verwendeten Kühltechnologie des Elektrolyseurs kann sich dieses standortbezogene Klimarisiko weiter verstärken.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 2.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator WW-I-1: Grundwasserstand[15]

2.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA 2021[16] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen eines handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 1: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Überlastungen des Stromnetzes durch Veränderung des Kühlenergiebedarfs	Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung nimmt die Zahl der sogenannten Kühlgradtage in Deutschland zu, die ein Maß für den Kühlbedarf in Gebäuden sind.[17] Es ist davon auszugehen, dass ein Teil dieses Kühlbedarfs entweder über strombasierte Kühltechnologien wie Ventilatoren oder Klimageräte oder mit der fortschreitenden Wärmewende über Wärmepumpen gedeckt wird. In der Folge wird der Strombedarf für Kälte zukünftig ansteigen. Bisher zeigen die deutschlandweiten Anwendungsbilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) auch in heißen Jahren wie 2018 und 2019 nur einen geringen Endenergiebedarf für Kälte gesamt (Klimakälte und Prozesskälte). Über alle Verbrauchssektoren hinweg lag der Anteil von Kälte gesamt am Endenergiebedarf im Jahr 2024 bei 2,6 %. Der Bedarf für Klimakälte allein betrug 0,6 %. Konkrete Zahlen für Schleswig-Holstein liegen hierzu nicht vor, es gibt aber auch keine Hinweise, dass die Größenordnung für Schleswig-Holstein von den deutschlandweiten Werten stärker abweicht. In der KWRA 2021 wurde für Norddeutschland die geringste Zunahme des Kühlbedarfs ermittelt[18]. Insgesamt ist davon auszugehen, dass auch bei einem steigenden Bedarf an Kühlenergie die Veränderungen quantitativ gering und für die Energieversorgung insgesamt von geringer Bedeutung sind. Für Schleswig-Holstein wird die Klimawirkung mit dem spezifischen Fokus auf Städte und urbane Räume als relevant erachtet. Städte und urbane Räume sind am stärksten von zusätzlichen Wärmebelastungen (siehe Klimawirkung „Wärmebelastungen in Städten

[14] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV): Anlage 8. https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/anlage_8.html

[15] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/grundwasser.pdf

[16] Voß et al. 2021, s. Fußnote 8: S. 98ff.

[17] UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) 2023: Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Indikator BAU-I-3 Kühlgradtage. https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/bauwesen/bau-i-3/indikator#bau-i-3-khlgradtage

[18] Voß et al. 2021, s. Fußnote 8: S.104

Klimawirkung	Erläuterungen
	durch den Wärmeinseleffekt"), sodass dort ein besonders hoher Kühlenergiebedarf entsteht, dem mit strombasierten Kühltechnologien begegnet wird. In Ausnahmesituationen kann es in urbanen Zentren durch die hohe Nachfrage zu Überlastungen des Stromnetzes und in der Folge zu Einschränkungen der Stromversorgung kommen. Aufgrund einer mangelnden Verfügbarkeit von Daten konnte die Klimawirkung allerdings nicht ausgearbeitet und ist im Zuge der nächsten Fortschreibung der Klimarisikoanalyse mit dem spezifischen Fokus auf urbane Räume zur Bearbeitung vorgesehen.
Veränderung des Heizenergiebedarfs	Im Zusammenhang mit dem weiteren Fortschreiten der Klimaerwärmung wird für die Zukunft tendenziell von einer weiteren Verringerung des Heizenergiebedarfs ausgegangen. Die Klimawirkung wurde daher für Schleswig-Holstein als von geringer Relevanz eingestuft und in der KRA nicht bearbeitet.
Unterbrechung der regionalen Lieferketten für Energieträger	In Schleswig-Holstein trugen erneuerbare Energieträger im Jahr 2023 einen Anteil von 21,8% zur Deckung des Wärmebedarfs bei, der deutlich größere Teil wurde aus Kohle, Gas und Mineralöl erzeugt.[19] Mögliche Risiken hinsichtlich der Lieferketten wurden aufgrund ihrer Lage und der Transportwege des Brennstoffs für die kohlebefeuerten Kraftwerke Neumünster, Flensburg und Wedel (Stilllegung voraussichtlich Ende 2026) gesehen, die gegebenenfalls durch Stürme oder Sturmfluten an der Küste oder durch Unterbrechungen des Schienen- oder Straßennetzes im Binnenland betroffen sein können. Für Gas- und Ölkraftwerke einschließlich gasbetriebener KWK-Anlagen erfolgt die Zulieferung in der Regel über Pipelines, denen ein geringes Risiko von Unterbrechungen beigemessen wird. Die Lieferketten der Raffinerie Heide sind in großen Teilen über Tanktransporter organisiert und können flexibel auf Störungen reagieren. Auch für Biomasse-Kraftwerke wird das Risiko von Unterbrechungen als gering eingeschätzt. Die Klimawirkung wurde im Workshop auch mit Blick auf die laufende Energiewende als von geringer Relevanz eingestuft und daher in der KRA nicht bearbeitet.
Veränderung des Ertrags von Biomasse als Substrat für Energieanlagen	Für die Stromerzeugung aus Wind, onshore und offshore, sowie Photovoltaik (PV) werden durch den Klimawandel keine relevanten Einschränkungen erwartet. Die reguläre Lebensdauer von Windkraftanlagen (WKA) ist auf 20 bis 30 Jahre angelegt und erlaubt eine Anpassung der Anlagen an sich gegebenenfalls innerhalb der vorgesehenen Lebensdauer ändernde Windbedingungen im Zuge der laufenden Bestandserneuerung. Eine deutliche Zunahme von Ereignissen, an denen die Grenzwindgeschwindigkeit von Anlagen im Bereich der Deutschen Bucht überschritten wird, zeichnet sich nicht ab. Ebenso wenig werden für die PV-Stromerzeugung relevante Änderung erwartet. Die projizierten Änderungen (Zunahme) der Globalstrahlung liegen im Rahmen des Schwankungsbereich bezogen auf den Nutzungszeitraum und den Einsatzort der Anlagen. Die stärksten klimabedingten Auswirkungen werden vor diesem Hintergrund für die energetische Biomassenutzung erwartet. Aufgrund der zunehmenden Trockenheit kann die Verfügbarkeit von Substraten als Brennstoffe für Biomasseanlagen eingeschränkt sein, regional können je nach land- bzw. forstwirtschaftlichem Ertrag Versorgungsrisiken entstehen. Gegebenenfalls werden zukünftig andere Arten eine bessere Anbaueignung bei Trockenheit im Vergleich als Mais aufweisen. In diese Richtung deuten auch die Ergebnisse zur Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen", die, bezogen auf Silomais, einen Ertragsrückgang bis Mitte des Jahrhunderts zeigen. Für den Zeitraum 2040–2070 wird Bioenergie nicht mehr als tragende Säule der Energiewende in Schleswig-Holstein gesehen. Nach aktueller Planung wird sie aber als flexibler Baustein, insbesondere für die Wärmeversorgung, das Nährstoffmanagement und die Sektorkopplung relevant bleiben. Vor dem skizzierten Hintergrund soll die Klimawirkung grundsätzlich auf die Bereitstellung von Strom / Wärme aus Biomasse fokussieren und insbesondere auch die Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, die Versorgungssicherheit bei Extremwetterereignissen und

[19] MEKUN 2025, s. Fußnote 9: S. 38 ff.

Klimawirkung	Erläuterungen
	ihre Rolle als Ergänzung zu Wind und PV thematisieren. Eine Bearbeitung ist für die Fortschreibung der Klimarisikoanalyse ins Auge gefasst, wobei in Abstimmung mit dem Handlungsfeld Landwirtschaft noch zu entscheiden ist, ob die Klimawirkung dann dort als Teil der Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen" beschrieben werden soll.
Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung	Gemäß dem Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein ist die Betroffenheit der Stromversorgung durch Wetter und Witterung im bundesweiten Vergleich eher gering. Ein wichtiger Grund hierfür ist, dass mit der fortschreitenden Entwicklung der Kabeltechnik (Aufkommen von Kunststoffisolierungen) das schleswig-holsteinische Verteilnetz sukzessive in großen Teilen als Erdkabel verlegt wurde, um vor den Auswirkungen von Wetter und Witterung besser geschützt zu sein. Ungeachtet dessen haben Wetter und Witterung in einzelnen Jahren dennoch einen starken Einfluss auf die Versorgungssicherheit, unter anderem im Zusammenhang mit dem Ostsee-Sturmhochwasser 2023, als in Städten an der Ostküste die Stromversorgung vorsorglich abgeschaltet wurde, um größere Auswirkungen zu vermeiden. (Näheres zur Gefährdung von Niederungen siehe Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten".) Mit Blick auf die vereinzelt auftretenden Spitzen von wetter- und witterungsbedingten Beeinträchtigungen und die erwartete Zunahme an Extremereignissen wird die Klimawirkung als relevant für Schleswig-Holstein eingestuft und soll in der Fortschreibung der Klimarisikoanalyse bearbeitet werden.

2.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Im Handlungsfeld Energieinfrastruktur wurden drei Klimawirkungen bewertet: die „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland", „Überlastungen des Stromnetzes durch Veränderung des Kühlenergiebedarfs" sowie die „Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung" (siehe Tabelle 2). Sie sind vor allem von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Fachleute schätzten diese als hoch für die Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland und Überlastungen des Stromnetzes durch Veränderung des Kühlenergiebedarfs ein. Die wirtschaftliche Bedeutung der Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung sahen sie sogar als sehr hoch an.

Mögliche Beeinträchtigungen der Zuverlässigkeit der Energieversorgung wurden von den Fachleuten zudem als sozial hoch- bis sehr hochbedeutend bewertet. Eine hohe ökologische Bedeutung sahen sie bei der „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland".

Handlungsbedarf seitens der Landesregierung sahen die Fachleute in den kommenden Jahren nur mit Blick auf die Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland (siehe Tabelle 3). Es ist notwendig, die Bedarfe an Kühlwasser regional differenziert zu erfassen.

Tabelle 2: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Energieinfrastruktur

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland	gering	hoch	hoch	-*	-**
Überlastungen des Stromnetzes durch Veränderung des Kühlenergiebedarfs	gering	gering	hoch	-	-
Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung	hoch	gering	sehr hoch	-	sehr hohe soziale Bedeutung (1 Votum)

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 3: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland	nein	-*	Handlungsbedarf gegeben (Ermittlung der Bedarfe auf regionaler Ebene)
Überlastungen des Stromnetzes durch Veränderung des Kühlenergiebedarfs	nein	-	-**
Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der Energieversorgung	nein	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

2.4 Klimawirkung „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland“

2.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Das Land Schleswig-Holstein sieht die grüne Wasserstofftechnologie als einen zentralen Bestandteil für die Transformation zu einer regenerativen, klimaschützenden Energieerzeugung und -versorgung und zu einem klimaneutralen Industrieland.[20] Neben dem Import, der Verteilung und der Nutzung von Wasserstoff ist die Erzeugung von grünem, ausschließlich mit erneuerbarem Strom produziertem Wasserstoff eine von vier Säulen der Wasserstoffstrategie des Landes.[21] Zur Erzeugung von Wasserstoff wird Wasser dabei mithilfe des erneuerbaren Stroms in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Dieser Prozess heißt Wasserelektrolyse.

Grüner Wasserstoff übernimmt in einem erneuerbaren Energiesystem eine zentrale Rolle als Speichermedium für regenerative Energie. Die erneuerbaren Energieträger können zwar bereits heute den größten Teil des Strombedarfs in Deutschland bilanziell sicherstellen. Allerdings treffen Zeiten mit einer hohen erneuerbaren Stromerzeugung nicht immer mit einem hohen Strombedarf zusammen, beziehungsweise können erneuerbare Energieanlagen in Phasen eines hohen Strombedarfs aufgrund von schwachem Wind oder geringer Sonneneinstrahlung nicht immer ausreichend Strom zur Verfügung stellen. Für diese Zeiten bedarf es im Energiesystem einer regelbaren und gesicherten Kraftwerksleistung, die in einem dekarbonisierten Stromsystem zu einem Teil durch Wasserstoffkraftwerke und außerdem durch Batterie- und Pumpspeicher bereitgestellt werden kann.[22] Neben dem Einsatz zur Rückverstromung kann Wasserstoff zum Beispiel auch stofflich in Raffinerien und Chemieunternehmen eingesetzt oder als Brennstoff in industriellen Prozessen, in Schleswig-Holstein vor allem in der Grundstoff-, Zement- und Chemieindustrie, genutzt werden. Außerdem kann eine Perspektive für den Einsatz von grünem Wasserstoff als Treibstoff im Verkehrssektor bestehen, insbesondere in der Schifffahrt und im Schienenverkehr sowie gegebenenfalls auch für schwere Nutzfahrzeuge oder in kommunalen Fahrzeugflotten und Bussen.[23] Vor diesem Hintergrund strebt Schleswig-Holstein an, die Erzeugungskapazitäten im Land bis zum Jahr 2030 auf 1,5 GW und bis zum Jahr 2045 sukzessive auf 10 GW zu steigern.[24] Hierfür bieten sich grundsätzlich günstige Voraussetzungen. Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien übersteigt den Bedarf im Land seit einigen Jahren deutlich[25], und für die Zukunft wird ein weiterer Ausbau von erneuerbaren Energieanlagen, insbesondere der Windenergie an Land sowie Offshore angestrebt. Für 2030 wird die Einspeisung von insgesamt 55 bis 60 TWh erneuerbaren Stroms erwartet, während im gleichen Jahr mit einem Bruttostromverbrauch um die 20 TWh gerechnet wird. Für Schleswig-Holstein wird damit schon für 2030 davon ausgegangen, dass ausreichend erneuerbarer Strom für die bilanzielle Deckung des regionalen Bedarfs nach grünem Strom und grünem Wasserstoff vorhanden ist.[26] Zudem bestehen in Schleswig-Holstein und den benachbarten Bundesländern Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen, die für die Entwicklung der grünen Wasserstoffwirtschaft eng zusammenarbeiten wollen, weitere günstige Voraussetzungen. Hierzu zählen unterirdische Formationen zur Speicherung von Wasserstoff ebenso wie Seehäfen oder Industriezweige mit Erfahrungen im Umgang mit Wasserstoff.

Die wesentliche Voraussetzung für die Wasserelektrolyse ist die Verfügbarkeit von Wasser in nachhaltig ausreichender Menge. Wasser ist zum einen der Ausgangsstoff für die Gewinnung von Wasserstoff. Für die Herstellung von 1 kg Wasserstoff bedarf es 10 kg Reinstwasser, das entweder aus 12 bis 13 kg Oberflächenwasser oder aus 20 bis 30 kg Meerwasser

[20] MEKUN (Hrsg.) 2024: Die Wasserstoffstrategie für das klimaneutrale Industrieland Schleswig-Holstein. Fortschreibung der Wasserstoffstrategie.SH. S. 6. www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/wasserstoff/ExterneLinks/Wasserstoffstrategie_Fortschreibung_2023.pdf

[21] MEKUN 2025: Wasserstoffstrategien.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/wasserstoff/Norddt-Strategie

[22] Agora Energiewende (Hrsg.) 2022: Klimaneutrales Stromsystem 2035. Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann. S. 8
www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf

[23] MEKUN 2024, s. Fußnote 20: S. 12, 21

[24] MEKUN 2024, s. Fußnote 20: S. 12

[25] MEKUN (Hrsg.) 2025: Monitoringbericht Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein 2025. S. 40. www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/energie/energiewende/Daten/pdf/Monitoringbericht2025.pdf

[26] MEKUN 2024, s. Fußnote 20: S. 7

gewonnen wird.[27] Zum anderen ist die Wasserelektrolyse ein energieintensiver Prozess mit einem Wirkungsgrad zwischen 60 und 70 %. Der nicht in chemische Energie umgewandelte Teil des eingesetzten Stroms wird in überschüssige Wärme umgewandelt, die abgeführt werden muss.[28] Je nach Art der Kühlung kann der Wasserbedarf der Wasserelektrolyseure bei der Trockenkühlung auf den genannten Rohwasserbedarf zur Herstellung des Reinstwassers beschränkt sein oder aber einen zusätzlichen Bedarf zwischen 17 kg und 40 kg bei der Kreislaufkühlung beziehungsweise zwischen 920 kg und 2.450 kg bei der Durchlaufkühlung mit sich bringen.[29] Für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft und für Standortentscheidungen zur Ansiedlung von Wasserelektrolysen in Schleswig-Holstein ist infolgedessen die zukünftige Verfügbarkeit von Wasser unter den sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen ein zentraler Faktor, die in dieser Klimarisikoanalyse in den Blick genommen werden.

2.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

2.4.2.1 Klimasignale

Der erforderliche Wasserbedarf für die Wasserstoffproduktion soll vorrangig aus Oberflächenwasser und Abwasser bereitgestellt werden. Grundwasser wird weiterhin vorrangig für die Bereitstellung von Trinkwasser genutzt und soll für die Wasserstoffproduktion keine Rolle spielen. Es wird in dieser Klimarisikoanalyse daher nicht berücksichtigt. Ebenso wenig findet der Wasserbedarf von Wasserelektrolyseuren im Bereich von Offshore-Windenergieanlagen unter Nutzung von Meerwasser in dieser Analyse Berücksichtigung, da die Wasserverfügbarkeit dort weder in quantitativer noch qualitativer Hinsicht Einschränkungen unterliegt. Insofern sind für diese Risikoanalyse insbesondere Klimasignale relevant, die die Wasserverfügbarkeit beziehungsweise Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit für das Binnenland abbilden. Hier können neben Einschränkungen der quantitativen Verfügbarkeit von Wasser auch qualitative Aspekte eine Rolle spielen, insbesondere hinsichtlich der Einleitung von erwärmtem Kühlwasser.

Einen allgemeinen Eindruck vom potenziellen Wasserdargebot in einem Gebiet gibt die **klimatische Wasserbilanz** (KWB). Sie berücksichtigt nicht nur Niederschlag und Temperatur, sondern beispielsweise auch die Windgeschwindigkeit, indem eine berechnete Grasreferenzverdunstung nach FAO (Food and Agriculture Organization) eingeht. In Schleswig-Holstein hat sich die klimatische Wasserbilanz in den vergangenen Jahrzehnten bereits leicht verändert. Grundsätzlich ist ein West-Ost-Gradient zu erkennen, das heißt, der Osten des Landes ist trockener als der Westen (siehe Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser", Seite 255). An der östlichen Landesgrenze war die klimatische Wasserbilanz besonders niedrig, vor allem auf Fehmarn. Vergleichsweise hohe Werte (über 300 mm) zeigten im Zeitraum 1961–1990 vor allem (jeweils in Teilen) die Schleswiger Vorgeest, das südliche Angeln, die Bredstedt-Husumer Geest und die Heide-Itzehoer Geest. Im Vergleich zum Zeitraum 1961–1990 war die klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991–2020 fast landesweit höher. Lokal gab es aber auch kleinere Abnahmen der klimatische Wasserbilanz, beispielsweise im Norden von Sylt oder im Bereich der Gemeinden Schwedeneck und Strande. Die höchsten Werte der KWB (über 400 mm) wurden bei Flensburg, Brunsbüttel und in Teilen der Heide-Itzehoer Geest erreicht. Die niedrigste klimatische Wasserbilanz wiesen Fehmarn und Teile des Naturraums Nordoldenburg auf.

Die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser kann vor allem in Phasen längerer Trockenheit eingeschränkt sein. Längere **Trockenperioden** von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm traten in Schleswig-Holstein im Referenzzeitraum 1971–2000 zwischen zwei und drei Mal jährlich auf. Im Gleichklang mit der grundsätzlichen räumlichen Verteilung des Niederschlags kam es in den östlichen Landesteilen häufiger zu solch trockenen Phasen, während sie im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Geest seltener auftraten (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29). Extreme Niedrigwassersituationen in Fließgewässern, die für eine etwaige Wasserstoffproduktion besondere Einschränkungen bedeuten würden, entstehen in der Regel im (späten) Frühjahr oder Sommer und können bis in den Herbst, zum Teil sogar bis in den Winter andauern. In der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" ist für den Zeitraum von 2000 bis 2025 die **saisonale Trockenheit** in Sommer und Herbst in Schleswig-Holstein über den Trockenheitsindex nach de Martonne dargestellt (siehe dort, Abbildung 1). Der Index wird als Quotient

[27] DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (Hrsg.) 2024: Gesamtwasserbedarf für die Wasserelektrolyse. Wie groß ist der Wasserfußabdruck einschließlich der Kühlsysteme? S. 2
https://www.dvgw-ebi.de/medien/dvgw-ebi/1_dvgw-ebi/aktuelles/2024_Gesamt-Wasserbedarf_fuer_Elektrolyse.pdf

[28] Green Hydrogen Esslingen 2026: Abwärmenutzung bei der Wasserstofferzeugung stärkt Effizienz und Klimaschutz.
https://green-hydrogen-esslingen.de/wissen/abwarmenutzung-bei-wasserstofferzeugung

[29] DVGW 2024, s. Fußnote 27: S. 4 ff.

aus Niederschlag und mittlerer Lufttemperatur gebildet und lässt sich ähnlich wie die KWB nutzen, um das potenzielle Wasserdargebot in einer ersten Annäherung abzubilden. Die auf Basis von Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)[30] für den de Martonne-Index erzeugte Zeitreihe zeigt für den genannten Zeitraum weder für die Sommermonate Juni bis August noch für den Herbst von September bis November eine statistisch signifikante Entwicklung.

Als weiteres relevantes Klimasignal beeinflusst die **Lufttemperatur** die Wasserverfügbarkeit. Sie hat unter anderem Einfluss darauf, wie viel Wasser aus den Gewässern verdunstet (Evaporation) und wie hoch die Evapotranspiration ist. Sie beeinflusst also, wie viel Niederschlag überhaupt abflusswirksam werden kann. Führen Fließgewässer wenig Wasser, erwärmt sich das Wasser bei hohen Lufttemperaturen stärker. Dadurch können sich die Spielräume reduzieren, die je nach Kühltechnologie für die Wärmeeinleitung in Gewässer bestehen. Die zulässigen Temperaturerhöhungen durch Einleitungen hängen dabei gemäß Oberflächengewässerverordnung (OGewV)[31] von der Bewertung und dem Typ eines Gewässers sowie der jeweils vorkommenden Fischgemeinschaft ab. Vergleicht man die durchschnittliche Lufttemperatur (ganzjährig) der Dekade 2014–2023 mit der durchschnittlichen Lufttemperatur (ganzjährig) der Dekade 1964–1973 lag sie regional um bis zu 2 °C höher.[32] Auch die Anzahl der **Heißen Tage** (Tage mit einer Höchsttemperatur der Luft von mindestens 30 °C) steigt in Schleswig-Holstein signifikant an (siehe Klimaanalyse, Abbildung 6). In den besonders heißen Jahren 1994 oder 2018 gab es mehr als 10 solcher Tage, im Zeitraum 1991–2020 waren es im Mittel 3,6 Heiße Tage je Jahr. Dabei zeigt die Anzahl der Heißen Tage in Schleswig-Holstein ein deutliches Süd-Nord-Gefälle. Im Kreis Herzogtum Lauenburg gab es im Zeitraum 1994–2023 im Mittel acht Heiße Tagen im Jahr.

Eine weitere Größe, die Einfluss auf die Entwicklung der Wasserressourcen in einem Gebiet hat, ist die Grundwasserneubildung. Sie wird durch klimatische Faktoren, die Landbedeckung, die Eigenschaften des Bodens, den Grundwasserflurabstand, die Entwässerung und weitere Faktoren bestimmt und ist aufgrund der starken räumlichen Variation dieser Faktoren in Schleswig-Holstein sehr heterogen ausgeprägt. Da die Nutzung von Grundwasser für die Wasserelektrolyse nicht vorgesehen ist, wird an dieser Stelle auf eine Darstellung zur Grundwasserneubildung verzichtet und für weitere Informationen auf die Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit“ verwiesen.

2.4.2.2 Exposition

Einen Überblick über **Wasserstoffprojekte** in Schleswig-Holstein gibt die gleichnamige Website der Landeskoordinierungsstelle Wasserstoffwirtschaft.SH[33]. Aus der Karte ist zu ersehen, dass derzeit Elektrolyseure an sieben Standorten betrieben werden, von denen je einer in Kiel, bei Brunsbüttel und in der Nähe von Flensburg sowie je zwei im Nordwesten in der Nähe von Bredstedt sowie von Süderlügum verzeichnet sind. Die Gesamtkapazität für die Wasserelektrolyse wird mit rund 1,5 t/d Wasserstoff angegeben, was einer Jahresproduktion von rund 560 t/a entspricht. Darüber hinaus präsentiert die Karte insgesamt 14 Elektrolyse-Projekte in unterschiedlichen Stadien von der Planung bis hin zu realisierten Projekten.[34] Die Projekte reichen von kleineren Elektrolyseuren mit einer installierten Leistung von 225 kW je Anlage zur Bereitstellung von Wasserstoff an Tankstellen im lokalen Kontext bis zu großmaßstäbigen Wasserelektrolyseuren zur in-situ Produktion von Wasserstoff in Offshore-Windparks mit einer installierten Leistung von 1 GW bis zu 10 GW. Das Volumen der geplanten Wasserstoffproduktion ist mit 321 t/d und damit rund 117.200 t/a angegeben. Zum Zeitpunkt der Fortschreibung der Wasserstoffstrategie.SH lagen dem Land Anfragen für Ansiedlungsvorhaben in Höhe von rund 1 Gigawatt (GW) vor.

2.4.2.3 Sensitivität

Bei der Wasserelektrolyse ist wie oben beschrieben die Abfuhr der überschüssigen Wärme erforderlich, die bei der Umwandlung der eingesetzten elektrischen Energie in chemische Energie entstanden ist.[35] Die **technische Lösung für die Kühlung** der jeweiligen Anlage ist daher der wesentliche Faktor für eine unterschiedliche Sensitivität der

[30] DWD – Deutscher Wetterdienst 2026: Raster des monatlichen Trockenheitsindex nach de Martonne. https://dwd-geoportal.de/products/GRD_DEU_P1M_DI-M/

[31] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV): Anlage 8. https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/anlage_8.html

[32] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, S. 9: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[33] Landeskoordinierungsstelle Wasserstoffwirtschaft.SH 2026: Wasserstoffprojekte in Schleswig-Holstein. https://wasserstoffwirtschaft.sh/de/projektkarte

[34] Landeskoordinierungsstelle Wasserstoffwirtschaft.SH 2026, s. Fußnote 33 (Abruf der Daten zu Elektrolyseuren und Projekten am 04.03.2026)

[35] Green Hydrogen Esslingen 2026: Abwärmenutzung bei der Wasserstofferzeugung stärkt Effizienz und Klimaschutz. https://green-hydrogen-esslingen.de/wissen/abwarmenutzung-bei-wasserstofferzeugung

Wasserelektrolyseure. Als grundsätzliche technische Lösungen stehen die Luftkühlung, die Kühlung mit Wasser oder die Abwärme-Nutzung im Sinne einer Kraft-Wärme-Kopplung zur Verfügung. Luftkühlsysteme, auch Trockenkühlsysteme genannt, sind geschlossene Kühlsystemen, bei denen die Wärme über einen Trockenkühlturm an die Umgebungsluft abgegeben wird. Sie haben keinen zusätzlichen Wasserbedarf, da es keinen Wasserverlust durch Verdunstung gibt. Die Trockenkühlung weist allerdings einen geringen Wirkungsgrad auf und lässt sich nur einsetzen, wenn die klimatischen Rahmenbedingungen des Standorts es erlauben, zum Beispiel, wenn die Umgebungstemperatur im Mittel ausreichend gering ist. Die Unabhängigkeit von der Wasserzufuhr, und damit die geringe Sensitivität gegenüber Einschränkungen der Wasserversorgung, kann bei dieser Technologie je nach Standort mit Einschränkungen hinsichtlich ihres Nutzens kollidieren. Ähnlich wie bei der Luftkühlung ist auch für die ebenfalls mögliche Abwärmenutzung mittels Kraft-Wärme-Kopplung die Sensitivität gegenüber einer eingeschränkten Wasserverfügbarkeit geringer. Insbesondere in der heißen Jahreszeit kann es aber temperaturbedingte Einschränkungen geben, wenn kein Bedarf für die überschüssige Wärme besteht und die überschüssige Wärme nicht abgeführt werden kann. Dies kann, wenn keine anderen Maßnahmen vorgesehen sind, möglicherweise zu Einschränkungen der Wasserelektrolyse-Kapazität führen. Im Falle einer technischen Kühlung mit Wasser wiederum erhöht sich der Wasserbedarf für die Wasserelektrolyse je nach eingesetztem Kühlverfahren (Kreislauf-, Ablauf- oder Durchlaufkühlung) stark. Der Kühlwasserbedarf für die Erzeugung von 1 kg Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse kann zwischen 17 und 40 kg bei der Kreislaufkühlung und zwischen 920 kg und 2.450 kg bei der Durchlaufkühlung liegen. Der Gesamtbedarf an Wasser bei einer Wasserelektrolyse mit Kühlwassernutzung addiert sich entsprechend – unter Berücksichtigung der für die Elektrolyse von 1 kg Wasserstoff benötigten Reinstwassermenge – auf 29 bis 53 kg Oberflächenwasser bei der Kreislaufkühlung oder 930 kg und 2.460 kg Oberflächenwasser bei der Durchlaufkühlung.[36] Insbesondere im Falle der Durchlaufkühlung ist demnach eine sehr gute Wasserverfügbarkeit Voraussetzung für die Nutzung dieser Kühltechnologie beziehungsweise ist die Sensitivität gegenüber Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit sehr hoch. Für die Kreislaufkühlung liegt diese Sensitivität demgegenüber deutlich geringer.

Mit Blick auf die Wasserverfügbarkeit von Oberflächenwasser aus Fließgewässern gibt es verschiedene Faktoren, die die Sensitivität der Fließgewässer gegenüber Niedrigwasser bestimmen. Zum Beispiel fallen Bäche in Trockenperioden schneller trocken als Flüsse, die insgesamt einen höheren Abfluss und zudem ein deutlich größeres Einzugsgebiet haben. Ein weiterer Faktor ist die **Grundwasserbürtigkeit** der Gewässer.[37] Sie bestimmt, ob ein Fließgewässer nur durch Oberflächenabfluss gespeist wird oder auch durch das Grundwasser. Fließgewässer, insbesondere Bäche, deren Abfluss nur zu einem geringen Teil oder gar nicht aus Grundwasser gespeist werden, sind gegenüber Trockenperioden deutlich sensitiver. Willems et al. (2004)[38] haben die Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer Schleswig-Holsteins anhand des sogenannten Baseflow-Index (BFI) in die drei Klassen gering, mittel und hoch eingeteilt. Die Auswertung von Willems et al. (2004) zeigt, dass Bäche mit einer geringen Grundwasserbürtigkeit in der hohen Geest und dem östlichen Hügelland entspringen (siehe Abbildung 2 links). Aufbauend auf ihre Analysen zur Grundwasserbürtigkeit haben sie sieben Abflussregime-Typen in Schleswig-Holstein identifiziert, die sich anhand ihrer Grundwasserbürtigkeit, des Sättigungsabflussanteils, des Grundwasserflurabstands und der Geschwindigkeit der Entleerung des Grundwasserspeichers in Trockenzeiten unterscheiden. Die sieben Abflussregime-Typen werden in Tabelle 4 näher beschrieben. Von den Typen H2 bis G1 nimmt das Risiko der Austrocknung während der sommerlichen Trockenwetterphase zu. Besonders hoch ist das Risiko der Austrocknung in Teilen der Geest und des Hügellandes im Landesinneren (siehe Abbildung 2 rechts).

Tabelle 4: Abflussregime-Typen in Schleswig-Holstein nach Willems et al. 2004, zitiert nach Brunke 2008, s. Fußnote 37: S. 55

Typenname	**Grundwasserbürtigkeit**	**Untertyp**
H 2	Hoch	Sättigungsabflussanteil hoch, Grundwasserflurabstand gering, Speicherentleerung langsam
H 1	Hoch	Sättigungsabflussanteil gering, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung langsam
M 3	Mittel	Sättigungsabflussanteil sehr hoch, Grundwasserflurabstand sehr gering, Speicherentleerung mittelschnell

[36] DVGW 2024, s. Fußnote 27: S. 4 ff.

[37] Brunke M. 2008: Klimawandel und Fließgewässer in Schleswig-Holstein. In: LANU – Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2008: Jahresbericht 2007/08: S. 47-60.
https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Bestellsysteme/pdf/jahrbe07/Klimawandel%20und%20Fliessgewaesser.pdf

[38] Willems W., Dick T., Stricker K. 2004: Statistische Regionalisierung von Hochwasserabflüssen, Abflussregimen und ökologischen Indizes in Schleswig-Holstein. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

Typenname	Grundwasserbürtigkeit	Untertyp
M 2	Mittel	Sättigungsabflussanteil mittel, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung mittelschnell
M 1	Mittel	Sättigungsabflussanteil sehr gering, Grundwasserflurabstand sehr hoch, Speicherentleerung mittelschnell
G 2	Gering	Sättigungsabflussanteil hoch, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung schnell
G 1	Gering	Sättigungsabflussanteil mittel, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung sehr schnell

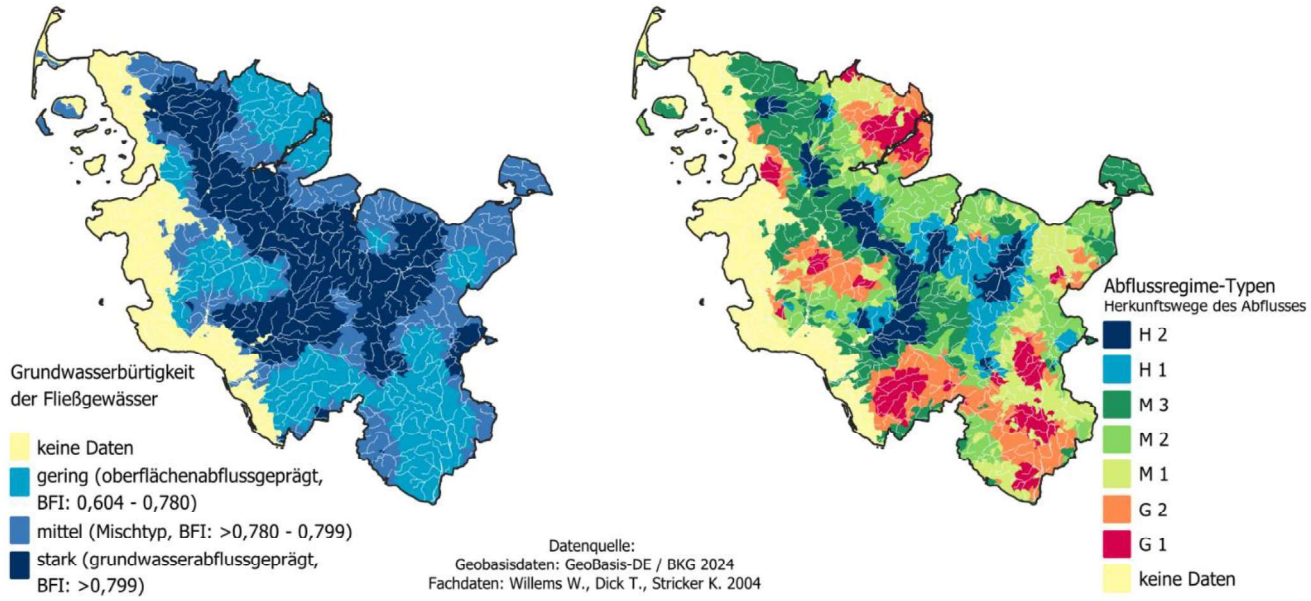


Abbildung 2: links: Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer; rechts: Räumliche Verteilung der Abflussregime-Typen

Es besteht die Möglichkeit, dass sich die Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer mit dem fortschreitenden Klimawandel und aufgrund anthropogener Nutzungen verändert, weil die Grundwasserstände sinken[39]. Für die Klimarisikoanalyse (Kapitel 2.4.3.2) stehen jedoch keine Projektionen der Grundwasserbürtigkeit zur Verfügung.

Mit Blick auf die Einleitung von Kühlwasser in Fließgewässer ergeben sich aus der OGewV[40] Anforderungen für die maximale Temperatur der Gewässer sowie für die höchste zulässige Temperaturerhöhung, die in die Bewertung des ökologischen Zustands beziehungsweise des ökologischen Potenzials einfließen. Die zulässige maximale Temperatur beziehungsweise Temperaturerhöhung wird dabei differenziert für den Sommer (April bis November) und Winter (Dezember bis März) angegeben. Für die in Schleswig-Holstein vorkommenden Gewässertypen sind für eine Einstufung als Gewässer mit einem sehr guten ökologischen Zustand beziehungsweise dem höchsten ökologischen Potenzial in Abhängigkeit von der jeweiligen Fischgemeinschaft die am Ende von Tabelle 5 angegebenen jahreszeitlichen Maximaltemperaturen beziehungsweise Temperaturerhöhungen durch Einleitungen zulässig. Die Werte für die Temperaturerhöhung bezeichnen die maximal zulässige Differenz zwischen den Temperaturen oberhalb und unterhalb einer Einleitungsstelle für Abwärme.

[39] Dass die Grundwasserstände sinken, zeigt der Klimafolgenmonitoring-Indikator WW-I-1 „Grundwasser" (Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/grundwasser.pdf). Siehe auch Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit".

[40] OGewV, s. Fußnote 31

Tabelle 5: Anforderungen an einen sehr guten ökologischen Zustand / das höchste ökologische Potenzial von Fließgewässern bezüglich der maximalen Temperatur und der zulässigen Temperaturerhöhung durch Einleitungen gemäß OGewV Anlage 7

Gewässertyp / Temperaturparameter OGewV	**Sa-ER**	**Sa-MR**	**Sa-HR**	**Cyp-R**	**EP**	**MP**	**HP**
Typ 14	X	X	X	X			
Typ 15	X	X	X	X	X	X	
Typ 16	X	X	X	X			
Typ 17			X	X	X		
Typ 19		X	X	X	X		
Subtyp 21 Nord		X	X	X	X	X	
Typ 22						X	X
Maximale Temperatur Sommer (°C)	< 18	< 18	< 18	< 20	< 20	< 25	< 25
Zulässige Temperaturerhöhung Sommer (ΔT in K)	0	0	0	0	0	0	0
Maximale Temperatur Winter (°C)	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zulässige Temperaturerhöhung Winter (ΔT in K)	≤ 1	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 3	≤ 3	≤ 3

Verwendete Abkürzungen: Salmonidengeprägte Gewässer des Epirhithrals (**Sa-ER**), Metarhithrals (**Sa-MR**), Hyporhithrals (**Sa-HR**); Cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals (**Cyp-R)**; Gewässer des Epipotamals (**EP)**; Gewässer des Metapotamals (**MP**); Gewässer des Hypopotamals (**HP**)

Die Anforderungen für eine Einstufung als Gewässer mit einem guten ökologischen Zustand beziehungsweise einem guten ökologischen Potenzial sind nicht nach Gewässertypen differenziert. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fischgemeinschaft sind die in Tabelle 6 angegebenen jahreszeitlichen Maximaltemperaturen beziehungsweise Temperaturerhöhungen durch Einleitungen zulässig.

Tabelle 6: Anforderungen an einen guten ökologischen Zustand / das gute ökologische Potenzial von Fließgewässern bezüglich der maximalen Temperatur und der zulässigen Temperaturerhöhung durch Einleitungen gemäß OGewV Anlage 7

Temperaturparameter OGewV	**Sa-ER**	**Sa-MR**	**Sa-HR**	**Cyp-R**	**EP**	**MP**	**HP**
Maximale Temperatur Sommer (°C)	≤ 20	≤ 20	≤ 21,5	≤ 23	≤ 25	≤ 28	≤ 28
Zulässige Temperaturerhöhung Sommer (ΔT in K)	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Maximale Temperatur Winter (°C)	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zulässige Temperaturerhöhung Winter (ΔT in K)	≤ 1	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 3	≤ 3	≤ 3

Verwendete Abkürzungen: Salmonidengeprägte Gewässer des Epirhithrals (**Sa-ER**), Metarhithrals (**Sa-MR**), Hyporhithrals (**Sa-HR**); Cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals (**Cyp-R)**; Gewässer des Epipotamals (**EP)**; Gewässer des Metapotamals (**MP**); Gewässer des Hypopotamals (**HP**)

In Schleswig-Holstein weisen die Fließgewässer bislang bestenfalls einen guten ökologischen Zustand beziehungsweise ein gutes ökologisches Potenzial auf, einen sehr guten ökologischen Zustand oder das höchste ökologische Potenzial erreicht bislang kein Fließgewässer.[41] Unter der Annahme, dass die Gewässer in Schleswig-Holstein das Mindestziel der EU-Wasserrahmenrichtlinie bezüglich ihres ökologischen Zustands oder Potenzials erreichen und durchgängig den Anforderungen an einen guten ökologischen Zustand beziehungsweise ein gutes ökologisches Potenzial entsprechen, beschreibt Tabelle 6 damit den Rahmen der Sensitivität von Gewässern gegenüber Wärmeeinleitungen aus Anlagen für die Wasserstofferzeugung. Sofern eine darüber hinausgehende Verbesserung des ökologischen Zustands oder Potenzials von Gewässern erreicht werden soll, ist der strengere Maßstab aus Tabelle 6 anzulegen.

[41] BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde 2022: Karten zum 3. Bewirtschaftungszyklus (Stand 14.04.2022). https://geoportal.bafg.de/karten/wfdmaps2022/

2.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

2.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Aufgrund des noch vergleichsweise kurzen Zeitraums, über den in Schleswig-Holstein Erfahrungen mit der Wasserelektrolyse bestehen und der bisher eher geringen Anlagengröße sind bislang keine Ereignisse bekannt, bei denen es zu Einschränkungen der Wasserelektrolyse infolge von Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit gekommen ist.

2.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Die Klimarisikoanalyse für die Klimawirkung „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse im Binnenland" kann sich ihrem Untersuchungsgegenstand nur auf einer allgemeinen Ebene annähern. Zum einen ist der Bestand an Wasserelektrolyseuren als exponiertes System in Schleswig-Holstein bislang relativ gering und es liegen keine konkreten Informationen zu Standorten für die mögliche Weiterentwicklung vor. Zum anderen liegt bislang auch noch keine landesweite Analyse des Wasserbedarfs und -dargebots vor, in der die aktuellen Wasserbedarfe und -dargebote und deren zukünftige Entwicklung gemeinsam für Grundwasser und Oberflächengewässer betrachtet werden. Vor diesem Hintergrund zielt die Klimarisikoanalyse darauf, auf der einen Seite den geplanten Zuwachs der Wasserstoffproduktion, den damit möglicherweise verbundenen Wasserbedarf zu skizzieren und die allgemeinen Informationen zu Räumen darzustellen, die aus technischer Sicht günstig für den Aufbau einer Wasserstoffproduktion sein können. Auf der anderen Seite wird anhand der zukünftigen Entwicklung meteorologischer und hydrologischer Faktoren dargestellt, in welchen Regionen Schleswig-Holsteins Risiken für eine ganzjährige Verfügbarkeit der für die Wasserstoffproduktion erforderlichen Wassermenge und Wärmeeinleitungskapazität möglicherweise eher bestehen können als in anderen Teilen des Landes.

Gemäß der Wasserstoffstrategie soll in den kommenden Jahren ein deutlicher Ausbau der Erzeugungskapazitäten von Wasserstoff in Schleswig-Holstein auf 1,5 GW bis zum Jahr 2030 auf 10 GW bis zum Jahr 2045 vorangetrieben werden.[42] Dies entspricht in etwa der im bundesweiten Szenariorahmen für das Klimaneutralitätsnetz 2045 erwarteten installierten Elektrolyseleistung in Schleswig-Holstein von über 5 GW im Jahr 2037 und über 9 GW im Jahr 2045.[43] Unter der Voraussetzung eines signifikanten Ausbaus von erneuerbaren Energieanlagen ließen sich damit für das Jahr 2037 bereits ein Output von über 15 TWh Wasserstoff erzeugen. Ab 2045 bestünde die Kapazität, jährlich über 40 TWh Strom in Wasserstoff umzuwandeln und über 30 TWh Wasserstoff erzeugen. Beide Zahlen gehen von einem Wirkungsgrad von 75 % aus.[44] Als Standorte für die Installation von Wasserelektrolyseuren mit hoher Leistung bestehen aus technischer Sicht besonders gute Voraussetzungen im Umfeld von Hoch- und Höchstspannungsleitungen, in denen große Kapazitäten für den Transport insbesondere des von Offshore- und Onshore-Windenergieanlagen produzierten Stroms bestehen. Die großen Stromtrassen verlaufen in Schleswig-Holstein in Nord-Süd-Richtung im Hinterland der Westküste, in der Mitte des Landes sowie im Hamburger Ring und im Südosten Schleswig-Holsteins.[45]

Was bedeuten die oben genannten Planungen mit Blick auf den Wasserbedarf? Geht man für den Anlagenbestand von einem spezifischen Energiebedarf von 55 kWh je Kilogramm Wasserstoff aus und einer Volllaststundenzahl von 4.000 Stunden je Jahr[46], können mit dem für 2030 angestrebten Anlagenbestand mit 1,5 GW installierter Leistung rund 110.000 Tonnen Wasserstoff erzeugt werden. Für die für das Jahr 2045 angestrebte installierte Leistung von 10 GW ergibt sich dementsprechend ein Wert von rund 727.000 Tonnen Wasserstoff. Die Menge des benötigten Wassers hängt wie oben angedeutet wesentlich von der Art der Kühlung ab. In der folgenden Tabelle 7 sind als drei Szenarien die Trockenkühlung ohne zusätzlichen Wasserbedarf, eine durchschnittliche Kreislaufkühlung mit einem Gesamtbedarf von 40 kg je Kilogramm Wasserstoff (30 kg zusätzlicher Wasserbedarf zur benötigen Wassermenge für die Reinstwassergewinnung) sowie eine durchschnittliche Durchlaufkühlung mit einem Gesamtbedarf von 1.500 kg Wasserbedarf je Kilogramm Wasserstoff dargestellt.

---

[42] MEKUN 2024, s. Fußnote 20: S. 12

[43] Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045 (2023), zweiter Entwurf | Übertragungsnetzbetreiber CC-BY-4.0: S. 54, 57 https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2023-07/NEP_2037_2045_V2023_2_Entwurf_Teil1_1.pdf

[44] Netzentwicklungsplan Strom 2037 / 2045 (2023), s. Fußnote 43: S. 85 (2037) und S. 88 (2045)

[45] Fraunhofer ISE 2026: Energy-Charts. https://energy-charts.info/map/map.htm?l=de&c=DE&country=DE&zoom=6&lat=51.801&lng=9.195&state=51529&pp-source=mastr&pp-bitmap=none&lines=1110000

[46] Annahme wie: Holst M., Ranzmeyer O., Eißler T., Thelen C., Ruckteschler T., Edenhofer L., Fluri V., Kost C. 2025: Analyse verschiedener Versorgungsoptionen Baden-Württembergs mit Wasserstoff und Wasserstoffderivaten. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. S. 7. www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/25_de_ISE_Studie_Analyse-H2-Versorgung-BW.pdf

Unberücksichtigt bleibt in der Tabelle, dass Elektrolyseure möglicherweise direkt am Ort von Offshore-Anlagen in Nordsee installiert werden und für die Elektrolyse keine Entnahme von Oberflächenwasser an Land erforderlich ist.

Tabelle 7: Wasserbedarf für die Wasserelektrolyse bei verschiedenen Szenarien für die Anlagenkühlung (Annahme: spezifischer Energiebedarf der Wasserelektrolyse: 55 kWh / kg; jährliche Volllaststundenzahl 4.000 Stunden) (Quelle: MEKUN, DVGW[47]; eigene Auswertung)

Jahr	**Installierte Leistung**	**Erzeugter Wasserstoff**	**Gesamter Wasserbedarf bei Trockenkühlung** Faktor 10	**Gesamter Wasserbedarf bei Kreislaufkühlung** Faktor 40	**Gesamter Wasserbedarf bei Durchlaufkühlung** Faktor 1.500
	GW	Tonnen	Mio. Tonnen	Mio. Tonnen	Mio. Tonnen
Aktuelle Planung[48]	1,6	117.165	1,17	4,68	175,75
2030	1,5	109.091	1,09	4,36	163,64
2040	6	436.364	4,36	17,45	654,54
2045	10	727.273	7,27	29,09	1.090,91

Zur Einordnung der in der Tabelle 7 angegebenen Zahlen zum Wasserbedarf für die Wasserelektrolyse sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wasserabgabe von öffentlichen Wasserversorgern an Letztverbrauchende in Schleswig-Holstein im Jahr 2022 bei 178,1 Mio. m³ lag.[49] Da im Falle der Kreislaufkühlung und insbesondere der Durchlaufkühlung der größte Teil des Wasserbedarfs für die Kühlung der Anlagen benötigt und das erwärmte Wasser nach der mehrfachen beziehungsweise einmaligen Verwendung wieder in ein Gewässer eingeleitet würde, kann auch das Beispiel des jährlichen Abflussvolumens eines Fließgewässers hilfreich sein. Der im Unterlauf des Flusses gelegene Trave-Pegel Lübeck-Moisling beispielsweise weist bei einem mittleren Abfluss MQ von 7,9 m³/s einen jährlichen Durchfluss von rund 250 Mio. m³ auf. Es wird deutlich, dass vor allem mit der Durchlaufkühlung Wärmeeinleitungen verbunden wären, welche die Temperaturbedingungen in den jeweiligen Gewässern deutlich beeinflussen und, vor allem in den Sommermonaten, die Nutzbarkeit des Wassers einschränken können.

Um sich einer Abschätzung der zukünftigen quantitativen Wasserverfügbarkeit in Schleswig-Holstein für die Wasserelektrolyse anzunähern, können die Ergebnisse der Klimarisikoanalyse für die Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" (siehe Seite 255) herangezogen werden. Dieser Klimawirkung zufolge sind die Projektionen zum Niederschlag in ihrer Entwicklungsrichtung noch nicht eindeutig, zeigen aber bezüglich des Niederschlags überwiegend stabile bis höhere Jahresniederschläge. Insbesondere im Worst-Case-Szenario dieser Klimawirkung (RCP8.5, 15. Perzentil), bei der die Änderung gegenüber dem Referenzzeitraum -2,5 bis 5 Prozent beträgt, könnte dies aufgrund der schon jetzt höheren Niederschlagsmenge in den Wintermonaten auch bei einem gleichbleibenden Jahresniederschlag sinkende Niederschlagsmengen in den Sommermonaten bedeuten. Auch die Projektionen der Anzahl von Trockenperioden, also Perioden mit mindestens 14 aufeinanderfolgenden Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, sind in ihrer Entwicklungsrichtung nicht eindeutig (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29). Das Worst-Case-Szenario hier wären 0 bis 0,75 Trockenperioden mehr im Jahr zur Mitte des Jahrhunderts, was ein moderater Anstieg wäre. Sicher ist, dass die Verdunstung zunehmen wird, allein aufgrund des Temperaturanstiegs und der zunehmenden Anzahl Heißer Tage. So zeigen die Projektionen, dass die Anzahl der Heißen Tage zunimmt, vor allem im schon jetzt heißeren Süden des Landes, wo es künftig bis zu elf Heiße Tage im Jahr geben könnte, statt der bisherigen vier bis fünf (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25).

Im zentralen Analyseschritt für die Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigung durch Niedrigwasser" wurde unter Verwendung der KWB und den oben dargestellten Abflussregime-Typen (siehe Tabelle 4) die zukünftigen Risiken für die Entstehung von Niedrigwasser in den Blick genommen. Für die zukünftige Entwicklung der KWB wurden unter Annahme des RCP8.5 das 15. Perzentil der projizierten Werte zugrunde gelegt.[50] In diesem Fall könnte es bis Mitte des Jahrhunderts

[47] MEKUN 2024, s. Fußnote 20: S. 12; DVGW 2024, s. Fußnote 27: S. 4 ff.

[48] Landeskoordinierungsstelle Wasserstoffwirtschaft.SH 2026: Grüne Wasserstoffwirtschaft Schleswig-Holstein. https://wasserstoffwirtschaft.sh/ (Abruf der Daten zur geplanten Wasserstoffproduktion am 04.03.2026)

[49] Statistik Nord (Hrsg.) 2024: Verbrauch bei steigenden Entgelten gesunken. Statistik informiert … , 156/2024. https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/umwelt-energie/dokumentenansicht/trinkwasserverbrauch-und-trinkwasserentgelte-in-den-letzten-20-jahren-in-schleswig-holstein-66269

[50] Um eine vorsorgende Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu ermöglichen, bildet die Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein stets das Worst-Case-Szenario unter den gesetzten Rahmenbedingungen ab. In der Regel ist dies bei den Klimaprojektionen das

(2031–2060) zu einer leichten Zunahme der KWB entlang der Nordseeküste kommen. Im Südosten des Landes könnte die KWB um bis zu 50 mm abnehmen und damit zu Werten bis -50 mm sinken. Viele der dort befindlichen Fließgewässer gehören den sensitiven Abflussregime-Typen G1 und G2 an. Das heißt, ihr Sättigungsabflussanteil ist mittel bis hoch, ihr Grundwasserflurabstand mittel und ihre Speicherentleerung schnell bis sehr schnell. Damit zeichnet sich im Südosten ein Hotspot der beschriebenen Niedrigwasserproblematik ab, zumal für diese Landesteile auch besonders viele Heiße Tage projiziert werden. Gebiete mit einem mittleren Risiko von Niedrigwasser hat die Analyse zur Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigung durch Niedrigwasser" entlang der Ostseeküste ermittelt, beispielsweise in Nordoldenburg und auf Fehmarn oder an der Geltinger Bucht. Aufgrund einer hohen Sensitivität der Fließgewässer und einer mittleren klimatischen Wasserbilanz könnte zudem das Niedrigwasserrisiko für die Gewässer im nord-westlichen Hamburger Ring in einem mittleren Bereich liegen. Ein weiteres Risikogebiet könnte in der westlichen Geest liegen (vor allem in der Heide-Itzehoer Geest, der Bredstedt-Husumer Geest und Teilen der Eider-Treene-Niederung). Für diese Region wird, über das gesamte Jahr betrachtet, eine vergleichsweise hohe KWB projiziert. Dennoch ist nicht ausgeschlossen, dass es im Sommer zu Niedrigwasserphasen kommen kann.

Für die Klimarisikoanalyse ist zu berücksichtigen, dass Niedrigwasser bei einer Verwendung von Oberflächenwasser für die Wasserelektrolyse auf zweifache Weise zu Einschränkungen führen kann. Der quantitative Aspekt ist offensichtlich: Bei einem geringen Abfluss in einem Fließgewässer, das den Rohstoff und / oder das Kühlwasser für die Wasserelektrolyse bereitstellen soll, kann die verfügbare Wassermenge das für die Produktion und / oder die Kühlung erforderliche Maß möglicherweise unterschreiten, sodass die Produktionsanlage nicht mit voller Kapazität betrieben werden kann. Hinzu kommt ein qualitativer Aspekt: Bei einer geringen Wasserführung und dementsprechend niedrigen Wasserständen erwärmen sich Fließgewässer schneller als bei einem mittleren oder hohen Abfluss. Infolge dieser Erwärmung und der gleichzeitig niedrigen Wasserstände kann es zu Einschränkungen für die Wärmeeinleitung in das Gewässer kommen. Beispielsweise kann zur Einhaltung der Temperaturschwellen der OGewV (siehe Tabelle 5 und Tabelle 6) oder zur Aufrechterhaltung von Mindestabflüssen eine Drosselung der Anlage notwendig sein beziehungsweise durch die zuständigen Behörden angeordnet werden. Die Einschränkung der Wärmeeinleitung wird in jedem Fall eine Verringerung der Produktion nach sich ziehen.

Im Ergebnis der Risikoanalyse wird deutlich, dass verschiedene Faktoren eine Gefahr hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse darstellen und infolgedessen ein Risiko für eine hinsichtlich Betriebszeit und -kapazität uneingeschränkte Wasserstoffproduktion bedeuten können. Dies gilt zunächst für die Wahl des Standorts von Wasserelektrolyseuren. In Schleswig-Holstein ist die Situation der Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern bezogen auf das Auftreten von Niedrigwassersituationen räumlich heterogen verteilt. Ein Risiko für das Auftreten solcher Situation besteht im Zusammenspiel einer projizierten niedrigeren KWB, besonders sensitiven Fließgewässern und einer im landesweiten Vergleich hohen Zunahme an Heißen Tagen vor allem im Südosten und Osten Schleswig-Holsteins, außerdem im Bereich des Hamburger Rings und, etwas weniger ausgeprägt, auch in der westlichen Geest. Insbesondere in den Sommermonaten kann es in den genannten Regionen zu geringen Abflüssen und einer insgesamt geringeren Wasserverfügbarkeit kommen. Infolgedessen kann sich, wie oben ausgeführt, auch das Risiko von Einschränkungen bei der Wärmeeinleitung erhöhen. Die Ansiedlung von Wasserelektrolyseuren in diesen Regionen kann im Vergleich zu anderen Standorten in Schleswig-Holstein mit einem höheren Risiko für zeitweise Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit für die Elektrolyse einhergehen. Für Wasserelektrolyseure, die aufgrund der verwendeten Kühltechnologie einen höheren Wasserbedarf haben, verstärkt sich das jeweilige standortbezogene Risiko für Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit weiter.

85. Perzentil, weil es die stärkere Erwärmung, die größere Anzahl Heißer Tage etc. zeigt. Im Falle der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" beschreibt allerdings das 15. Perzentil das Worst-Case-Szenario, denn die Niedrigwassergefahr steigt umso mehr, je geringer die klimatische Wasserbilanz ist. Daher wurde für die die Operationalisierung dieser Klimawirkung das 15. Perzentil der projizierten klimatischen Wasserbilanz gewählt.

3 Handlungsfeld Gebäude

3.1 Relevanz des Handlungsfelds

Regionaltypische Bauformen und -techniken von Gebäuden und Siedlungen haben sich in der Vergangenheit vor allem in Reaktion auf das regionale Klima und das Angebot der im lokalen Umfeld vorkommenden Rohstoffe und Baumaterialien herausgebildet. Mit den vorhandenen Mittel wurden Bauten und Gebäude errichtet, die den Bewohnerinnen und Bewohnern sowie ihrem Hab und Gut den ihrem Erfahrungswissen nach bestmöglichen Schutz unter anderem vor Wetter und Witterung boten. Heute stellen Baustandards und -normen sicher, dass die klimatischen Rahmenbedingungen des jeweiligen Orts bei der Planung und Realisierung von öffentlichen und privaten Gebäuden Berücksichtigung finden und neue, aus- oder umgebaute Gebäude alle Anforderungen an ihre dauerhafte und sichere Nutzung erfüllen. Wesentliche wetter- und witterungsbezogene regionalisierte Vorgaben für die Gestaltung von Gebäuden sind beispielsweise durch die Windlast-, Schneelast- oder Schlagregenzonen definiert, bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes sind die Sommerklimaregionen zu berücksichtigen. Die klimaangepasste Weiterentwicklung von Baustandards und darauf aufbauenden Planungshilfen ist daher eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass Gebäude ihre Funktionen auch unter den sich ändernden Klimabedingungen erfüllen.

Baustandards und -normen besitzen in Deutschland grundsätzlich eine hohe Auslegungsbreite. Mit Blick auf die klimatischen Faktoren bedeutet das, dass Gebäude bei der großen Spanne an unterschiedlichen Bedingungen, die in ihren langfristigen Lebenszyklen auftreten können, in der Regel ohne oder mit nur geringfügigen Einschränkungen funktionsfähig bleiben. Klimatische Risiken für die Gebäude selbst, für die in ihnen stattfindenden Nutzungen und für die Nutzenden entstehen daher insbesondere durch extreme Wetter- und Witterungsereignisse, die außerhalb der Auslegungsbreite liegen. Solche Ereignisse können mit der fortschreitenden globalen Erwärmung in Häufigkeit und Intensität zunehmen: Orkane, Sturmfluten, extreme Starkregen und Überflutungen, Hagelschauer mit sehr großen Korngrößen, langanhaltende Hitzeperioden und Dürre. Diese Ereignisse können Gebäude und Liegenschaften direkt schädigen und / oder zu Gefahren für Gebäudenutzende sowie dort befindliche Sachgüter führen. Hitze und Strahlung können Materialien und Bauteile zudem auf lange Frist schädigen[51] und vor allem die Aufenthaltsqualität in Gebäuden und den sie umgebenden Freiflächen verringern. In urbanen Räumen mit großflächig verdichteten Baustrukturen können die Auswirkungen vor allem von Hitze und Starkregen besonders stark ausfallen.

Um die möglichen Auswirkungen auf Gebäude und die darin befindlichen Menschen und Sachgüter gering zu halten, ist die Klimaerwärmung beim Neu-, Um- und Ausbau von Gebäuden mitzudenken und zum Beispiel konsequent auf eine klimaangepasste Gestaltung, Materialwahl und Bauweise zu achten. Hierfür tragen alle am Planungs- und Bauprozess Beteiligten eine Verantwortung: Die Kommunen müssen planerische Vorsorge betreiben, in ihrer Bauleitplanung Risikogebiete berücksichtigen, zum Beispiel Überschwemmungsgebiete, und diese nach Möglichkeit von einer Bebauung ausnehmen. Für Ingenieurinnen und Architekten gilt es im Kontext Klimaanpassung, einschlägige Baustandards im Planungsprozess situationsgerecht und unter Berücksichtigung vorhandener Informationen zu Klimaprojektion oder zu den Gefahren von Extremereignissen anzuwenden. In der Verantwortung von Bauleuten sowie Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern liegt es, ihrer Verpflichtung zur Eigenvorsorge ernst zu nehmen, sich über mögliche Maßnahmen zu informieren und über deren Umsetzung zu entscheiden. Hierzu gehören Maßnahmen zur baulichen Vorsorge gegen Gebäudeschäden durch Hochwasser, Sturm und Hagel und die finanzielle Absicherung solcher Schäden durch einen adäquaten Versicherungsschutz ebenso wie Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz. Im Zusammenspiel zielen die Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld Gebäude darauf, Schäden an Bauwerken, Gebäuden und Liegenschaften nach Möglichkeit zu vermeiden, das Ausmaß von materiellen und finanziellen Schäden weitgehend zu reduzieren, vor allem aber für die Nutzenden eine hohe Aufenthaltsqualität in Gebäuden zu gewährleisten und sie vor Schäden zu schützen.

[51] Lösch C., Delfs L., Schwegmann M. 2024: Risikoszenarien für Gebäude und Bauteile resultierend aus Hitze, Trockenheit und Dürre. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.). S. 6 ff. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/jahr/2024/risikoszenarien/endbericht.pdf

3.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

3.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser

Fluss- und Küstenhochwasser sind natürliche, wiederkehrende Phänomene. Schäden an Gebäuden – und anderen Infrastrukturen – können entstehen, wenn Hochwasserereignisse besonders intensiv sind oder bestehende Schutzsysteme versagen. Mit dem fortschreitenden Klimawandel können Hochwasserereignisse häufiger und intensiver werden. Die Klimafolgenmonitoring-Indikatoren KUE-I-1 und KUE-I-2 zeigen, dass der mittlere Meeresspiegel an Nord- und Ostsee steigt und dass Sturmfluten an beiden Küsten tendenziell höher auflaufen.[52] Das heißt auch, dass die Fließgewässer der Niederungen weniger Gefälle haben und Sperr- oder Kettentiden länger andauern könnten. Eine Ausuferung der Fließgewässer dort könnte häufiger werden. Auch im Binnenland sind häufigere Ausuferungen von Fließgewässern möglich, vor allem aufgrund in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmender Starkregenereignisse.

Schäden durch Fluss- und Küstenhochwasser an Gebäuden gab es in der Vergangenheit immer wieder. Seit 2002 gibt es auf Ebene der Bundesländer Daten zu den versicherten Schäden, die infolge von Naturgefahren wie Hochwasser und Starkregen in der Verbundenen Wohngebäude aufgetreten sind. Damit wird allerdings nur ein Teil der Schäden erfasst, da zum einen nicht-versicherte Schäden nicht in die Daten einfließen und zum anderen Sturmflutrisiken nicht von der erweiterten Naturgefahrenversicherung abgedeckt sind. Die Zeitreihen zu den versicherten Schäden sind daher vor allem von den Auswirkungen einzelner extremer Flusshochwasser, hier insbesondere das Elbehochwasser 2002, sowie extremer Starkregenereignisse geprägt, beispielsweise in den Jahren 2018 und 2021. Ein statistisch signifikanter Trend zeigt sich für die Schadenhäufigkeit nicht. Für den Schadensatz ist, wenn man das die Trendschätzung sehr stark beeinflussende Jahr 2002 ausklammert, seit 2003 signifikanter Anstieg erkennbar (siehe Monitoring-Indikator GB-I-1[53]).

Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Klimasignals Flusshochwasser liegen keine Projektionen vor. Mit Blick auf Sturmfluten wird erwartet, dass die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[54], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend zukünftig höher auflaufen werden – bis Mitte des Jahrhunderts um 0,20 bis 0,30 m, bis Ende des 21. Jahrhunderts um im Mittel 0,77 m (bei einer wahrscheinlichen Bandbreite von 0,61 bis 1,02 m).[55] Grundsätzlich wird demnach die potenziell von Überschwemmungen durch Küstenhochwasser betroffene Fläche weiter zunehmen. Es ist zu erwarten, dass sich dies auch in einer weiter gefassten Abgrenzung der Hochwasserrisikogebiete niederschlagen wird, sodass dann weitere Siedlungsflächen sowie Industrie- und Gewerbeflächen ganz oder teilweise innerhalb von Hochwasserrisikogebieten liegen werden. Die potenzielle Betroffenheit von Gebäuden wird dadurch weiter ansteigen. Hinzu kommt, dass für die Zukunft gemäß der Siedlungsflächenprojektion 2045[56] des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) von einer weiteren Zunahme der Siedlungsfläche auszugehen ist. Zwar ist die Ausweisung neuer Baugebiete im Außenbereich in Bauleitplänen oder in sonstigen Satzungen nach dem Baugesetzbuch gemäß § 78 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) grundsätzlich verboten. Allerdings steht aufgrund der im Gesetz genannten möglichen Ausnahmen zu erwarten, dass das erwartete Siedlungsflächenwachstum – wie bisher – zum Teil auch in Überschwemmungsgebieten oder insgesamt in Hochwasserrisikogebieten stattfinden wird.

---

[52] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf und
Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[53] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/elementarschaeden.pdf

[54] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022: Seite 21.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

[55] IPCC (Hrsg.) 2021, zitiert nach MELUND 2022 (s. Fußnote 76): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

[56] Behmer J. 2019: Siedlungsflächenprojektion 2045. Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Band 08/2020: Seite 5. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-01-27_climate-change_08-2020_siedlungsflaechenprojektion-2045_0.pdf

Das Risiko für Schäden an Gebäuden durch Fluss- und Küstenhochwasser besteht zukünftig grundsätzlich fort. Mit Blick auf die zu erwartende weitere Zunahme der Fläche von Hochwasserrisikogebieten, zumindest an der Küste, und das erwartete weiterhin stattfindende Wachstum der Siedlungsfläche in diesen Gebieten erscheint es wahrscheinlich, dass dieses Schadensrisiko künftig ebenfalls weiter zunehmen wird.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 3.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator GB-I-1: Elementarschäden an Gebäuden[57]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[58]

3.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA 2021[59] für das Handlungsfeld Bauwesen beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen eines gemeinsamen Fachworkshops für die Handlungsfelder Gebäude sowie Stadt- und Siedlungsentwicklung der schleswig-holsteinischen Klimaanpassungsstrategie mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 8 aufgeführten weiteren Klimawirkungen für das Handlungsfeld Gebäude diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt. Die diskutierten Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung des Handlungsfelds Stadt- und Siedlungsentwicklung sind in der entsprechenden Klimarisikoanalyse aufgeführt und hier nicht dargestellt.

Tabelle 8: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze	Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung wird die Anzahl und Dauer von Hitzeperioden zunehmen. Infolgedessen wird es nach den Ergebnissen KWRA 2021[60] ohne bauliche Anpassungsmaßnahmen generell vermehrt zu hohen Innenraumtemperaturen kommen. In Ballungsräumen werden diese zusätzlich durch den städtischen Wärmeinseleffekt verstärkt. Als besonders hitzeempfindliche Gebäude und Einrichtungen werden in der KWRA 2021 unter anderem Alten- und Pflegeheime, Einrichtungen für Menschen mit körperlichen und geistigen Einschränkungen, Krankenhäuser, Not- und Rettungsdienste, Einrichtungen zur Rehabilitation, Schulen, Kindertageseinrichtungen und bestimmte Arbeitsstätten angeführt. Für Deutschland wird insgesamt ein sehr hoher Handlungsbedarf gesehen. Diese Einschätzung wurde im Fachworkshop mit Blick auf Schleswig-Holstein geteilt und die Klimawirkung als relevant eingestuft. In der Diskussion wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, das Bewusstsein und Verständnis für die Problematik und für erforderliche Maßnahmen zu schärfen und den Schutz vor Hitze bei Baumaßnahmen an Gebäuden sowie im Städtebau verstärkt zu berücksichtigen. Dies gilt auch für die Anbieter touristischer Unterkünfte. Die individuelle Anpassung wurde trotz der Betroffenheit eines substanziellen Anteils der Bevölkerung als insgesamt zu gering eingeschätzt. Allerdings konnten für die Klimawirkung keine verfügbaren Daten ermittelt werden, die über die für die Klimawirkung „Zusätzliche Wärmebelastungen in Städten durch den Wärmeinseleffekt" genutzten Daten hinausgehen. Nähere Informationen finden sich in der Beschreibung der Klimawirkung in der Klimarisikoanalyse für das Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung. Im Zuge der Fortschreibung der Klimarisikoanalyse soll eine

[57] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/elementarschaeden.pdf

[58] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 52

[59] Voß M., Kahlenborn W., Porst L., Dorsch L., Nilson E., Rudolph E., Lohrengel A.-F. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change 23/2021: S. 34 ff. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_23-2021_kwra2021_infrastruktur.pdf

[60] Voß et al. 2021, s. Fußnote 59: S. 77 ff.

Klimawirkung	Erläuterungen
	Bearbeitung der Klimawirkung „Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze“ geprüft werden.
Einschränkungen der Zeiten für Bautätigkeiten	Mit Blick auf die möglichen Zeiten für Bautätigkeiten beschreibt die Klimawirkung in der KWRA 2021[61], dass es zukünftig einerseits einen deutlichen Rückgang der Anzahl der Tage mit erschwerter Bautätigkeit („Schlechtwettertage“) geben kann, sich aber andererseits durch Starkwind, Starkregen, Hitze und Belastungen mit UV-Strahlung auch zusätzliche Einschränkungen ergeben können. Unter anderem können die verschiedenen Faktoren die Unfallgefahr und die Gesundheitsbelastung auf Baustellen erhöhen, die Leistungsfähigkeit von Beschäftigten insbesondere im Freien einschränken oder zu Bauunterbrechungen aus Gründen des Arbeitsschutzes führen. Die Klimawirkung wurde für Schleswig-Holstein als nicht relevant eingestuft und daher in der Klimarisikoanalyse nicht weiter bearbeitet.

3.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Im Handlungsfeld Gebäude wurde die Bedeutung zweier Klimawirkungen bewertet: „Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser“ sowie „Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze“ (siehe Tabelle 9). Der Beeinträchtigung des Innenraumklimas wurde beim Bewertungsworkshop mit Blick auf die Bedeutung für den Tourismus und die Gestaltung von beziehungsweise das Wohlergehen an Arbeitsplätzen eine sehr hohe soziale Bedeutung zugeschrieben. Allerdings vertraten die Fachleute durchaus verschiedene Ansichten, was die soziale Bedeutung dieser Klimawirkung anbelangt. Die soziale Bedeutung von Schäden durch Fluss- und Küstenhochwasser wurde als hoch bewertet, ebenso wie seine wirtschaftliche Bedeutung. Die wirtschaftliche Bedeutung der Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze war ebenso wie die soziale Bedeutung dieser Klimawirkung Gegenstand kontroverser Diskussionen. Sie könnte hoch bis sehr hoch sein, weil überhitzte Wohn- und Schlafräume die menschliche Gesundheit beeinträchtigen und überhitzte Arbeitsräume die Leistungsfähigkeit der Arbeitenden reduzieren. Jedoch ist Schleswig-Holstein mit seiner Lage zwischen den Meeren im Vergleich zu anderen Bundesländern in dieser Hinsicht klimatisch begünstigt. Nichtsdestotrotz zeigen die Klimaprojektionen einen Anstieg der Anzahl der Heißen Tage insbesondere im Süden des Bundeslandes.

Entsprechend der uneinheitlichen Bewertung der Bedeutung der Klimawirkung zum Innenraumklima wurde auch der Handlungsbedarf unterschiedlich eingeschätzt (siehe Tabelle 10). Ein Grund für ein Votum gegen Handlungsbedarf sind die bereits bestehenden Regelungen in der Landesbauordnung (LBO). Bezüglich Schäden an Gebäuden aufgrund von Fluss- und Küstenhochwasser sahen die Fachleute hingegen übereinstimmend Handlungsbedarf. Generell gilt für beide Themenfelder, dass sie im Bauordnungs- und Bauplanungsrecht berücksichtigt und kontinuierlich Vorschriften weiterentwickelt werden. Dabei gilt es, Maß zu halten zwischen allgemeingültigen Anforderungen und individueller Vorsorge/Eigenverantwortung.

[61] Voß et al. 2021, s. Fußnote 59: S. 80 ff.

Tabelle 9: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Gebäude

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser	hoch	gering	hoch	-*	-**
Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze	uneinheitlich (gering bis sehr hoch)	gering	uneinheitlich (gering bis hoch)	geringe Bedeutung: Thema Hitze ist in Schleswig-Holstein aufgrund der Lage zwischen den Meeren weniger relevant als Hochwasser	sehr hohe soziale Bedeutung, Hinweis auf Tourismus (Betroffenheit der Gäste) und die Situation am Arbeitsplatz und im Handel (Kunden) hohe bis sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung, weil überhitzte Wohn- und Schlafräume die Gesundheit beeinträchtigen und überhitzte Arbeitsräume zusätzlich die Leistungsfähigkeit der Arbeitenden reduzieren

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 10: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?"

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser	ja	-*	-**
Beeinträchtigungen des Innenraumklimas durch Hitze	uneinheitlich	-	uneinheitlich; einerseits wichtige Klimawirkung in Bezug auf das menschliche Wohlergehen und die Leistungsfähigkeit, andererseits wird das Thema über die Landesbauordnung (LBO) bereits geregelt

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

3.4 Klimawirkung „Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser“

3.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Hochwasser zählen an den Fließgewässern Schleswig-Holsteins ebenso wie an Nord- und Ostsee zum natürlichen hydrologischen Geschehen. Zu Schäden an Gebäuden kann es kommen, wenn Überschwemmungen durch Fluss- und Küstenhochwasser extreme Ausmaße erreichen und bestehende Sicherungssysteme für ihre Abwehr nicht ausreichen. Flusshochwasser entstehen häufig durch lang andauernde starke Niederschläge, insbesondere dann, wenn wassergesättigte Böden die Niederschläge nicht mehr aufnehmen können und diese an der Oberfläche abfließen. In Schleswig-Holstein können zudem die Auswirkungen von Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten die Entwässerung des Binnenlands einschränken und das Geschehen von Flusshochwasser beeinflussen (siehe Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten“). Sturmfluten sind darüber hinaus die wesentliche Gefahrenquelle für Überschwemmungen an den Küsten.

Laut dem Weltklimarat (IPCC) treten Wetter- und Klimaextreme wie die vielerorts auftretenden Starkniederschläge heute in allen Weltregionen häufiger und intensiver auf als in früheren Zeiten. Für die Zukunft werden sich dem IPCC zufolge die Extreme weiter verschärfen, starke Regenfälle werden weiterhin in Stärke und Häufigkeit zunehmen.[62] Diese können auch zu häufigeren oder weiter reichenden Überschwemmungen an Flüssen führen. Hinzu kommen weitere Veränderungen zum Beispiel durch das Schmelzen von Schneedecken, Gletschern und polaren Eiskörpern.[63] Zu den wesentlichen Veränderungen, die für Schleswig-Holstein damit verbunden sein können, zählen der beschleunigte Anstieg des Meeresspiegels und das infolgedessen höhere Auflaufen von Sturmfluten an den Küsten.

3.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

3.4.2.1 Klimasignale

Mit Blick auf Überschwemmungen im Binnenland sind das Auftreten und die Entwicklung von Flusshochwassern ein wesentliches Klimasignal. **Hochwasser** sind grundsätzlich ein natürliches Phänomen und Teil des Abflussgeschehens von Fließgewässern. Per Definition ist Hochwasser der „Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluss einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder überschritten hat“.[64] Die gewählten Schwellenwerte haben in der Regel Bedeutung im Hinblick auf das einem Hochwasser anhaftende Schadenspotenzial. Für Schleswig-Holstein wurden für die Beobachtung des Hochwassergeschehens im Klimafolgenmonitoring acht Pegel ausgewählt und hinsichtlich der dort auftretenden Hochwassertage untersucht. Als Hochwassertag wurden dabei Tage gezählt, an denen der mittlere Tagesabfluss den langjährigen mittleren Hochwasserabfluss (MHQ) überschreitet. Die mittlere Anzahl von Hochwassertagen über die acht betrachteten Pegel zeigt weder für das Sommer- noch das Winterhalbjahr einen signifikanten Trend.[65] Bezüglich der Auswirkungen auf Gebäude ist dieser Indikator insgesamt allerdings wenig aussagekräftig, da die im Indikator dargestellten Hochwassertage nur zu einem geringen Anteil um Tage handelt, an denen es zu größeren, auch Siedlungsgebiete betreffenden Ausuferungen kommt. Zudem geben sie keine Auskunft über den Umfang der von Ausuferungen betroffenen Fläche.

Die mit Blick auf Küstenhochwasser relevante Größe ist das **Sturmflutgeschehen** an Nord- und Ostsee, das eng mit der Höhenlage des Meeresspiegels verbunden ist. Häufigkeit und Schwere von Sturmfluten an den deutschen Küsten werden vor allem von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Winddauer und den Gezeiten beeinflusst. An der Nordsee entstehen Sturmfluten durch eine Überlagerung der aktuellen Tide mit gleichzeitigem Windstau durch einen starken auflandigen

[62] IPCC (Hrsg.) 2023: Klimawandel 2021: Eine Zusammenfassung für alle. www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_German.pdf

[63] IPCC 2023, s. Fußnote 62

[64] DIN 4049-3, Hydrologie Teil 3: Begriffe der quantitativen Hydrologie; zitiert nach: Indikator-Factsheet des DAS-Monitoringindikators WW-I-4 „Hochwasser“: S. 7. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/5612/dokumente/ww-i-4_indikator_hochwasser.pdf

[65] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-3: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/hochwasser.pdf

Wind. An der Ostsee beeinflussen zudem mögliche Eigenschwingungen des Wasserkörpers und der Füllstand des Meeres die Stärke und die Dauer der Sturmhochwasser. Den Füllstand bedingen zulaufendes Wasser aus der Nordsee bei Westwind und hohe Zuflüsse nach starken Niederschlägen in ihrem Einzugsgebiet, also den Einzugsgebieten der in die Ostsee mündenden Flüsse. Im Rahmen des Klimafolgen-Monitorings (Klimafolgenmonitoring, Indikator KUE-I-2[66]) wurden die Zeitreihen der jährlichen höchsten (Tide-)Hochwasserstände (im gleitenden 19-jährigen Mittel) von vier ausgewählten Pegeln auf lineare Trends getestet. Bei einer grundsätzlich hohen natürlichen Variabilität, die eine Bewertung auch langfristiger Entwicklungen erschwert, zeigen drei der vier analysierten Zeitreihen signifikant steigende Werte. Das bedeutet, dass an diesen Pegeln die Sturmfluten in der Tendenz dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Veränderungen der Windverhältnisse einschließlich des Windstaus und damit zusammenhängend von Stärke, Häufigkeit und Andauer von Sturmfluten sind bisher nicht erkennbar.[67]

Um das Klimasignal als Grundlage für die Klimarisikoanalyse adäquat abzubilden, wäre anstelle von Pegel-bezogenen Daten für Hochwasser und Sturmfluten grundsätzlich die Verfügbarkeit von Informationen zur flächenhaften Ausdehnung von Überschwemmungsereignissen notwendig. Hierzu liegt aber keine kontinuierliche Datenerhebung vor. Die vorliegenden Informationen zur Abgrenzung von Hochwasserrisikogebieten im Zuge der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) wird im folgenden Abschnitt „Exposition" dargestellt.

3.4.2.2 Exposition

Nach den frei verfügbaren Geodaten bestehen in Schleswig-Holstein insgesamt knapp 2,5 Millionen Gebäude[68]. Soweit diese Gebäude in Gebieten liegen, die von Überschwemmungen durch Fluss- oder Küstenhochwasser betroffen sein können, gelten sie gegenüber dieser Gefahr als grundsätzlich exponiert. Die Exposition gegenüber Fluss- und Küstenhochwasser wurde gemäß den Vorgaben der HWRM-RL beziehungsweise deren Umsetzung in Landes- und Bundesrecht untersucht. Der erste Berichtszyklus, in dem die verschiedenen notwendigen Arbeitsschritte bearbeitet wurden – erste Bewertung des Hochwasserrisikos, Bestimmung der Gebiete mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko, Erstellung der Hochwassergefahren- und -risikokarten, Erarbeitung der Hochwasserrisikomanagementpläne – wurde in den Jahren 2011 bis 2015 durchlaufen. Im zweiten Berichtszyklus wurden in den Jahren 2018 bis 2021 die Ergebnisse der vorläufigen Bewertung und Bestimmung der Gebiete mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko aus dem ersten Berichtszyklus überprüft und die darauf aufbauenden Dokumente aktualisiert und weiterentwickelt. In diesem Zusammenhang wird auch die potenzielle Betroffenheit der Bevölkerung sowie von wirtschaftlichen Tätigkeiten, dargestellt anhand verschiedenen Flächennutzungskategorien ermittelt. Die folgenden Tabelle 11 und Tabelle 12 stellen die diesbezüglichen Ergebnisse des zweiten Berichtszyklus dar. Für den aktuell laufenden dritten Berichtszyklus liegen diese Ergebnisse noch nicht vor.

Tabelle 11: Durch Fluss- und Küstenhochwasser potenziell betroffen Bevölkerung in Schleswig-Holstein für Fluss- und Küstenhochwasser unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: HWRM-RL-Pläne 2021 der Flussgebiete Elbe, Eider und Schlei-Trave[69]; Auswertung durch Bosch & Partner)

Eintrittswahrscheinlichkeit Hochwasser	**Betroffenheit durch Flusshochwasser**	**Betroffenheit durch Küstenhochwasser**	**Gesamte betroffene Bevölkerung**
Fluss / Küste	Anzahl Bevölkerung	Anzahl Bevölkerung	Anzahl Bevölkerung
Hoch: HQ10 / HW20	4.701	10.668	15.369
Mittel: HQ100 / HW100	12.363	20.689	33.052
Niedrig: HQ200 / HW200	17.878	682.077	699.955

[66] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[67] MELUND 2022, s. Fußnote 54: Seiten 86 f.

[68] Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein 2026: Hausumringe. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LVERMGEOSH/Service/serviceGeobasisdaten/geodatenService_Geobasisdaten_sonstigeDaten

[69] MELUND (Hrsg.) 2021: Überprüfung und Aktualisierung der Hochwasserrisikomanagementpläne (Art. 7 HWRL) – 2021. Anhänge. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/H/hochwasserschutz/hochwasserrisikomanagementplaene?nn=b4fd0e4e-995a-4b92-b441-818121e62dcc

Tabelle 12: Durch Fluss- und Küstenhochwasser potenziell betroffen Siedlungsflächen sowie Industrie- und Gewerbeflächen in Schleswig-Holstein für Fluss- und Küstenhochwasser unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit (Quelle: HWRM-RL-Pläne 2021 der Flussgebiete Elbe, Eider und Schlei-Trave[70]; Auswertung durch Bosch & Partner)

Eintrittswahrscheinlichkeit Hochwasser	**Betroffenheit durch Fluss-hochwasser**	**Betroffenheit durch Küstenhochwasser**	**Betroffenheit gesamt**
Fluss / Küste	km²	km²	km²
Hoch: HQ10 / HW20	1,8	5,9	7,7
Mittel: HQ100 / HW100	4,9	11,7	16,6
Niedrig: HQ200 / HW200	7,1	292,5	299,6

Aktuell werden im dritten Berichtszyklus auf Basis von einer nochmalig überprüften und angepassten Flächenkulisse der Hochwasserrisikogebiete die Hochwasserrisikokarten und die Hochwasserrisikomanagementpläne überarbeitet. Die zu berücksichtigenden Hochwasserrisikogebiete wurden dabei nach folgenden Kriterien abgegrenzt: Als extremes Szenario wurde der Fall eines Ereignisses mit einer 200-jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit für Flusshochwasser (HQ200) beziehungsweise Küstenhochwasser (HW200) untersucht. Bezogen auf die Küstenhochwasser wurde dabei als Pessimalfall für Bereiche, die durch Landesschutzdeiche und vergleichbare Schutzanlagen ausreichend geschützt sind, zusätzlich noch das Szenario eines Deichbruchs verwendet. Neben dem Extremszenario wurden auch die Auswirkungen von Hochwassern mit mittlerer Wahrscheinlichkeit (100-jährliche Wiederkehr HQ100 beziehungsweise HW100) sowie für Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit – 10-jährliche Wiederkehr für Flusshochwasser (HQ10) beziehungsweise 20-jährliche Wiederkehr für Küstenhochwasser (HW20) – analysiert. Insgesamt wurde für Küstenhochwasser – bei Außerachtlassung des Schutzes durch die vorhandene Hochwasserabwehrinfrastruktur – ein Küsten-Hochwasserrisikogebiet von 4.057 km² ermittelt, was etwa einem Viertel der Landesfläche entspricht.[71] Für Fließgewässer wurde im aktuellen Berichtszyklus bisher keine Änderung der Abgrenzung vorgenommen. Im zweiten Berichtszyklus war in den HWRM-RL-Plänen der Flussgebiete Elbe, Eider und Schlei-Trave eine potenziell von Überschwemmungen durch Hochwasser betroffene Fläche von insgesamt rund 267 km² ermittelt worden. Die erarbeiteten Gebietskulissen stehen für Flusshochwasser und Küstenhochwasser online zur Ansicht zur Verfügung.[72]

Die Länder in Deutschland müssen nach § 76 WHG innerhalb der Risikogebiete gemäß HWRM-RL mindestens die Gebiete als **Überschwemmungsgebiete** festsetzen, in denen ein Hochwasserereignis statistisch einmal in 100 Jahren (HQ100) zu erwarten ist. Überschwemmungsgebiete sind im Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG) definiert als Gebiete zwischen oberirdischen Gewässern und Deichen und sonstige Gebiete, die bei Hochwasser überschwemmt oder durchflossen werden. Darüber hinaus werden Gebiete für die Hochwasserentlastung oder Rückhaltung als Überschwemmungsgebiete bezeichnet. Festgesetzte Überschwemmungsgebiete können dazu dienen, die Flächennutzung in diesen Bereichen gezielt zu steuern und dort Vorhaben zu verhindern, die dem Hochwasserschutz entgegenstehen. In Schleswig-Holstein bestehen sechs Überschwemmungsgebiete an Pinnau, Krückau, Stör, Trave, Alster und Bille, die zusammen eine Fläche von 51,5 km² entsprechend 0,33 % der Landesfläche einnehmen. Nach einer Auswertung des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) in Dresden beträgt der Anteil der baulich geprägten Siedlungs- und Verkehrsfläche innerhalb dieser Überschwemmungsgebiete (sogenannte Siedlungslast) 2,3 %.[73] Dies entspricht einer Fläche von rund 1,18 km².

3.4.2.3 Sensitivität

Durch Fluss- und Küstenhochwasser können an Gebäuden im Siedlungsbereich von Städten und Gemeinden Schäden entstehen. Art und Umfang der möglichen Betroffenheit hängen dabei nicht nur vom Ausmaß des jeweiligen Hochwasserereignis ab. Auch die **Eigenschaften einzelner Gebäude** können wichtige Faktoren sein, die ihre Sensitivität gegenüber Hochwasserereignissen beeinflussen. Hierzu gehören vor allem das Alter beziehungsweise genauer der Zustand der

[70] MELUND 2021, s. Fußnote 69

[71] MEKUN (Hrsg.) 2025: Überprüfung und Aktualisierung der Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten (Art. 6) in Schleswig-Holstein 2025. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/H/hochwasserschutz/ueberpruefungHWGK_HWRK

[72] MEKUN (Hrsg.) 2026: Hochwasserkarten 3. Berichtszyklus 2025 – Einstieg. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/cadenza/repositories/HWRM,er5QdCmyhabtP1nQMWXM/workbooks/Einstieg,vuz6beZJUZO6Xkp1zzkz/worksheets/Einstieg,JBF8GN2xrb11BVk5ezmJ?workbookHash=q3K8cqZN3DcLOhBYTOysDthpfv3l21ssi_cfldRqNM11xOvc

[73] IÖR – Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (Hrsg.) 2026: Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor) – Siedlungslast im Überschwemmungsgebiet (2024). https://monitor.ioer.de/?rid=5192

Gebäude, der Bestand an Wassereintrittsmöglichkeiten wie Kellerfenster, Tiefgaragen, Lichtschächte, die Nutzung von Räumen in Erdgeschoss und Keller sowie das Maß der Vorkehrungen, die zur Sicherung des Gebäudes vor Wassereintritt und Beschädigungen getroffen wurden. Ein diesbezüglicher Überblick besteht für Gebäude in Schleswig-Holstein allerdings nicht. Als weitere Parameter für die Sensitivität von Gebäuden kann deren besondere **Bedeutung oder Funktion** herangezogen werden. Dies kann eine besondere soziale Funktion, zum Beispiel Krankenhäuser, Alten- und Pflegeheime, Schulen, Kindergärten. Ebenso können Gebäude mit einer besonderen kulturellen Funktion, zum Beispiel Baudenkmale oder Museen, die für Schleswig-Holstein in der Denkmalliste[74] dokumentiert sind, eine besondere Sensitivität begründen. Allerdings waren hierfür keine flächendeckenden Daten zugänglich, sodass die Sensitivität für diese Klimawirkung nicht berücksichtigt werden konnte.

3.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

3.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Bislang lassen sich Schäden an Gebäuden aufgrund von Fluss- und Küstenhochwasser nur teilweise beobachten. Das liegt zum einen daran, dass die hierfür bislang genutzte Datenquelle nur die Teilmenge der versicherten Schäden umfasst, für die eine erweiterte Naturgefahrenversicherung besteht. Zu nicht-versicherten Schäden an Gebäuden liegen bislang keine verlässlichen Daten vor. Des Weiteren ist zu beachten, dass sich Auswirkungen von Sturmfluten auf Gebäude ebenfalls nicht in den Daten zu versicherten Schäden der erweiterten Naturgefahrenversicherung widerspiegeln. Grund ist, dass Sturmflutrisiken nicht durch diese Versicherung abgedeckt sind. Die Zeitreihen zu Häufigkeit und Höhe der Elementarschäden an Gebäuden in Schleswig-Holstein und Hamburg (siehe Abbildung 3) sind stark von den Auswirkungen einzelner Extremereignisse geprägt. Besonders viele und hohe Schäden entstanden durch das Elbehochwasser im Jahr 2002. Für den hohen Schadensatz in den Jahren 2021 und 2018 waren vor allem Starkregenfälle verantwortlich. Besonders viele Versicherungsfälle, also eine hohe Schadenhäufigkeit, wurden neben dem Jahr 2002 auch 2011, 2007 und 2021 registriert. Grund waren vor allem Stark- und Dauerregen beziehungsweise die ihnen folgenden Überschwemmungen. Ein statistisch signifikanter Trend zeigt sich in beiden Zeitreihen bislang zunächst nicht; beim Schadensatz allerdings beeinflusst das Jahr 2002 die Trendschätzung sehr stark. Berücksichtigt man dieses Jahr bei einem zweiten Blick auf die Zeitreihe nicht, so ist seit 2003 signifikanter Anstieg erkennbar (siehe Monitoring-Indikator GB-I-1).

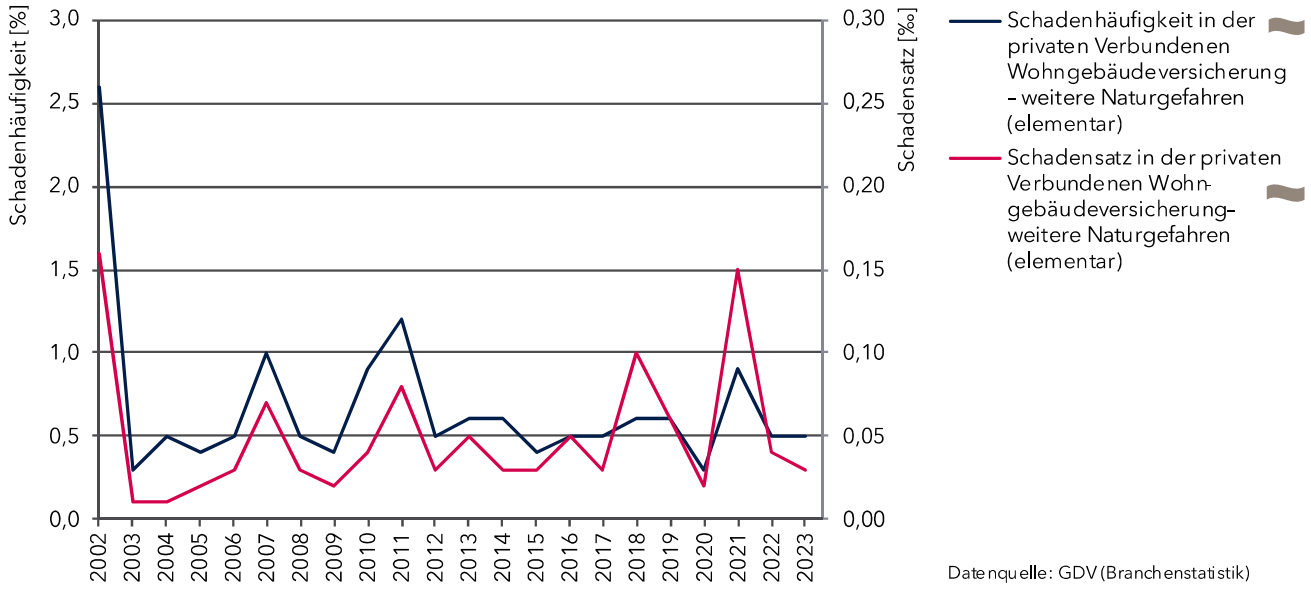


Abbildung 3: Schadenhäufigkeit und Schadensatz durch Elementargefahren in der Wohngebäudeversicherung (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator GB-I-1[75])

[74] Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein 2025: Karte Kulturdenkmale (Denkmalliste) https://efi2.schleswig-holstein.de/denkmalkarte/

[75] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/elementarschaeden.pdf

3.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Projektionen zu Gebäudeschäden durch Fluss- und Küstenhochwasser, die direkt den Untersuchungsgegenstand der Klimawirkung zum Inhalt haben, sind nicht bekannt. Mit Blick auf die oben genannten Klimasignale sind für Hochwasserabflüsse in Fließgewässern ebenfalls keine Projektionen bekannt. Bezüglich Sturmfluten wird erwartet, dass die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[76], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend zukünftig höher auflaufen werden. Im 6. Sachstandsbericht (Assessment Report – AR) des Weltklimarats IPCC wurde für das Worst-Case-Szenario SSP5-8.5 ein Anstieg des globalen Meeresspiegels bis Mitte des Jahrhunderts um 0,20 bis 0,30 m, bis Ende des 21. Jahrhundert im Mittel um 0,77 m projiziert. Die wahrscheinliche Bandbreite dieser Projektion beträgt zwischen 0,61 und 1,02 m.[77] (Weitere Informationen zu den Herausforderungen für den Küstenschutz durch den Meeresspiegelanstieg siehe Handlungsfeld Küstenschutz, Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen".) Grundsätzlich wird demnach die potenziell von Überschwemmungen durch Küstenhochwasser betroffene Fläche weiter zunehmen. Es ist zu erwarten, dass sich diese Zunahme auch im Zuge der 6-jährlichen Überprüfung und Aktualisierung der HWRM-RL-Pläne niederschlagen wird, in denen auch die Abgrenzung der Hochwasserrisikogebiete für die in unterschiedlichen Szenarien gefährdeten Bereiche jeweils geprüft und bei Bedarf angepasst wird. Das bedeutet, dass zukünftig zusätzliche Siedlungsflächen und Industrie- und Gewerbeflächen einem Hochwasserrisiko unterliegen können und die potenzielle Betroffenheit von Gebäuden weiter ansteigen wird.

Mit Blick auf die zukünftige Siedlungsentwicklung ist ebenfalls von einer Zunahme auszugehen. Im Zusammenhang mit der KWRA 2021 wurde durch das BBSR im Auftrag des UBA als Grundlage für die KWRA 2021 die Siedlungsflächenprojektion 2045 erarbeitet, die auf Basis dreier Szenarien für den Zeitraum bis 2045 verschiedene Pfade der zukünftigen Siedlungsflächenentwicklung darstellt. Im Ergebnis zeigt die Projektion für die Landnutzung bis zum Jahr 2045 deutschlandweit je nach Szenario eine moderate bis starke Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen, eine leichte Zunahme der Wald- und naturnahen Flächen und eine leichte Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen (zur Siedlungsflächenprojektion siehe auch Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen").[78] Hinsichtlich dieser absehbaren Zunahme des Siedlungsflächenwachstums kann trotz des grundsätzlichen Verbots der Ausweisung neuer Baugebiete im Außenbereich in Bauleitplänen oder in sonstigen Satzungen nach dem Baugesetzbuch in § 78 WHG aufgrund der dort vorgesehenen möglichen Ausnahmen nicht davon ausgegangen werden, dass in Überschwemmungsgebieten im Speziellen oder insgesamt in den Hochwasserrisikogebieten kein Siedlungsflächenwachstum stattfindet. Dies gilt insbesondere auch mit Blick auf die für das HW200 ermittelte Größe des Hochwasserrisikogebiets Küste, die etwa eine Viertel der Landesfläche umfasst.

Bezogen auf die Klimawirkung ist davon auszugehen, dass zukünftig weiterhin Schäden an Gebäuden durch Fluss- und Küstenhochwasser entstehen werden. Mit Blick auf die zu erwartende Zunahme der Fläche von Risikogebieten sowie des möglichen weiteren Wachstums der Siedlungsfläche in diesen Gebieten besteht das Risiko, dass diese Schäden künftig ebenfalls zunehmen können.

[76] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022: Seite 21. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

[77] IPCC (Hrsg.) 2021, zitiert nach MELUND 2022 (s. Fußnote 76): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

[78] Behmer J. 2019: Siedlungsflächenprojektion 2045. Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Band 08/2020: Seite 5. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-01-27_climate-change_08-2020_siedlungsflaechenprojektion-2045_0.pdf

4 Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung

4.1 Relevanz des Handlungsfelds

Stadtentwicklung und Städtebau in Schleswig-Holstein stehen unter der Leitlinie, die Lebensqualität in den Städten und in ihrem Umland in den von vielfältigen Veränderungen geprägten Gegenwart zu erhalten und weiterzuentwickeln.[79] Neben den demografischen, gesellschaftlichen und wirtschaftsstrukturellen Veränderungen zählt auch der sich immer deutlicher manifestierende Klimawandel zu diesen Prozessen. Wesentliche Folgen der fortschreitenden Klimaerwärmung für Städte und Siedlungen sind zum einen die zunehmende Hitze: Die höchsten Temperaturen steigen an, die Zahl Heißer Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 30 °C nehmen zu, ebenso kommt es immer häufiger zu sogenannten Tropennächten, in den die Lufttemperatur nicht unter 20 °C abkühlt, sommerliche Hitzeperioden dauern länger an und treten häufiger auf. Für die Bevölkerung in den Städten bedeuten diese Änderungen zusätzliche gesundheitliche Belastungen, eine eingeschränkte Regeneration in Ruhephasen oder auch eine geringere Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz. Zum anderen haben Städte und auch kleinere Orte vermehrt mit Starkregenereignissen zu tun, die die Kanalisation überfordern und zu Überflutungen von Gebäuden, Straßen und anderen Infrastrukturen führen. Ebenso können aber auch Trockenperioden und Wassermangel für Städte und Siedlungen zu einer Herausforderung werden, die den Zustand der Vegetation in Städten stark negativ beeinflusst. Außerdem ist das Vorhandensein von Wasser Voraussetzung für eine nennenswerte Verdunstung, die das Stadtklima kühlen kann.[80]

Vor diesem Hintergrund setzt die deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel zwei wesentliche Schwerpunkte für den Umgang mit den Folgen der Klimaerwärmung in der Stadt- und Siedlungsentwicklung mit dem Ziel, Schäden durch Klimafolgen für Mensch und Umwelt zu vermeiden oder zu verringern: die Aktivierung von Stadtgrün und die wassersensible Stadtentwicklung. Unter Aktivierung des Stadtgrüns werden dabei Maßnahmen der Erhaltung, Weiterentwicklung und Qualifizierung grüner Infrastruktur wie Parkanlagen, Straßenbäumen und Gebäudegrün zusammengefasst. Wichtig ist dabei eine sowohl hinsichtlich der Quantität als auch der Qualität adäquate Ausstattung der Städte und Siedlungen mit grünen und auch blauen Infrastrukturen, um einerseits thermische Belastungen zu reduzieren und andererseits lebenswerte Quartiere zu entwickeln, die auch im Nahbereich Möglichkeiten für Erholung und Regeneration bieten. Die wassersensible Stadt- und Siedlungsentwicklung als zweiter Schwerpunkt zielt darauf, den Wasserhaushalt und die Funktionsfähigkeit von Böden vor allem in städtischen Gebiete zu reaktivieren und bestehende Störungen vor allem durch Versiegelung, Verdichtung und Unterbauung zurückzubauen und bei neuen Entwicklung zu minimieren. Dadurch soll mehr Fläche für Versickerung und für Wasserrückhalt bereitstehen, um die für das Stadtklima günstige kühlende Verdunstung zu erhöhen, um die Verfügbarkeit von Wasser für das Stadtgrün zu verbessern und um gegen Starkregenrisiken vorzusorgen.[81]

Das Land Schleswig-Holstein unterstützt Städte und Gemeinden bei der Stadt- und Siedlungsentwicklung. Ein wesentliches Instrument hierfür ist die Städtebauförderung, deren Fördermittel auch für eine klimaangepasste Stadtentwicklung eingesetzt werden können und müssen. Maßnahmen für Klimaschutz und Klimaanpassung, insbesondere durch Verbesserung der grünen und blauen Infrastruktur, sind seit mehreren Jahren Fördervoraussetzung und als Maßnahmen durch Finanzhilfen des Bundes förderfähig.[82] Diese Maßnahmen sind mit Blick auf die projizierte Klimaerwärmung wesentlich für eine nachhaltige integrierte Stadtentwicklung und können in hohem Maße zur Entwicklung von attraktiven Städten mit einer hohen Aufenthaltsqualität beitragen.

---

[79] MIKWS – Ministerium für Inneres, Kommunales, Wohnen und Sport (Hrsg.) 2022: Stadtentwicklung und Städtebau. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/planen-bauen-wohnen/stadtentwicklung-staedtebau

[80] BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (Hrsg.) 2024: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel 2024. Vorsorge gemeinsam gestalten. S. 69

www.bmuv.de/download/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel-2024.

[81] BMUV 2024, s. Fußnote 80, S. 70 ff.

[82] Verwaltungsvereinbarung (VV) Städtebauförderung 2025 über die Gewährung von Finanzhilfen des Bundes an die Länder nach Artikel 104 b des Grundgesetzes zur Förderung städtebaulicher Maßnahmen vom 30.01.2025 / 16.05.2025: Artikel 3 und 4 https://www.staedtebaufoerderung.info/SharedDocs/downloads/DE/Grundlagen/VV2025.pdf

4.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

4.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Schäden in Siedlungen durch Starkregen

In den vergangenen Jahren sind in Schleswig-Holstein infolge verschiedener Starkregenereignissen Sachschäden sowohl an kommunaler Infrastruktur als auch an Privateigentum entstanden, etwa an Verkehrswegen, Gebäuden oder Fahrzeugen. Auch Umweltschäden durch Bodenerosion, die Freisetzung von Schadstoffen oder entwurzelte Bäume können Folge solcher Ereignisse sein.[83] Starkregen sind Niederschlagsereignisse, bei denen außergewöhnlich viel Regen bezogen auf eine Zeiteinheit fällt.[84] Sie bringen mehr Niederschlag, als kurzfristig in den Boden versickern oder von der Kanalisation bewältigt werden kann. Überflutungen infolge von Starkregen können, je nach den örtlichen topografischen Gegebenheiten, ein mitunter beträchtliches Schadenspotenzial für Siedlungen und die dort lebenden Menschen entwickeln. Die Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" bezieht sich auf kurz andauernde konvektive Starkregen von 1 Stunde bis 6 Stunden Dauer und die Folgen der daraus gegebenenfalls resultierenden Überflutungen.

Der DWD hat in den vergangenen Jahren die Kataloge radar-basierter starker Niederschlagsereignisse (CatRaRE) als Grundlage für eine Analyse des Starkregengeschehens in Deutschland und dessen Schadenspotenzial aufgebaut. Für Schleswig-Holstein sind darin im Zeitraum 2001–2024 insgesamt rund 540 Starkregenereignisse bis 6 Stunden erfasst. Zum größten Teil handelt es sich dabei um „normale" oder intensive Starkregen nach der Einstufung gemäß Starkregen-Index (SRI). 25 der erfassten Ereignisse, knapp 5 %, wurden als außergewöhnliche oder extreme Starkregen kategorisiert. Eine statistisch signifikante Entwicklung zeigen die in den CatRaRE für Schleswig-Holstein erfassten Starkregen nicht. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung der CatRaRE-Ereignisse wird deutlich, dass Starkregen von 1 bis 6 Stunden in allen Landesteilen in Schleswig-Holstein auftreten. Die Schwerpunkte des Starkregengeschehens für unwetterartige Starkregen[85] im Zeitraum 2001–2024 lagen entlang der Westküste, im Nordosten sowie im Südosten des Landes. Eine räumlich differenzierte statistische Auswertung des DWD zu den CatRaRE-Ereignissen konnte überwiegend keine eindeutig interpretierbaren Trends ermitteln.

Neben der Auswertung der CatRaRE wurde für die Klimawirkung auch die ausgehend von Niederschlagsmessungen an DWD-Stationen berechnete Anzahl von Tagen mit einem Niederschlag von mindestens 20 mm berücksichtigt. Die Anzahl solcher Tage ist in Schleswig-Holstein von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich, insgesamt aber eher gering. In einzelnen Jahren wurde im Gebietsmittel das Maximum von rund sieben solcher ermittelt. Einen signifikanten Trend zeigt die Zeitreihe nicht. Dies gilt auch für die Analyse der in Schleswig-Holstein registrierten versicherten Schäden infolge von Starkregen, konkret für die Schadenhäufigkeit und den Schadensatz in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung. Besonders hohe versicherte Schäden entstanden durch Starkregen im Jahr 2011 durch Starkregen im Großraum Lübeck[86] sowie im Jahr 2021 durch Starkregenereignisse im Juli und Oktober in der Landeshauptstadt Kiel[87].

Für die Zukunft ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich mit dem fortschreitenden Klimawandel häufiger Bedingungen bilden können, die die Entstehung und die Intensität von Starkregenereignissen fördern. In seinem letzten Sachstandsbericht bezeichnet der Weltklimarat IPCC es für Europa als wahrscheinlich, dass die Häufigkeit und Intensität von Starkregen schon zugenommen haben.[88] In der Klimarisikoanalyse wurde für Schleswig-Holstein das zukünftig erwartete Auftreten

[83] MEKUN 2024a: Starkregen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/H/hydrologie_und_niederschlag/starkregen

[84] DWD 2026: Wetterlexikon – Starkregen. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html

[85] DWD 2025, s. Fußnote 98: Ereignisse mit einer Niederschlagsmenge zwischen 25 und 40 l/m² in 1 Stunde oder zwischen 35 und 60 l/m² in 6 Stunden

[86] LAWA-Starkregenportal: https://lawa-starkregenportal.okeanos.ai/ereignis-katalog-tabelle/

[87] Landeshauptstadt Kiel 2026: Gefahren durch Starkregen. https://www.kiel.de/de/gesundheit_soziales/ordnung_sicherheit/starkregen.php

[88] Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, B. Zhou 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, S. 1513–1766. https://doi.org/10.1017/9781009157896.013. Zitiert in: Kaspar F., Deutschländer T., Junghänel T., Lengfeld K., Ostermöller J., Palarz A., Rauthe M., Rustemeier E., Walawender E., Winterrath T., Ziese M. 2025: Niederschlagstrends und Entwicklung der Starkniederschläge in Deutschland (Stand 2025). Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.). www.dwd.de/DE/leistungen/faktenpapier_extremwetter/niederschlagstrend-entwicklung_2025.html

von Tagen mit einem Niederschlag von mindestens 20 mm[89] mit der zukünftig erwarteten Siedlungsfläche in den Gemeinden Schleswig-Holsteins überlagert und Räume ermittelt, in denen eine höhere Anzahl an Tagen mit Niederschlag ≥ 20 mm und Siedlungsstrukturen mit relativ großer Fläche zusammentreffen. Diese Analyse ist lediglich eine Annäherung, zukünftig ist die Klimarisikoanalyse mit Projektionen zu tatsächlichen Starkregenereignissen weiterzuentwickeln.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 4.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator GB-I-1: Elementarschäden an Gebäuden[90]

4.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Wärmebelastungen in Städten durch den Wärmeinseleffekt

Der städtische Wärmeinseleffekt entsteht durch das Zusammenwirken der klimatischen und topografischen Rahmenbedingungen einer Stadt mit verschiedenen städtebaulichen Faktoren. Die Ausprägung der Wärmeinsel wird dabei insbesondere durch die Größe und Dichte der Siedlungsstruktur, die Höhe der Bebauung, den Bestand an Siedlungsgrün und den Grad der Bodenversiegelung sowie die vorherrschenden Materialien und Farben bestimmt. Im Ergebnis ist das Temperaturniveau in – auch kleineren – Städten und urban geprägten Räumen im Vergleich zum Umland erhöht. Im Fall von Großstädten kann die Differenz zwischen Stadt und Umland 10 °C und mehr betragen. Dadurch können in den betroffenen Orten zusätzliche Wärmebelastungen durch stärker ansteigende Temperaturen an warmen Tagen und die geringere nächtliche Abkühlung entstehen. Neben möglichen gesundheitlichen Auswirkungen für die Bevölkerung kann es auch zu Leistungseinbußen von Arbeitskräften und, in Verbindung mit Wassermangel, zu Beeinträchtigungen das Stadtgrüns kommen.

In der Klimarisikoanalyse wurden die zusätzlichen Wärmebelastungen durch den Wärmeinseleffekt anhand zusätzlich auftretender Tropennächte beschrieben, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt. In Schleswig-Holstein sind davon die Großstädte Kiel und Lübeck am stärksten betroffen. In Innenstadtbereichen traten dort im Durchschnitt der letzten 30 Jahre zu 9 bis 10 zusätzliche Tropennächte je Jahr auf. In den weiteren vom Wärmeinseleffekt betroffenen Städten kam es zu 1 bis 3 zusätzlichen Tropennächten. Für die Zukunft wird auf der einen Seite erwartet, dass Städte und urbane Räume weiter wachsen werden und die Verstädterung sowohl im Umfeld der Städte als auch in bislang eher ländlich geprägten Gebieten weiter voranschreitet. Dies wird zu einer weiteren flächenmäßigen Ausdehnung städtischer Wärmeinseln führen. Für die zukünftige Klimaentwicklung in Schleswig-Holstein auf der anderen Seite zeigen Klimaprojektionen, dass mit der allgemeinen Temperaturerhöhung auch Temperaturextreme wie Heiße Tage zunehmen werden, insbesondere im Süden Schleswig-Holsteins. Ebenso wird für das Auftreten von Tropennächten von einer Zunahme ausgegangen. Infolge der beiden Entwicklungen ist damit zu rechnen, dass generell eine größere Fläche von zusätzlichen Wärmebelastungen betroffen sein kann. Vor allem in den wachsenden städtischen Verdichtungsräumen können sich bestehende Wärmebelastungen für Menschen weiter verstärken. Diese Entwicklung kann sich insbesondere in den großen Städten Kiel, Lübeck, Flensburg oder Neumünster sowie der Verstädterungsbereich im Umland von Hamburg vollziehen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 4.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator SE-I-1: Zusätzliche Tropennächte infolge des städtischen Wärmeinseleffekts[91]

[89] Konvektionserlaubende Projektionen bestehen noch nicht in ausreichendem Maß, sodass bislang keine Projektionen von Starkregenereignissen verfügbar sind.

[90] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/elementarschaeden.pdf

[91] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt SE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/tropennaechte.pdf

4.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA 2021[92] für das Handlungsfeld Bauwesen beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen eines gemeinsamen Fachworkshops für die Handlungsfelder Gebäude sowie Stadt- und Siedlungsentwicklung der schleswig-holsteinischen Klimaanpassungsstrategie mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 13 aufgeführten weiteren Klimawirkungen für das Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt. Die diskutierten Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung des Handlungsfelds Gebäude sind in der entsprechenden Klimarisikoanalyse aufgeführt und hier nicht dargestellt.

Tabelle 13: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Beeinträchtigung der Vegetation in Siedlungen	Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung kann es den Ergebnissen der KWRA 2021 zufolge auch in Schleswig-Holstein zu zunehmenden Belastungen für das städtische Grün durch Hitze kommen. Hinsichtlich der zukünftigen Trockenheit und Wasserverfügbarkeit zeigen die Ergebnisse der Projektionen kein einheitliches Bild, es sind sowohl Zu- als auch Abnahmen möglich. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass die Vegetation in Siedlungen als Folge des Klimawandels voraussichtlich zusätzlichen Belastungen ausgesetzt sein wird. In Schleswig-Holstein wurden solche zusätzlichen Belastungen beispielsweise im Nachgang des trocken-heißen Sommers 2018 untersucht. Im EIP-Projekt „Klimawandel und Baumsortimente der Zukunft – Stadtgrün 2025", an dem die Städte Kiel, Lübeck, Heide und Husum beteiligt waren, wurde dabei festgestellt, dass Hitze und Trockenheit zwar bis zum Ende des auf den trockenen Sommer folgenden Jahres 2019 zu keinen Ausfällen geführt hatten, in allen teilnehmenden Städten aber Trockenstresssymptome an vielen Bäumen zu beobachten waren. Diese äußerten sich etwa in kleinerem Laub, Blattnekrosen, lichten Kronen oder einer vorzeitigen Laubfärbung und / oder einem vorzeitigen Laubfall.[93] Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung als relevant eingestuft. Sie ist für die Fortschreibung der Klimarisikoanalyse zur Bearbeitung ins Auge gefasst. Nähere Informationen zu Wärmebelastungen in Städten finden sich in der Ausarbeitung zur Klimawirkung „Zusätzliche Wärmbelastungen in Städten durch den Wärmeinseleffekt" in Kap. 4.5.

4.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die im Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung bewerteten Klimawirkungen haben eine hohe bis sehr hohe soziale Bedeutung. Als sehr hoch wurde die soziale Bedeutung der Klimawirkung „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt" bewertet (siehe Tabelle 14). Den Klimawirkungen „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" und „Beeinträchtigung der Vegetation in Siedlungen" wurde von den Fachleuten eine hohe soziale Bedeutung zugeschrieben. Dabei wurde die Bedeutung von Bäumen in Siedlungen als Schattenspender hervorgehoben. Die Klimawirkungen „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" und „Beeinträchtigung der Vegetation in Siedlungen" wurden auch ökologisch als hochbedeutend bewertet. Hingewiesen wurde allerdings auf die hohe anthropogene Überprägung der Vegetation in Siedlungen. Hier wachsen viele nichtheimische Pflanzenarten, deren Verteilung und Wuchs vom Menschen stark beeinflusst wird und die im ökosystemaren Gefüge im Gegensatz zur naturnahen Vegetation nur in eingeschränktem Umfang Ökosystemleistungen übernehmen können. Von hoher wirtschaftlicher Bedeutung sind aus Sicht der Fachleute die Klimawirkungen „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" und „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt". Handlungsbedarf seitens der Landesregierung ist für jede der betrachteten Klimawirkungen des Handlungsfelds Stadt- und Siedlungsentwicklung gegeben (siehe Tabelle 15).

[92] Voß M., Kahlenborn W., Porst L., Dorsch L., Nilson E., Rudolph E., Lohrengel A.-F. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 4: Risiken und Anpassung im Cluster Infrastruktur. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change 23/2021: S. 34 ff. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_23-2021_kwra2021_infrastruktur.pdf

[93] Wrede A., Ufer T., Averdieck H. 2020: EIP-Projekt "Klimawandel und Baumsortimente der Zukunft – Stadtgrün 2025" – Abschlussbericht. https://www.eip-agrar-sh.de/fileadmin/download/1._Call/Klimawandelbaeume/Abschlussbericht_EIP_Klimawandelbaeume.pdf

Tabelle 14: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Schäden in Siedlungen durch Starkregen	hoch	gering	hoch	-*	-**
Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt	sehr hoch	hoch	hoch	-	-
Beeinträchtigung der Vegetation in Siedlungen	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	-	hohe soziale Bedeutung (Funktion der Bäume als Schattenspender, Bedeutung der Vegetation als Teil der blau-grünen Infrastruktur) hohe ökologische Bedeutung, allerdings anthropogene Überprägung im städtischen Bereich der sehr hoch geringe wirtschaftliche Bedeutung

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 15: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Schäden in Siedlungen durch Starkregen	ja	-*	-**
Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt	ja	-	-
Beeinträchtigung der Vegetation in Siedlungen	keine Bewertung vorgenommen	-	Handlungsbedarf gegeben

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

4.4 Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen"

4.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

In Schleswig-Holstein wurden ebenso wie in anderen Teilen Deutschlands in den vergangenen Jahren immer häufiger Starkregen registriert. Als Folge dieser Ereignisse sind mitunter Sachschäden sowohl an kommunaler Infrastruktur als auch an Privateigentum entstanden, etwa an Verkehrswegen, Gebäuden oder Fahrzeugen. Daneben ist es durch Bodenerosion, die Freisetzung von Schadstoffen oder entwurzelte Bäume auch zu Umweltschäden gekommen.[94] Starkregen sind Niederschlagsereignisse, bei denen außergewöhnlich viel Regen bezogen auf eine Zeiteinheit fällt.[95] Sie können grundsätzlich überall auftreten und bringen mehr Niederschlag, als kurzfristig in den Boden versickern oder von der Kanalisation bewältigt werden kann. Im Zusammenspiel mit den topographischen Gegebenheiten können Starkregen ein Schadenspotenzial für Siedlungen und die dort lebenden Menschen entwickeln: In Hanglagen können Sturzfluten entstehen, die in schmalen Abflussrinnen mit hoher Geschwindigkeit abwärts fließen, Gebäude und Infrastrukturen unterspülen oder durch mitgeführtes Material schädigen können. In flachem Gelände sammeln sich die niedergehenden Regenmengen in abflusslosen Geländebereichen, zum Beispiel in Mulden und Senken oder in Unterführungen von Straßen und Bahnstrecken, und können von dort zu Überflutungen von größeren Ausmaßen führen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich mit dem fortschreitenden Klimawandel häufiger Bedingungen bilden können, die die Entstehung und die Intensität von Starkregenereignissen fördern. In seinem letzten Sachstandsbericht bezeichnet der Weltklimarat IPCC es für Europa als wahrscheinlich, dass die Häufigkeit und Intensität von Starkregen zugenommen haben.[96]

4.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Der DWD definiert **Starkregen** als Ereignisse, bei denen je Zeiteinheit große Mengen an Niederschlag fallen.[97] Bei seinen Wetterwarnungen unterscheidet der DWD daher Starkregenereignisse nach ihrer jeweiligen Dauer in zwei Kategorien: (1) Dauerregen und (2) konvektiver Starkregen. Für Dauerregen sind die Warnkriterien für die erwarteten Niederschlagsmengen in 12, 24, 48 und 72 Stunden definiert. Die Warnkriterien für (konvektiven) Starkregen beziehen sich auf die erwarteten Regenmengen in 1 beziehungsweise 6 Stunden.[98] Die hier beschriebene Klimawirkung bezieht sich auf diese kurz andauernden Starkregen gemäß den Warnkriterien des DWD, das heißt auf konvektive Starkregen von 1 Stunde bis 6 Stunden, und die Folgen der daraus gegebenenfalls resultierenden Überflutungen. Diese Starkregen sind in ihrer räumlichen Ausdehnung in der Regel stark begrenzt, können aber grundsätzlich überall auftreten.[99] Sie treten häufig vor allem im Sommer auf, wenn sich aus konvektiven Zellen in kurzer Zeit heftige Schauer oder Gewitter entwickeln.

Starkregenereignisse und Niederschläge mit hohen Regenmengen werden in Deutschland von Seiten des DWD mithilfe von zwei verschiedenen Ansätzen erfasst und dokumentiert. Der im Folgenden zunächst beschriebene Ansatz, die Kataloge der Starkregenereignisse, basiert auf der radar-gestützten Erfassung von Starkregenereignissen im DWD-Radarverbund (RADKLIM-RW). Der zweite, ältere Ansatz gründet auf der Niederschlagsmessung an den DWD-Wetterstationen und deren räumlicher Interpolation. In diesem Ansatz werden nicht einzelne Ereignisse, sondern Tage mit einer

[94] MEKUN 2024a: Starkregen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/H/hydrologie_und_niederschlag/starkregen

[95] DWD 2026: Wetterlexikon – Starkregen. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html

[96] Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, B. Zhou 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien, und New York, NY, USA, S. 1513–1766. https://doi.org/10.1017/9781009157896.013. Zitiert in: Kaspar F., Deutschländer T., Junghänel T., Lengfeld K., Ostermöller J., Palarz A., Rauthe M., Rustemeier E., Walawender E., Winterrath T., Ziese M. 2025: Niederschlagstrends und Entwicklung der Starkniederschläge in Deutschland (Stand 2025). Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.). www.dwd.de/DE/leistungen/faktenpapier_extremwetter/niederschlagstrend-entwicklung_2025.html

[97] DWD 2026, s. Fußnote 95

[98] DWD 2025: Warnkriterien. https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html

[99] DWD 2025: Wetterlexikon – Starkregen. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Starkregen.html

außergewöhnlich hohen Niederschlagsumme erfasst und dokumentiert. Beide Datenquellen stehen zur Beobachtung und Bewertung von Veränderungen des Starkregengeschehens durch den Klimawandel zur Verfügung. Grundsätzlich lassen Auswertungen beider Quellen für viele Orte in Deutschland eine Tendenz zu einer Zunahme von Starkregen erkennen. Eine eindeutige Einschätzung ist bislang allerdings nicht möglich. Hinsichtlich der Stationsdaten sind die festgestellten Zunahmen für viele Stationen nicht statistisch signifikant. Die seit 2001 vorliegenden Radardaten erlauben Auswertungen bislang nur für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum, der für eine eindeutige Zuordnung von Veränderungen zum Klimawandel noch nicht ausreicht.[100]

Als weitere Datenquelle zeigen die Hinweiskarten Starkregengefahren des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) die möglichen Gefahren durch Überflutungen auf. In den Hinweiskarten werden für hinsichtlich Niederschlagsmenge und -dauer definierte Starkregenereignisse in Verbindung mit Topografie und Landnutzung potenzielle Überflutungsbereiche ermittelt, in denen Risiken für Leib und Leben sowie Gebäude und sonstige bauliche Infrastrukturen bestehen können.

Kataloge der Starkregenereignisse – CatRaRE

Als Grundlage für eine Analyse des Starkregengeschehens in Deutschland und dessen Schadenspotenzial hat der DWD die Kataloge radar-basierter starker Niederschlagsereignisse (CatRaRE) aufgebaut. In den Katalogen werden räumlich und zeitlich unabhängige Starkregenereignisse dokumentiert, deren Erfassung auf den klimatologisch aufbereiteten Daten des DWD-Radarverbunds (RADKLIM-RW) basiert. Die in den Katalogen verwendeten stündlichen Niederschlagsstundensummen resultieren aus radarbasierten Niederschlagsabschätzungen, die mit den Ergebnissen der Niederschlagsmessungen an den DWD-Bodenstationen angeeicht sind. Die stündlichen Niederschlagssummen werden in insgesamt elf Dauerstufen (1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 18, 24, 48 und 72 Stunden) summiert verarbeitet. In weiteren Schritten erfolgt eine räumliche Zusammenfassung zu Niederschlagsobjekten mit definierten Schwellwerten und anhand der unterschiedlichen Dauerstufen, wobei mehrere Objekte zu einem Niederschlagsereignis gehören können. In den Katalog wird letztlich das Niederschlagsobjekt mit der größten Extremität aufgenommen. Die Kataloge enthalten alle in Deutschland seit 2001 aufgetretenen Stark- und Dauerregenereignisse, die dort über den Ort des maximalen Niederschlags und die betroffene räumliche Ausdehnung beschrieben sind. Darüber hinaus enthalten die Kataloge zu den Ereignissen unter anderem Daten zu den meteorologischen Rahmenbedingungen sowie geografische und demografische Daten des betroffenen Ereignisortes. CatRaRE wird jährlich im Frühjahr mit den Daten des zurückliegenden Jahres aktualisiert. CatRaRE ist eine wichtige Basis für das LAWA-Starkregenportal[101], das die Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) mit Unterstützung des DWD zur deutschlandweit einheitlichen Erfassung und Dokumentation von Starkregenereignissen eingerichtet hat und betreibt. Die im CatRaRE seit 2001 beobachteten Ereignisse sind vollständig im Starkregenportal erfasst und können dort mit den zugehörigen Informationen kartographisch und tabellarisch abgerufen werden. Im Portal können zu den erfassten individuellen Starkregenereignissen Schadensdaten ergänzt werden.

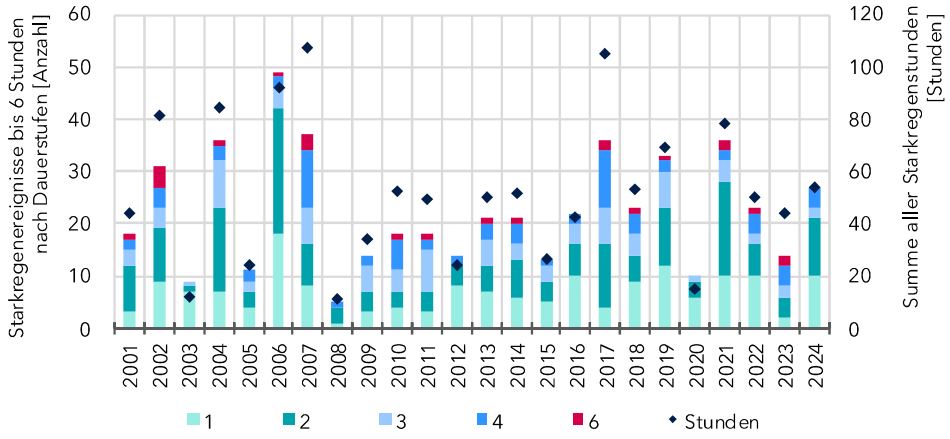
Die Diagramme in Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die Anzahl der im Zeitraum 2001 bis 2024 in CatRaRE für Schleswig-Holstein erfassten Starkregenereignisse mit einer Dauer von bis zu 6 Stunden. Dabei sind in Abbildung 4 die Starkregenereignisse nach ihrer Verteilung in Dauerstufen dargestellt, während sie in Abbildung 5 nach dem Starkregen-Index SRI KOSTRA differenziert sind. Der SRI KOSTRA unterscheidet in insgesamt 12 Kategorien, die aus der statistischen Wiederkehrzeit T der Ereignisse nach der KOSTRA-Tabelle bestimmt werden: 1 und 2 = „normale" Starkregenereignisse (T bis 5 Jahre); 3 bis 5= intensive Starkregenereignisse (T zwischen 10 und 30 Jahre); 6 und 7 = außergewöhnliche Starkregenereignisse (T gleich 50 beziehungsweise 100 Jahre); 8 und mehr = extreme Starkregenereignisse (T über 100 Jahre). Zur Einordnung zeigt die folgende Tabelle 16 die mittleren Niederschlagshöhen und-spenden in Abhängigkeit von Dauerstufe und Wiederkehrzeit nach dem KOSTRA-DWD-2020-Rasterdatensatz von 2022.

[100] Kaspar F., Deutschländer T., Junghänel T., Lengfeld K., Ostermöller J., Palarz A., Rauthe M., Rustemeier E., Walawender E., Winterrath T., Ziese M. 2025: Niederschlagstrends und Entwicklung der Starkniederschläge in Deutschland (Stand 2025). Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Hydrometeorologie (Hrsg.): S. 2
www.dwd.de/DE/leistungen/faktenpapier_extremwetter/niederschlagstrend-entwicklung_2025.html

[101] LAWA-Starkregenportal: https://lawa-starkregenportal.okeanos.ai/ereignis-katalog-tabelle/

Tabelle 16: Gemittelte KOSTRA-Daten für Schleswig-Holstein (MEKUN[102])

Dauer	Wiederkehr-zeit 1 Jahr	Wiederkehr-zeit 5 Jahre	Wiederkehr-zeit 10 Jahre	Wiederkehr-zeit 30 Jahre	Wiederkehr-zeit 50 Jahre	Wiederkehr-zeit 100 Jahre
h	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	13,4	20,7	24,3	30,3	33,4	37,9
2	16,3	25,3	29,6	36,9	40,7	46,2
6	22,2	34,4	40,3	50,3	55,5	62,9



Quelle: DWD (CatRaRE), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 4: Starkregenereignisse bis 6 Stunden nach Dauerstufen

Insgesamt sind im genannten Zeitraum rund 540 Starkregenereignisse für Schleswig-Holstein erfasst. Vier von fünf dieser Ereignisse (rund 80 %) sind nach 1 bis 3 Stunden zu Ende, während etwa jedes fünfte Ereignis zwischen 4 und 6 Stunden andauert. Besonders viele Starkregenstunden traten, unabhängig von der Dauer der jeweiligen Ereignisse, in den Jahren 2006, 2007 und 2017 auf. Entscheidender für die Beurteilung der Starkregen ist allerdings ihre Intensität im Zusammenhang mit der Andauer. Insgesamt rund 95 % der Starkregenereignisse werden als „normale" oder intensive Starkregen nach dem SRI eingestuft. Knapp 5 % der Ereignisse, 25 an der Zahl, wurden als außergewöhnliche oder extreme Starkregen kategorisiert. Die drei extremen Starkregen ereigneten sich in den Jahren 2007, 2020 und 2024. Ein statistisch signifikanter Trend bezogen auf die Entwicklung in ganz Schleswig-Holstein ist in den Zeitreihen der beiden Auswertungen nicht erkennbar. Dieses Ergebnis deckt sich prinzipiell mit den Ergebnissen einer räumlich differenzierten, auf ein 50km*50km Raster bezogenen statistischen Auswertung der im CatRaRE erfassten Starkregenereignisse von 1 bis 6 Stunden durch den DWD für den Zeitraum 2001 bis 2024. Demnach wurde für Schleswig-Holstein hinsichtlich der Anzahl der Starkregenereignisse bei insgesamt geringen Veränderungen vermehrt eine rückläufige Tendenz festgestellt. Die Auswertung zur betroffenen Fläche zeigt nur für zwei Rasterzellen eine relevante Veränderung, die im einen Fall positiv, im anderen negativ ausfällt. Ein statistisch hoch signifikanter Trend zu einer Zunahme zeigt sich für beide Parameter für den Nordwesten Schleswig-Holsteins, wo allerdings größere Einschränkungen aufgrund einer unvollständigen Radarabdeckung bestehen.[103]

[102] MEKUN (Hrsg.) 2024b: Leitfaden Starkregenrisikomanagement – Hinweise für Kommunen in Schleswig-Holstein. S. 15. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/Fachinhalte/HydrologieNiederschlag/Leitfaden_Starkregenrisikomanagement_2024_09_11.pdf

[103] Kaspar et al. 2025, s. Fußnote 100: S. 22

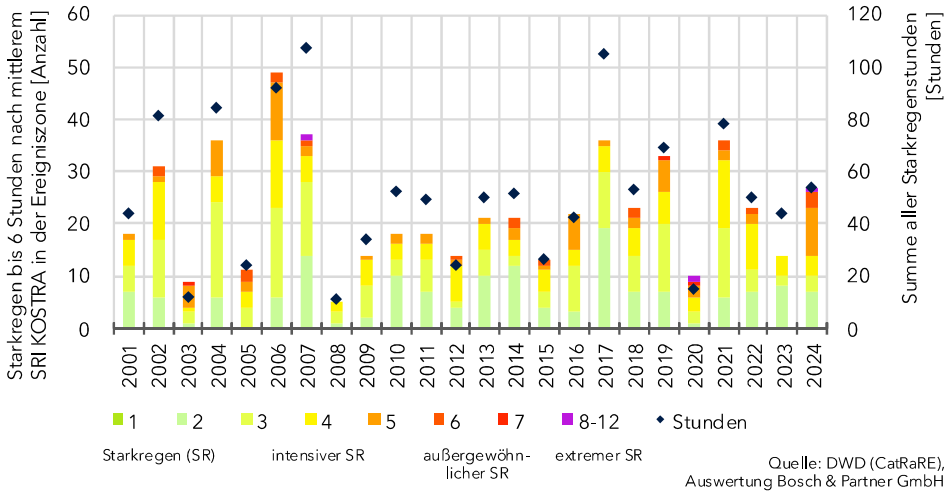


Abbildung 5: Starkregenereignisse bis 6 Stunden nach dem mittleren Starkregenindex (SRI KOSTRA) der Ereigniszone

Hinsichtlich der räumlichen Verteilung treten Starkregenereignisse von 1 bis 6 Stunden grundsätzlich in allen Landesteilen in Schleswig-Holstein auf. Die Schwerpunkte des Starkregengeschehens, in denen sich im Zeitraum 2001–2024 die meisten Starkregenstunden mit Überschreitung der DWD Warnstufe 3 (Unwetter)[104] summiert haben, liegen dabei entlang der Westküste zwischen Brunsbüttel und Husum, im Nordosten zwischen Flensburg und Eckernförde sowie im Südosten zwischen Lübeck und Mölln (siehe Abbildung 6). An dieser Stelle ist nochmals auf die Einschränkungen für den Nordwesten Schleswig-Holsteins aufgrund einer unvollständigen Radarabdeckung hinzuweisen.[105]

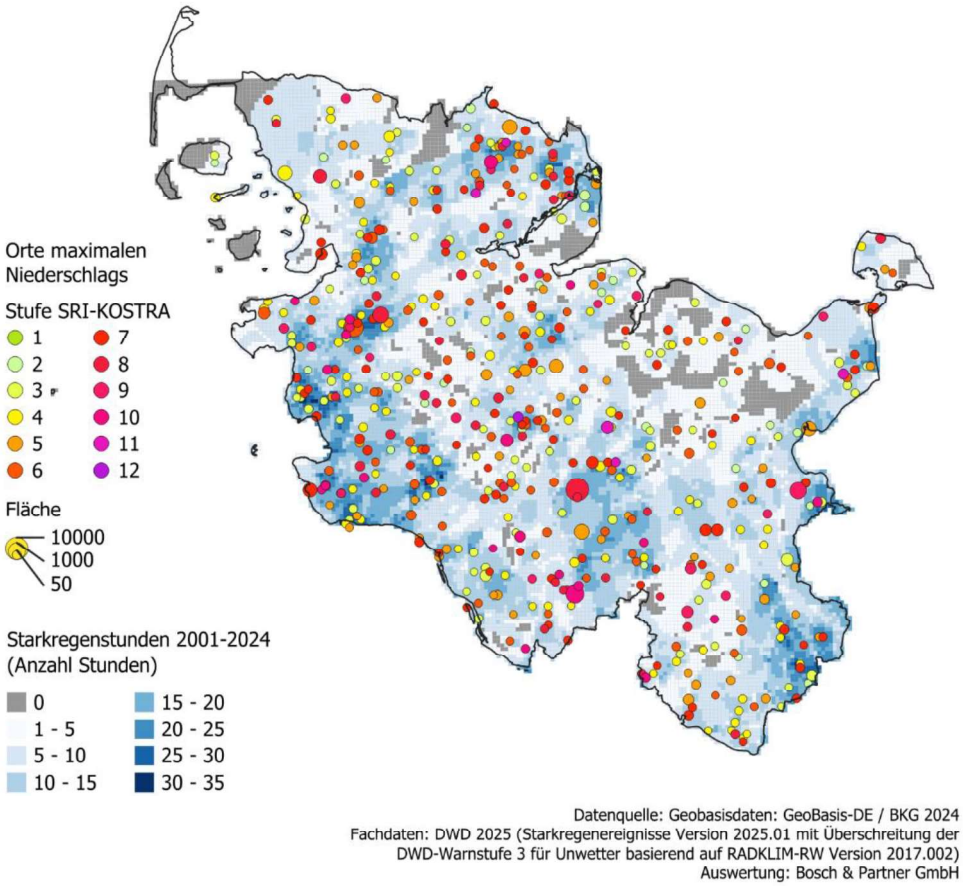


Abbildung 6: Starkregenereignisse 2001–2024: Ort des maximalen Niederschlags sowie Starkregenstundensumme von Ereignissen mit Überschreitung der DWD-Warnstufe 3 (Unwetter) mit einer Dauer von 1 bis 6 Stunden

[104] DWD 2025, s. Fußnote 98: Ereignisse mit einer Niederschlagsmenge zwischen 25 und 40 l/m² in 1 Stunde oder zwischen 35 und 60 l/m² in 6 Stunden

[105] Kaspar et al. 2025, s. Fußnote 100: S. 22

Von besonders intensiven Starkregenereignissen der Warnstufe extremes Unwetter ist, Auswertungen des DWD zufolge, hingegen der Osten Schleswig-Holsteins besonders stark betroffen.[106] Ereignisse dieser Warnstufe sind Starkregen, bei denen mehr als 40 l/m² in einer Stunde oder mehr als 60 l/m² in 6 Stunden niedergehen.

Das Auftreten konvektiver Starkregenereignisse ist zeitlich, also hinsichtlich der Andauer der Ereignisse, und ebenso räumlich, also hinsichtlich des Orts und der Ausdehnung der Ereignisse, sehr variabel. Während eine Erfassung aktueller Starkregenereignisse über die Radarklimatologie seit dem Jahr 2001 erfolgt, ist eine Modellierung konvektiver Starkregenereignisse in ihrer realen Intensität und zeitlichen Auflösung mit den existierenden globalen und auch regionalen Klimamodellen nicht möglich. Die bereits bestehenden kleinräumigen konvektionserlaubenden Klimamodelle sind in ihrer Zahl bislang gering. Daher ist zum jetzigen Stand nicht möglich, ausreichend große Klimamodellensemble mit verschiedenen Klimamodellen und Szenarien zu bilden, in denen sich die Unsicherheiten zukünftiger Starkregenereignisse adäquat widerspiegeln. Aussagekräftige Projektionen für individuelle konvektive Starkregenereignisse liegen für Schleswig-Holstein daher bislang nicht vor, sodass keine geeignete Projektion für eine Gegenüberstellung mit den Ergebnissen von CatRaRE verfügbar ist.

Tage mit hohem Niederschlag – statistische Erfassung von hohen Niederschlagsmengen durch den DWD

Das Auftreten von hohen Niederschlagsmengen wird neben der Erfassung von Starkniederschlagsereignissen durch die Radarklimatologie nach wie vor mithilfe der an den Messstationen des DWD gesammelten Niederschlagsdaten beobachtet. Seit Mitte der 1990er Jahre lösten dabei elektronische Messsysteme die manuelle Wetteraufzeichnung ab, bis dahin lagen für die Stationen meist nur Monats- oder Tageswerte vor.[107] Vor diesem Hintergrund sind Aussagen zum Niederschlag für länger zurückliegende Zeiträume nur auf Basis von Tageswerten möglich. Der DWD für Deutschland bewertet Tage dann als Tage mit hohem Niederschlag, wenn die Tagesniederschlagssumme die Schwellenwerte von 20 mm beziehungsweise 30 mm erreicht oder überschreitet. Für diese Parameter bietet der DWD Geodaten in einem 1km * 1km-Raster sowohl für die Vergangenheit (Beobachtung) als auch für die Zukunft (Projektion) an, die mithilfe von räumlichen Interpolationsverfahren wesentlich auf Grundlage der an den Messstationen gewonnenen Daten erstellt werden.[108] Neben diesen auf definierte Schwellenwerte bezogenen Rasterdaten bietet der DWD grundsätzlich auch Perzentil-basierte Werte an. Das 95.-Perzentil des Tagesniederschlags, also die Niederschlagsmenge, die an den 5 % niederschlagsreichsten Tages eines Jahres – beziehungsweise im Kontext klimatologischer Untersuchungen eines 30-jährigen Zeitraums – an einem Ort überschritten wurde, wird dabei als Marke für sehr feuchte Tage verwendet. Das 99.-Perzentil markiert die Schwelle zu den extrem feuchten Tagen. Mit der Verwendung von Perzentilwerten ist eine räumlich differenzierte, an die spezifischen Niederschlagsbedingungen eines Ortes angepasste Definition von Schwellenwerten möglich. Für die beschriebenen Datenprodukte gilt grundsätzlich, dass die tatsächliche Informationsdichte von der Stationsverteilung bestimmt ist.[109] Mit Blick auf die in der Regel kleinräumig auftretenden konvektiven Starkregenereignisse bedeutet das, dass diese Ereignisse je nach Dichte des Messnetzes nicht zwangsläufig von Messstationen erfasst werden können und damit in den erzeugten Daten nicht enthalten oder unterrepräsentiert sind.

Die folgende Abbildung 7 zeigt, dass die Anzahl von Tagen mit starkem Niederschlag in Schleswig-Holstein von Jahr zu Jahr deutlich schwankt, grundsätzlich aber gering ist. Im Gebietsmittel des Jahres 1966 traten mit rund sieben die meisten Tage mit Niederschlägen von mindestens 20 mm auf. In den Jahren 2002, 2011 und 2017 lag die Anzahl ähnlich hoch. Ein signifikanter Trend liegt nicht vor.

[106] Kaspar et al. 2025, s. Fußnote 100: Abbildung 6, S. 12

[107] Kaspar et al. 2025, s. Fußnote 100: S. 4

[108] DWD 2025: Räumliche Interpolation – Berechnung gerasterter Gebietsniederschläge am WZN. https://www.dwd.de/DE/leistungen/wzn/funktionen/home_spatialanalysis.html

[109] DWD Climate Data Center (CDC) 2018: Jahresraster der Anzahl der Tage mit Niederschlag >= 20 mm für Deutschland, Version v1.0. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/annual/precipGE20mm_days/BESCHREIBUNG_gridsgermany_annual_precipGE20mm_days_de.pdf

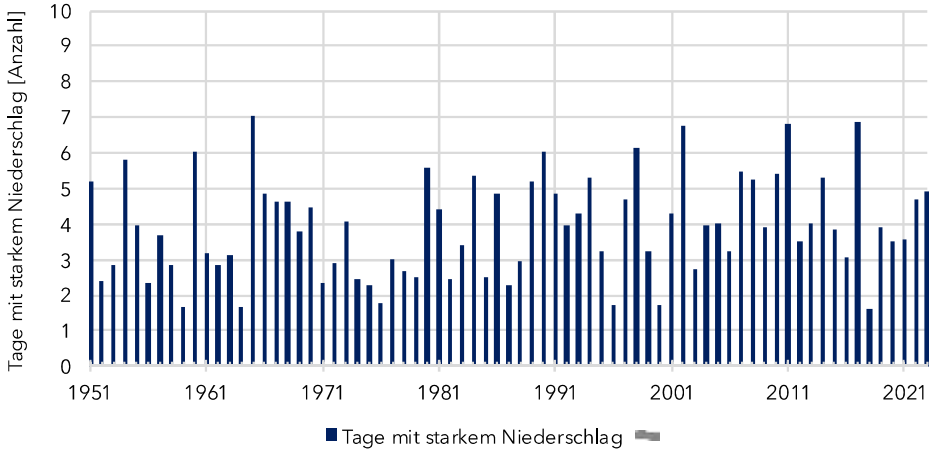


Abbildung 7: Anzahl von Tagen mit starkem Niederschlag von mindestens 20mm

* Tag mit starkem Niederschlag = Tag mit Gesamt-niederschlagsmenge von mindestens 20 mm

Quelle: DWD (Anzahl der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Überflutungen durch Starkregen

Als Klimasignal könnten auch Auftreten und Ausmaß von Überflutungen durch Starkregen herangezogen werden. Die diesbezüglichen Gefahren hat das BKG in den Hinweiskarten Starkregengefahren räumlich konkretisiert. Die Hinweiskarten zeigen für 100-jährliche Starkregen als außergewöhnliches Ereignis und für Starkregen mit einem Niederschlag von 100 mm je Stunde als extremes Ereignis in großem Maßstab, wie sich die Parameter Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe des Starkregenabflusses unter Berücksichtigung von Topografie und Landbedeckung voraussichtlich ausprägen werden. Die Hinweiskarten Starkregen geben Aufschluss, welche Siedlungsbereiche oder Gebäude von Überflutungen durch Starkregenereignisse grundsätzlich betroffen sein können. Sie sind im Umweltportal Schleswig-Holstein einzusehen.[110]

Die Hinweiskarten enthalten allerdings keine Informationen zu real aufgetretenen vergangenen Ereignissen oder Projektionen zukünftiger Ereignisse. Sie lassen sich daher für eine Operationalisierung des Klimasignals nicht verwenden, ebenso wenig stehen andere diesbezüglich verwendbare Datensätze zur Verfügung. Auch eine alternative Verwendung der Hinweiskarten Starkregengefahren als aggregierte Information für die topografische Sensitivität (siehe Kapitel 4.4.3.2) ist nicht möglich, da die zugrundeliegenden Geodaten nicht in einem verarbeitbaren Format zur Verfügung stehen.

4.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

4.4.3.1 Exposition

Da Starkregen an allen Orten in Schleswig-Holstein auftreten können, sind generell alle **Siedlungsstrukturen** im Land gegenüber Starkregenereignissen exponiert und können von ihren Folgewirkungen betroffen sein. Die Siedlungsstruktur in Schleswig-Holstein ist durch eine Vielzahl kleiner Gemeinden geprägt. Beinahe zwei Drittel (rund 64 %) der über 1.100 Gemeinden haben eine Bevölkerungszahl von weniger als 1.000, weitere rund 16 % der Gemeinden weniger als 2.000 Einwohnerinnen und Einwohnern. In diesen annähernd 900 Gemeinden leben zusammen rund 564.000 Menschen beziehungsweise 19 % der Bevölkerung Schleswig-Holsteins. In 55 Gemeinden leben mehr als 10.000 Menschen. Die fünf größten Städte Schleswig-Holsteins sind die beiden Großstädte Kiel und Lübeck mit jeweils über 200.000 Einwohnerinnen und Einwohnern sowie Flensburg, Neumünster und Norderstedt. Insgesamt wohnen in diesen fünf Städten zusammen rund 729.000 Menschen.

[110] MEKUN 2025: Umweltportal Schleswig- Holstein – Thema Wasser – Wassergefahren – Hinweiskarte Starkregengefahren. https://is.gd/YkRNtw

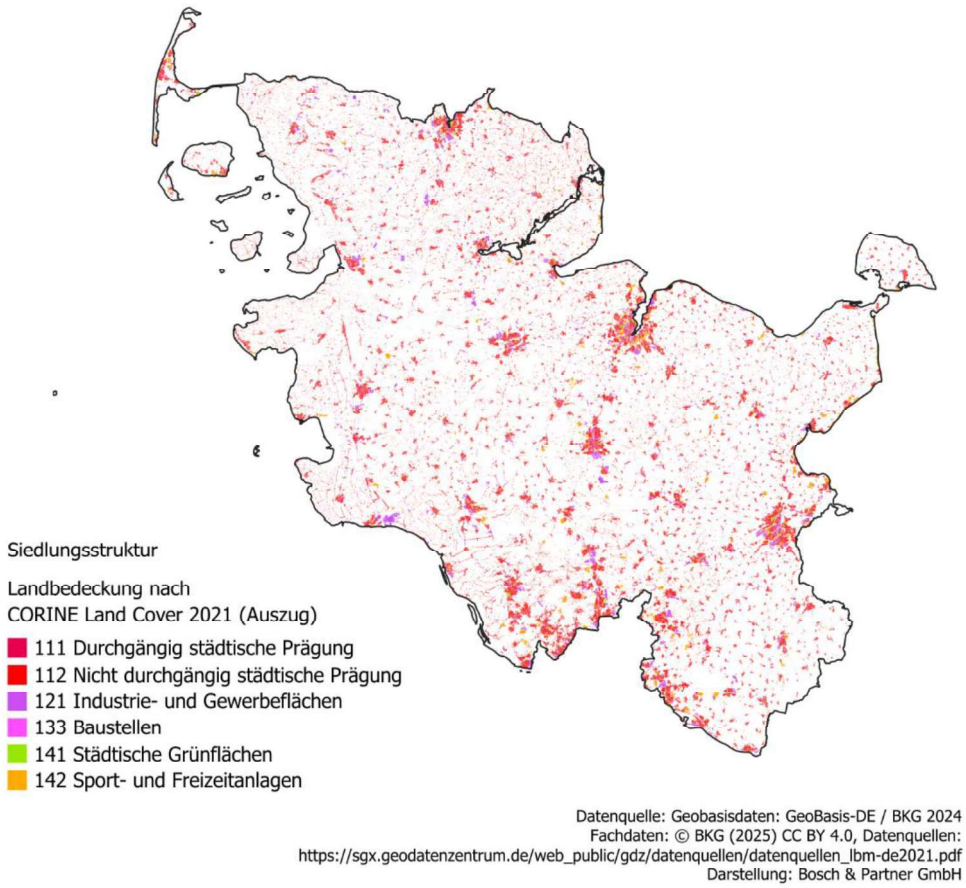


Abbildung 8: Siedlungsstruktur in Schleswig-Holstein (Stand 2021)

Entsprechend der Verteilung der Bevölkerungszahl ist die Siedlungsstruktur in Schleswig-Holstein kleinteilig ausgeprägt. Abbildung 8 stellt mit den Daten des Landbedeckungsmodells 2021 (LBM-DE2021)[111] des BKG anhand der Landbedeckungsklassen von CORINE Land Cover (CLC) für „Durchgängig städtische Prägung", „Nicht durchgängig städtische Prägung", „Industrie- und Gewerbeflächen", „Baustellen", „Städtische Grünflächen", sowie „Sport- und Freizeitanlagen" die Siedlungsstruktur Schleswig-Holsteins dar. Das LBM-DE2021 basiert auf ausgewählten flächenhaften Objektarten des ATKIS® Basis-DLM (DLM: Digitales Landschaftsmodell) aus den Bereichen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer und stellt die Landbedeckung und Landnutzung flächenhaft mit einer Mindestkartierfläche von 1 Hektar dar. Des Weiteren enthält er Angaben zum Versiegelungsgrad und zum Vegetationsanteil. Der Datensatz wird unter anderem für die Ableitung des CLC-Datensatzes verwendet, dessen Landbedeckungsklassen in obiger Karte dargestellt sind. Für die Darstellung der Exposition in dieser Klimawirkung wird der Verwendung des LBM-DE2021 aufgrund der Bezugnahme auf CLC der Vorzug gegenüber einer Verwendung des ATKIS®-Basis-DLM gegeben. Grund ist, dass als eine Grundlage für die Erstellung der KWRA 2021 durch das BBSR eine Siedlungsflächenprojektion mit dem Zieljahr 2045 erarbeitet wurde[112]. Diese Projektion soll in dieser Klimarisikoanalyse genutzt werden, um die zukünftige Siedlungsfläche berücksichtigen zu können. Die Siedlungsflächenprojektion basiert auf dem LBM-DE des Jahres 2015, das ebenfalls die CLC-Nomenklatur verwendet. Die Verwendung des LBM-DE2021 mit der Ableitung der erlaubt daher eine Vergleichbarkeit des aktuellen mit der für die Zukunft projizierten Ausdehnung der Siedlungsfläche.

4.4.3.2 Sensitivität

Durch Starkregen können an Gebäuden und Infrastrukturen im Siedlungsbereich von Städten und Gemeinden Schäden entstehen. Art und Umfang der möglichen Betroffenheit hängen dabei nicht nur von der Intensität und Dauer der Starkregenereignisse ab. Auch verschiedene lokale Gegebenheiten im Siedlungsbestand oder Eigenschaften einzelner Gebäude

[111] BKG 2025: Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland, Stand 2021 (LBM-DE2021). https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle/digitales-landbedeckungsmodell-deutschland-stand-2021-lbm-de.html

[112] Behmer J. 2019: Siedlungsflächenprojektion 2045. Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Hrsg. v. Umweltbundesamt (UBA), Climate Change, 08/2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-01-27_climate-change_08-2020_siedlungsflaechenprojektion-2045_0.pdf

können wichtige Faktoren sein, die die Sensitivität des Siedlungs- beziehungsweise Gebäudebestands gegenüber dem Einfluss von Starkregenereignissen bestimmen.

Topografie: In den Hinweiskarten Starkregengefahren[113] werden für verschiedene Starkregenszenarien die Überflutungstiefe, Fließgeschwindigkeit und -richtung simuliert. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Simulationsergebnisse von zwei unterschiedlichen Starkregenszenarien für Schleswig-Holstein. Für die Simulation werden neben den DWD-KOSTRA-Daten für die Niederschlagsmenge als wesentliche Datengrundlagen das amtliche topographisch-kartographische und das Liegenschaftskataster-Informationssystem (ATKIS und ALKIS) für die Flächennutzung sowie das digitale 3D-Geländemodell (DGM1, Gitterweite 1 m) für die Topografie verwendet. Die topografische Situation ist zum einen eine wesentliche Einflussgröße für die Entwicklung von Überflutungen und deren Fließgeschwindigkeiten, die wesentlich mit der Ausprägung des Reliefs und der Stärke der Hangneigung zusammenhängen. Mit der Höhe der Fließgeschwindigkeit nimmt das Schadenpotenzial zu. In ebenem oder sehr gering geneigtem Gelände ist die Verweildauer der niedergegangenen Regenmengen in der Regel größer und die Überflutungstiefe größer. Schäden entstehen hier verstärkt durch die länger andauernde Einwirkung des Niederschlagswassers. Da für die Hinweiskarte Starkregengefahren bislang keine Geodaten in einem weiter verarbeitbaren Format zur Verfügung stehen, ist eine Berücksichtigung bei der Operationalisierung der Klimawirkung auch für die Sensitivität nicht beziehungsweise nur sehr eingeschränkt möglich.

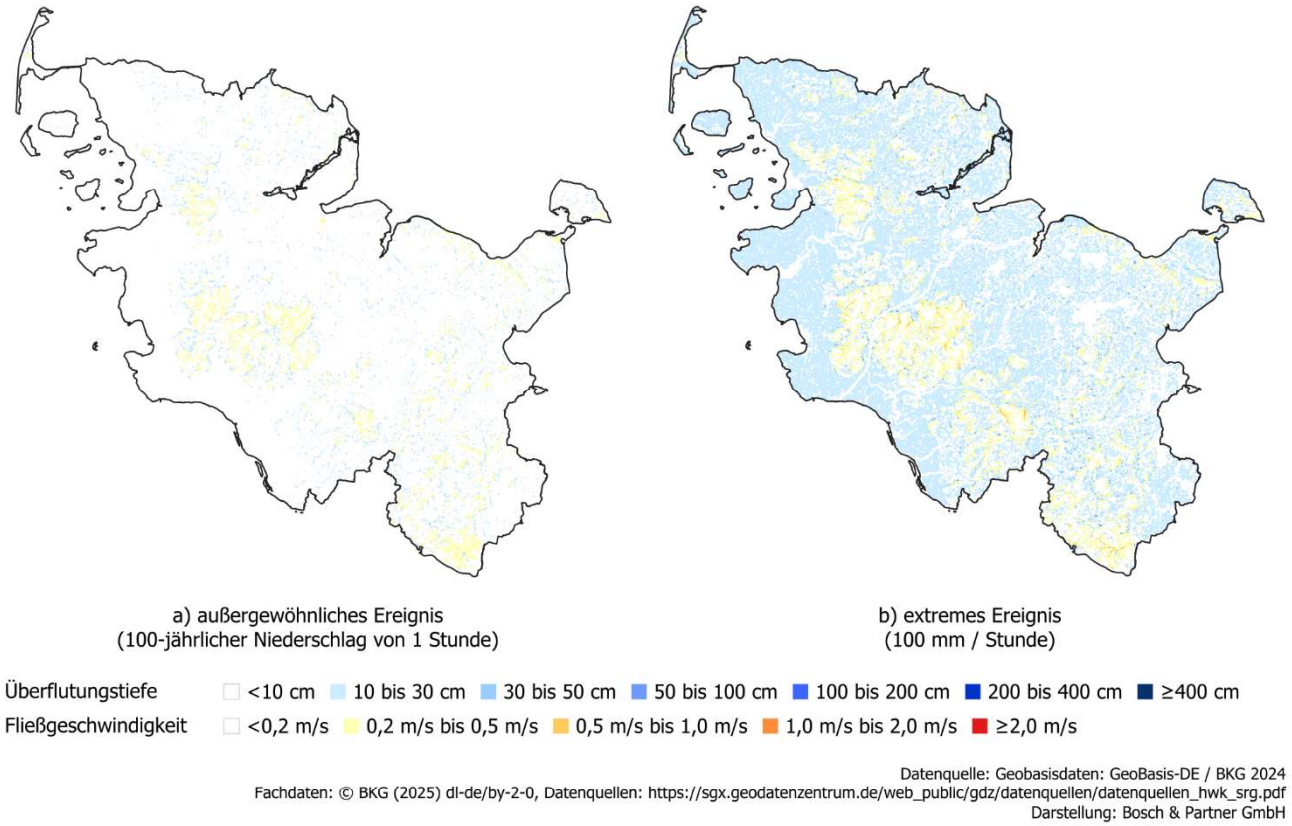


Abbildung 9: Hinweiskarte Starkregengefahren Schleswig-Holstein: Überblick über die Simulationsergebnisse zu Überflutungstiefe und Fließgeschwindigkeit für außergewöhnliche und extreme Ereignisse

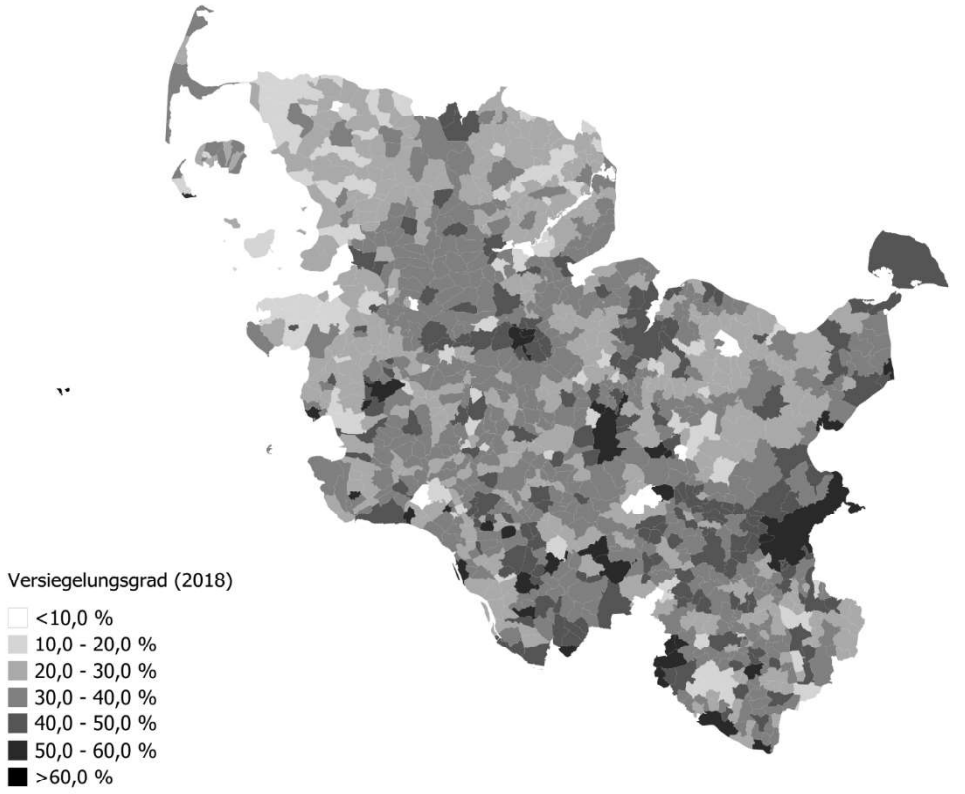
Versiegelungsgrad: Unter Versiegelung oder auch Bodenversiegelung wird die luft- und wasserdichte Abdeckung von Boden beispielsweise durch Bebauung mit Gebäuden oder durch betonierte, asphaltierte oder gepflasterte Bodenbeläge verstanden. Durch die Versiegelung geht die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ganz oder teilweise verloren, auch der Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre ist wird ganz oder teilweise unterbunden. Der Boden kann dann viele wichtige Funktionen und Leistungen im Naturhaushalt und als Lebensgrundlage des Menschen nicht mehr erfüllen. Unter anderem wird seine Funktion als Speicher und Rückhalt von Niederschlagswasser beeinträchtigt. In der Folge können bei

[113] MEKUN 2025, s. Fußnote 110

Starkregenereignissen Kanalisation oder Vorfluter überlastet sein und die niedergehenden Wassermengen nicht mehr fassen und gezielt ableiten, sodass es zur Überflutungen von Flächen und zum Rückstau in Gebäude kommen kann.[114]

Der Versiegelungsgrad ist im LBM-DE2021 mit der Mindestkartierfläche von 1 Hektar differenziert in 5-Prozent-Schritten hinterlegt und könnte im Datenstand des Jahres 2021 für die Operationalisierung verwendet werden. Da die Versiegelung überwiegend eine Teilmenge der des Siedlungsgebiets ist, wird an dieser Stelle auf eine Kartendarstellung des LBM-DE2021-Datensatzes zur Versiegelung verzichtet. Unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Versiegelungsgrads der einzelnen Flächen ergibt sich für Schleswig-Holstein insgesamt auf Grundlage von LBM-DE2021 ein Versiegelungsgrad von rund 4,1 %. Knapp 14.000 km² der Landesflächen Schleswig-Holsteins sind unversiegelt. Alternativ zur Operationalisierung der Versiegelung anhand des LBM-DE2021 ist die Verwendung eines gemeindebezogenen Datensatzes aus dem Ökosystematlas[115] des Statistischen Bundesamtes möglich (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10: Versiegelungsgrad der Gemeinden in Schleswig-Holstein (Stand 2018)



Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2024
Fachdaten: © Statistisches Bundesamt (2025): Ökosystematlas. dl-de/by-2-0
Datenquellen: Copernicus Programm HRL Imperviousness
Darstellung: Bosch & Partner GmbH

Gebäude mit besonderer Bedeutung oder Funktion: Als weitere Parameter für die Sensitivität des Siedlungsbereichs kann grundsätzlich eine besondere Bedeutung oder Funktion von Gebäuden herangezogen werden. Dies kann eine besondere soziale Funktion sein, zum Beispiel Krankenhäuser, Alten- und Pflegeheime, Schulen, Kindergärten. Ebenso können Gebäude mit einer besonderen kulturellen Funktion, zum Beispiel Baudenkmale oder Museen, die für Schleswig-Holstein in der Denkmalliste[116] dokumentiert sind, eine besondere Sensitivität begründen. Weder für die soziale Funktion noch für die kulturelle Bedeutung waren flächendeckende Geodaten zugänglich, sodass auf eine Operationalisierung im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse verzichtet wurde. Auch die wirtschaftliche Bedeutung von Gebäuden beziehungsweise einer Gemeinde oder eines Standorts kann grundsätzlich ein Parameter für die Sensitivität des Siedlungsbereiches gegenüber einer Betroffenheit durch Starkregen sein. Hierzu stehen zum einen die oben beschriebenen Daten des LBM-DE2021

[114] Umweltbundesamt (Hrsg.) 2025: Bodenversiegelung.
https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung

[115] Statistisches Bundesamt 2026: Ökosystematlas Deutschland. Zustand – Siedlungs- und Verkehrsfläche – Versiegelung.
https://oekosystematlas-ugr.destatis.de/

[116] Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein 2025: Karte Kulturdenkmale (Denkmalliste)
https://efi2.schleswig-holstein.de/denkmalkarte/

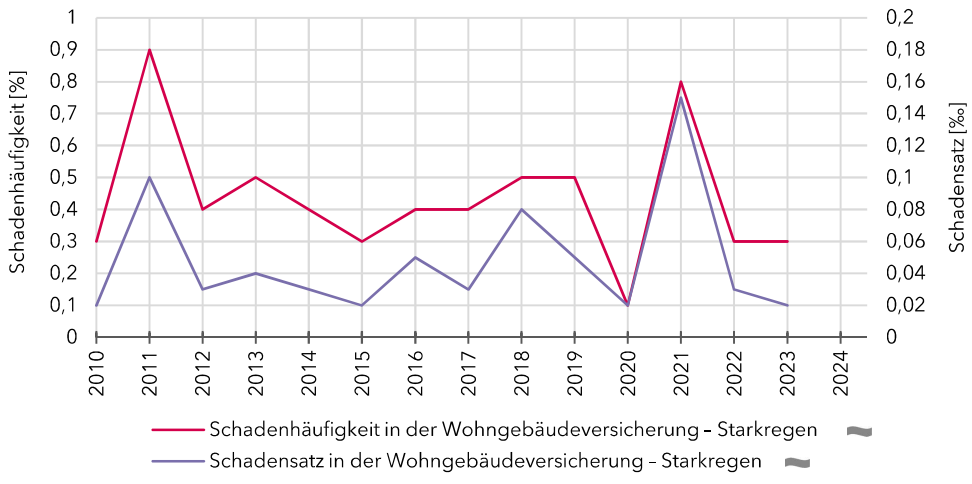
zu Industrie- und Gewerbeflächen zur Verfügung (siehe Abbildung 8). In diesem Datensatz sind Industrie- und Gewerbeflächen ohne weitere Differenzierung nach der jeweiligen Aktivität und deren tatsächlicher wirtschaftlicher Bedeutung dargestellt. Eine Verwendung für die Operationalisierung der Klimawirkung würde damit Industrie- und Gewerbeflächen pauschal eine höher Bedeutung beimessen als beispielsweise Wohn- oder Grünflächen. Dies erscheint in dieser Form nicht gerechtfertigt. Weitere Geodaten zu Industrie-Betrieben in Schleswig-Holstein bietet das Pollution Release and Transfer Registry (PRTR – Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister).[117] Das PRTR enthält für Schleswig-Holstein Einträge zu insgesamt 33 Industrieunternehmen, die Emissionen von Schadstoffen in die Luft oder ins Wasser berichten. Diese Auswahl stellt nur einen kleinen Ausschnitt der Unternehmensstandorte in Schleswig-Holstein dar. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Berücksichtigung als Sensitivitätsparameter für das Handlungsfeld Gebäude und Siedlungsentwicklung nicht angebracht.

4.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

4.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

In Deutschland besteht bislang noch kein vollumfängliches Programm für das Monitoring von Schäden durch den Klimawandel beziehungsweise durch seine Auswirkungen. Eine regelmäßige bundesweite Erhebung von Schadenssummen, die auf Wetterextreme zurückzuführen sind, befindet sich derzeit von Bundesseite auf Grundlage des KAnG[118] als Basis für einen strategischen Umgang mit den Folgen des Klimawandels im Aufbau.

Für den Bereich der Gebäude geben bestehende Daten aus der Verbundenen Wohngebäudeversicherung Aufschluss über die Entwicklung versicherter Schäden an Gebäuden durch Starkregen. Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) führt Daten zu Schadenhäufigkeit, Schadensatz und Schadendurchschnitt für die Schadenursache Starkregen seit dem Jahr 2010 in seiner Branchenstatistik für die Ebene der Bundesländer. Dazu werden nach dem Ausschlussverfahren diejenigen Schäden, die im Sommer für Wohngebäude mit ZÜRS Hochwassergefährdungsklasse (HGK) 1 in der Kategorie „Weitere Naturgefahren (Elementar)“ gemeldet werden, als „Starkregenschaden“ gezählt. Gebäude, die in der ZÜRS-Einteilung in HGK 1 fallen, können nach derzeitiger Datenlage nicht von Hochwasser größerer Gewässer betroffen sein, die Schäden werden daher Starkregen als Ursache zugeschrieben. In einem weiteren Schritt werden die ausgewählten Schadenfälle hinsichtlich dieser Schadenursache plausibilisiert. Die Auswertung von Schadenhäufigkeit und Schadensatz für Schleswig-Holstein (siehe Abbildung 11) zeigt in den Jahren 2011 und 2021, für den Schadensatz zusätzlich im Jahr 2018 besonders hohe Werte. Eine statistisch signifikante Veränderung ist in der noch kurzen Zeitreihe nicht zu ermitteln.



Quelle: GDV (Branchenstatistik); Darstellung: Bosch & Partner GmbH

Abbildung 11: Schadenhäufigkeit und Schadensatz in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung in Schleswig-Holstein – Starkregen

Schadenhäufigkeit und Schadensatz in einzelnen Jahren hängen dabei neben dem Auftreten von Starkregen unterschiedlicher Intensitäten (siehe Abbildung 5) vor allem auch vom Ort und der betroffenen Flächen der Ereignisse ab. Daher

[117] Umweltbundesamt (Hrsg.) 2025: thru.de – PRTR-Gesamtdatenbestand 2007 bis 2024. https://thru.de/2025/03/19/prtr-gesamtdatenbestand-2007-bis-2024/

[118] Deutscher Bundestag (20.12.2023): Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2023 Teil I Nr. 393.

können sich in Jahren wie 2010 und 2011 mit einem ähnlichen Starkregengeschehen die Werte der Schadenparameter deutlich unterscheiden. Während 2010 außergewöhnliche Starkregenereignisse mit einem SRI über 6 vor allem in weniger dicht besiedelten Gebieten auftraten, war von solchen Starkregenereignissen 2011 unter anderem der Großraum Lübeck betroffen.[119] Für 2021 sind in der Landeshauptstadt Kiel Starkregenereignisse im Juli und Oktober 2021 verzeichnet, bei denen großflächig Straßen und Keller überflutet waren.[120] Sie können in diesem Jahr zu den hohen Versicherungsschäden geführt haben. Im Jahr 2018 haben sich wohl die Folgen von Tief Ursula und Orkantief Elena in der Schadenstatistik niedergeschlagen, die durch heftige Niederschläge jeweils Überflutungen verursachten.[121]

In einer Bilanz der Starkregenschäden für den längeren Zeitraum 2002–2021 wurde für Schleswig-Holstein ermittelt, dass in diesen 20 Jahren etwa 9,5 % der Gebäude von Schäden durch Starkregen betroffen waren. Dieser Wert liegt knapp unter dem bundesweiten Durchschnitt von 9,8 %. Der Schadendurchschnitt lag dabei in Schleswig-Holstein mit 4.750 Euro deutlich unter dem deutschlandweiten Wert von über 7.600 Euro. Der Gesamtschaden an Wohngebäuden in Schleswig-Holstein belief sich in den genannten Jahren auf 302 Millionen Euro.[122] Der volkswirtschaftliche Schaden insgesamt lag demgegenüber noch deutlich höher, da in der genannten GDV-Statistik die Schäden an öffentlichen Gebäuden, Infrastruktur und an gewerblichen und industriell genutzten Anlagen und Gebäuden nicht berücksichtigt sind.

4.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Die zukünftigen Auswirkungen eines sich verändernden Starkregengeschehens auf Gebäude und Infrastrukturen in Siedlungen in Schleswig-Holstein lassen sich nicht direkt projizieren. Mit Blick auf ihre Relevanz und die Verfügbarkeit der erforderlichen Daten können aber verschiedene Parameter ausgewählt werden, mit denen eine Operationalisierung von Klimasignal, Exposition und Sensitivität für eine vereinfachte Risikoabschätzung möglich ist. Die zur Operationalisierung ausgewählten Parameter sind in der folgenden Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisiko-analyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	Tage mit Niederschlag >20mm	>2,9 bis 4,0 Tage >4,0 bis 6,0 Tage >6,0 bis 7,8 Tage	DWD, Climate Data Center (CDC)
Exposition	Siedlungsfläche	>0 bis 300 Hektar >300 bis 1.500 Hektar >1.500 bis 7.000 Hektar	BBSR 2019: Siedlungsflächenprojektion 2045. Landnutzungsszenario Trend2045
Sensitivität	Versiegelungsgrad	>40 bis 50 % >50 bis 60 % >60 %	StBA: Ökosystematlas Deutschland. Siedlungsflächen und Verkehrsinfrastruktur – Zustand – Versiegelung

4.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Die Atmosphäre kann aufgrund ihrer Erwärmung infolge des Klimawandels mehr Wasserdampf aufnehmen. Dadurch steigt mit dem fortschreitenden Klimawandel vor allem in der warmen Jahreszeit das Risiko für Starkregenereignisse. Für die Klimarisikoanalyse wird Starkregen anhand des DWD-Datensatzes zur Anzahl von Tagen dargestellt, an denen im gesamten Tagesverlauf mindestens 20 mm Niederschlag fallen. Diese Tage werden in der Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein als

[119] LAWA-Starkregenportal: https://lawa-starkregenportal.okeanos.ai/ereignis-katalog-tabelle/

[120] Landeshauptstadt Kiel 2026: Gefahren durch Starkregen.
https://www.kiel.de/de/gesundheit_soziales/ordnung_sicherheit/starkregen.php

[121] Kieler Nachrichten Online (29.04.2019): 74 Millionen Euro für Unwetterschäden.
https://www.kn-online.de/schleswig-holstein/74-millionen-euro-fuer-unwetterschaeden-4BAWVUN22W542EZI3NFAMX4BNE.html

[122] GDV e.V. 2023: Starkregenbilanz 2002 bis 2021: Bundesweit 12,6 Milliarden Euro Schäden. https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/starkregenbilanz-2002-bis-2021-bundesweit-12-6-milliarden-euro-schaeden-137444

Tage mit starkem Niederschlag bezeichnet. Die vergangene und die projizierte Entwicklung wurden bereits in der Klimaanalyse untersucht (siehe dort Seite 8 beziehungsweise Seite 21). Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- In der Referenzperiode 1971–2000 gab es in Schleswig-Holstein pro Jahr durchschnittlich zwei bis fünf Tage mit starkem Niederschlag. Die starken Niederschläge traten vor allem im Westen und Norden des Landes in der Schleswig-Holsteinischen Geest auf, die grundsätzlich regenreicher ist als der Osten und Süden des Landes.
- Die Bandbreite der Ergebnisse der Klimaprojektionen zu Tagen mit starkem Niederschlag bis zur Mitte des Jahrhunderts reicht von einer Abnahme um einen Tag im Klimaschutzszenario RCP2.6 bis zu einer Zunahme von drei Tagen unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5. Für das Szenario RCP8.5 würde sich die absolute Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag zwischen drei und acht bewegen.
- Während die Änderungen bis Ende des Jahrhunderts für das RCP2.6-Szenario im Vergleich zur Referenzperiode in derselben Größenordnung liegen wie bis zur Mitte des Jahrhunderts (das heißt zwischen einer Abnahme um einen Tag bis zu einer Zunahme um knapp zwei Tage), zeigen die Projektionen auf Grundlage des RCP8.5-Szenarios vor allem mit Blick auf das 85. Perzentil deutliche Veränderungen insbesondere für den ohnehin regenreicheren Norden und Westen des Landes. Für diesen Bereich werden bis zu vier zusätzliche Tage mit starkem Niederschlag projiziert.

4.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Das in dieser Klimawirkung zu betrachtende exponierte System ist die Siedlungsstruktur in Schleswig-Holstein. Für die Gegenwart wird die Siedlungsstruktur durch das Landbedeckungsmodell 2021 (LBM-DE2021) des BKG anhand der Landnutzungsklassen „Wohnen", „Produktion", „Öffentlichkeit", „Sport und Freizeit", „Städtische Grünflächen" sowie „im Bau" die Siedlungsstruktur Schleswig-Holsteins abgebildet (siehe Kap. 4.4.3.1). Für die Operationalisierung der zukünftigen Siedlungsstruktur wird die Siedlungsflächenprojektion 2045 verwendet, die durch das BBSR im Auftrag des UBA als Grundlage für die KWRA 2021 auf Basis dreier Szenarien für den Zeitraum bis 2045 erarbeitet wurde. Genutzt wird für die Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein die auf dem Trendszenario basierende Siedlungsflächenprojektion. Das Trendszenario schreibt die Entwicklungen der Vergangenheit in die Zukunft fort. Es geht für Deutschland insgesamt von einer konstanten jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Personen und einem geringen und sich zunehmend abschwächenden Wirtschaftswachstum aus. Die Ziele zum Klimaschutz und zur Energiewende werden verspätet erreicht, und das Flächenverbrauchsziel von 30 ha / Tag für Deutschland wird verfehlt.[123] Bis 2045 wird eine Absenkung auf 40 ha / Tag erreicht. In dieser Projektion ergibt sich für Schleswig-Holstein bis 2045 eine Flächeninanspruchnahme von rund 232 km² in den Kategorien „Flächen städtischer Prägung", „Industrie, Gewerbe und öffentliche Gebäude" sowie „Städtische Grün- und Erholungsflächen". Hinzu kommen knapp 5 km² „Verkehrsfläche", die allerdings nur zum Teil innerhalb von Siedlungen liegen und daher hier nicht berücksichtigt werden. Neben der Siedlungsfläche nimmt vor allem die Waldfläche deutlich zu, insgesamt um 176 km². Dem Zuwachs an Siedlungsfläche und Waldfläche steht in der Projektion ein deutlicher Rückgang landwirtschaftlich genutzter Fläche gegenüber, die sich nach der Siedlungsflächenprojektion für die Kategorien „Ackerland" auf 175 km² und für „Grünland" auf 113 km² beläuft. Auch für die Kategorie „Naturnahe Flächen und Offenland" wird ein Rückgang (119 km²) projiziert. Als Parameter für die Sensitivität wird der Versiegelungsgrad auf Gemeindeebene zur Operationalisierung herangezogen. Da keine Projektion zur versiegelten Fläche vorliegt, wird für die Klimarisikoanalyse der Datensatz der Versiegelung zum Stand 2018 aus dem Ökosystematlas des Statistischen Bundesamtes auf Gemeindeebene verwendet. Der Verwendung des Datensatzes liegt die Annahme zugrunde, dass sich die regionalen Unterschiede der Versiegelung nicht wesentlich verändern.

4.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Die Verschneidung von Projektionsdaten zur Anzahl der Tage mit einem Niederschlag ≥ 20 mm mit Informationen zur erwarteten Fläche und Verteilung der Siedlungsstruktur sowie der zusätzlichen Darstellung des Versiegelungsgrades in den schleswig-holsteinischen Gemeinden (Stand des Jahres 2018) dient als Grundlage für eine vereinfachte Abschätzung des künftigen regionalen Risikos für das Auftreten möglicher Beeinträchtigungen und gegebenenfalls Schädigungen von Gebäuden und Siedlungen durch Starkregen. Es ist zu beachten, dass die Abschätzung des künftigen Risikos dabei stets relativ bezogen auf die räumliche Differenzierung innerhalb des Landes Schleswig-Holstein erfolgt.

[123] Behmer J. 2019, s. Fußnote 112, S. 40 f.

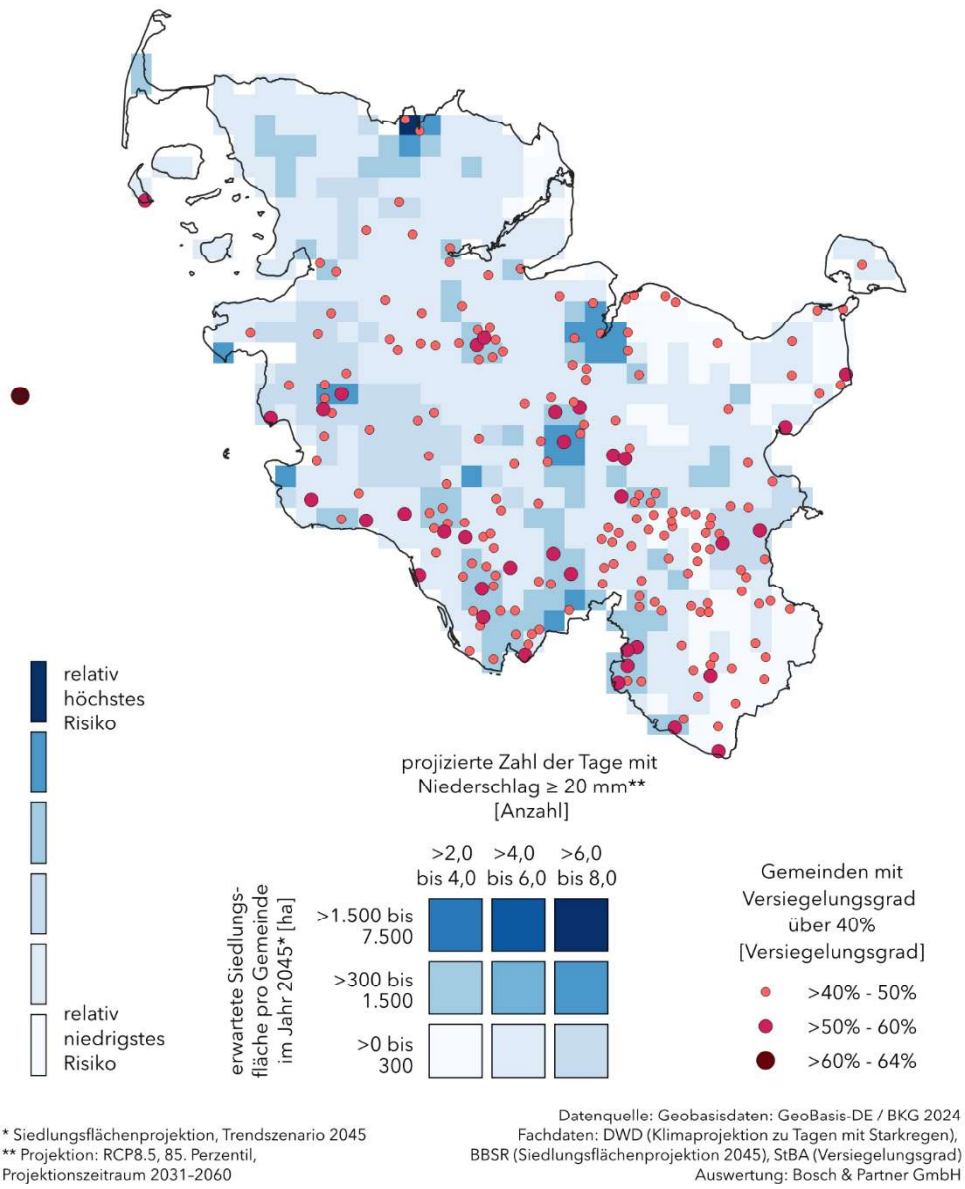


Abbildung 12: Vereinfachte Risikoabschätzung zur Klimawirkung auf Grundlage einer Parameterverschneidung

Die Ergebniskarte in Abbildung 12 zeigt, dass mit der gewählten Parameterkombination (siehe Tabelle 17) das relativ höchste Risiko für Beeinträchtigungen von Siedlungsflächen durch Starkregen im Bereich der Städte Flensburg, Kiel und Neumünster, im Umland von Hamburg sowie an der Westküste in St. Peter-Ording, Friedrichskoog und Heide ermittelt wurden. Dort treffen jeweils eine höhere Anzahl an Tagen mit Niederschlag ≥ 20 mm und Siedlungsstrukturen auf einer relativ großen Fläche zusammen. Insgesamt nimmt das Risiko für Beeinträchtigungen von Siedlungsflächen durch Starkregen von Nordwesten nach Südosten dem Gradienten der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm folgend ab. Dementsprechend fallen die ermittelten Risiken im südöstlich gelegenen Lübeck trotz großflächiger Siedlungsstrukturen geringer aus, ebenso auch in Bad Segeberg oder Eutin. Etliche der genannten Gemeinden weisen zudem eine im landesweiten Vergleich erhöhte Sensitivität gegenüber Starkregenrisiken auf, da sie zu den rund 200 Gemeinden in Schleswig-Holstein mit einem Versiegelungsgrad von 40 % und mehr bezogen auf das Gemeindegebiet zählen. Der hohe Versiegelungsgrad kann dazu führen, dass Starkniederschläge nicht in den Boden einsickern können, sondern an der Oberfläche abfließen, die Kanalisation überlasten und Überflutungen verursachen (siehe Kap. 4.4.3.1).

Die vorliegende Klimarisikoanalyse ermöglicht aufgrund der limitierten Parameterzahl nur eine vereinfachte Abschätzung des künftigen Risikos für Beeinträchtigungen von Siedlungsflächen durch Starkregen. Wie in Kapitel 4.4.2 dargestellt, stammen die Eingangsdaten für die Projektion der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm aus den an DWD-Messstationen aufgezeichneten Wetterdaten. Diese Datenquelle hat den Nachteil, kleinräumige Starkregenereignisse von kurzer Dauer nicht oder nur teilweise zu erfassen. Die verwendete Projektion der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm, die auf die gemessenen Daten zurückgreift, liefert daher nur ein eingeschränktes Bild des zukünftigen Starkregengeschehens. Insbesondere ist zu

berücksichtigen, dass intensive Starkregenereignisse grundsätzlich in allen Landesteilen Schleswig-Holsteins auftreten und Schäden verursachen können. Dies gilt, das belegt der Blick auf die im Ereigniskatalog CatRaRE dokumentierten radargestützt erfassten Starkregenereignisse, auch für Regionen wie den Südosten Schleswig-Holsteins, für die in der dargestellten Abschätzung nur geringe Risiken ermittelt wurden.

Maßnahmen zum Schutz und zur Vorsorge vor Starkregenfahren, beispielsweise kommunale Maßnahmen zur Entsiegelung und zum Wasserrückhalt in der Fläche oder private Maßnahmen zum Überflutungsschutz an Gebäuden, sollten sich aus diesem Grund nicht auf die in der Abbildung 12 ausgewiesenen Gebiete mit erhöhtem Risiko beschränken, sondern in ganz Schleswig-Holstein in den Blick genommen werden. Auch ist zu beachten, dass die durchgeführte Risikoabschätzung zwar ein Anlass für die Entwicklung von Maßnahmen sein kann, sie aber keine adäquate Grundlage für die konkrete Planung und Umsetzung solcher Maßnahmen ist. Als Ausgangspunkt hierfür sollten insbesondere die Hinweiskarten Starkregengefahren berücksichtigt werden, in denen Kommunen ebenso wie öffentliche und private Bauleute, Grundstückseigentümerinnen und -eigentümer wesentliche Informationen in hoher räumlicher Auflösung finden können.

4.5 Klimawirkung „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt“

4.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung und dem Anstieg der Durchschnittstemperatur treten vermehrt auch hohe Temperaturen und Hitzeperioden auf. Die damit verbundenen Wärmebelastungen betreffen Städte und urbane Räume und die dort lebenden Menschen besonders stark, da die Temperatur dort aufgrund der besonderen stadtklimatischen Bedingungen in der Regel höher liegt als in ihrem Umland. Mit Blick auf den Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland, der zum Beispiel in Köln oder Berlin über 10 °C betragen kann, wurde der Begriff der städtischen Wärmeinsel geprägt. Neben möglichen gesundheitlichen Auswirkungen für die Bevölkerung können die Wärmebelastungen auch zu Leistungseinbußen von Arbeitskräften und, in Verbindung mit Wassermangel, das Stadtgrün beeinträchtigen. Der andauernde Zuzug in Städte und urbane Räume lässt diese weiter wachsen und führt zu einer fortschreitenden Verstädterung sowohl im Umfeld der Städte als auch in bislang eher ländlich geprägten Gebieten. Mit dieser Entwicklung dehnt sich auch die Fläche aus, die vom städtischen Wärmeinseleffekt betroffen ist und klimabedingt zunehmenden Wärmebelastungen somit besonders ausgesetzt sein wird.

4.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

4.5.2.1 Klimasignale

Die kombinierte Wirkung unter anderem von Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen kann zu bioklimatische Wärmebelastungen für den Menschen führen. Für eine Annäherung kann als Indikator für Wärmebelastungen das Auftreten von meteorologischen Kenntagen mit extrem hohen Temperaturen herangezogen werden. Zwei wichtige Größen sind diesbezüglich die Anzahl der sogenannten Heißen Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C sowie die Anzahl der Tropennächte mit einer Minimaltemperatur von nicht unter 20 °C.

Heiße Tage treten in Schleswig-Holstein heute statistisch signifikant häufiger auf als noch vor rund 70 Jahren, und es kommt vermehrt zu Jahren mit einer hohen Anzahl solcher Tage. Auch der klimatologische Vergleich von 30-jährigen Mittelwerten macht die Zunahme an Heißen Tagen in Schleswig-Holstein deutlich: Die mittlere Anzahl der Heißen Tage stieg im Vergleich der Referenzperiode 1961–1990 und dem Zeitraum 1991–2020 von etwa 1,5 Tagen auf über 3,6 Tage (siehe Klimaanalyse[124], Abbildungen 6). Innerhalb Schleswig-Holsteins bestehen dabei deutliche räumliche Unterschiede mit einem Gefälle von Süd nach Nord. Die Spanne reicht im Mittel der letzten zehn Jahre (1994–2023) von durchschnittlich zwischen zwei und drei Heißen Tagen an der Nord- und Ostseeküste bis zu über acht Heißen Tagen im Süden Schleswig-Holsteins (siehe Klimaanalyse, Abbildung 7).

Tropennächte treten in Schleswig-Holstein im Vergleich zu Heißen Tagen deutlich seltener auf. Die höchste Anzahl im landesweiten Mittel wurde im heißen Jahr 1994 erreicht, als im Gebietsmittel 2,8 Nächte ermittelt wurden, in denen die Temperatur die Marke von 20 °C nicht unterschritt. Im Vergleich der Klimareferenzperiode 1961-1990 und dem 30-jährigen Zeitraum 1991-2020 ist die Anzahl von 0,04 auf 0,23 Tropennächte angestiegen. Für Schleswig-Holstein insgesamt spielen sie als Faktor der Wärmebelastung demnach bislang eine untergeordnete Rolle.

4.5.2.2 Exposition

Der städtische Wärmeinseleffekt entsteht im Zusammenspiel der klimatischen und topografischen Rahmenbedingungen mit Faktoren wie der Größe und Dichte von Siedlungsstrukturen, der Höhe der Bebauung, den vorherrschenden Materialien und Farben sowie dem Versiegelungsgrad und dem Bestand an Siedlungsgrün. Dabei wirken verschiedene, hier nur grob skizzierte Mechanismen zusammen: Gebäude, Straßen und Plätze heizen sich bei hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung auf, speichern die Wärme und geben sie nachts wieder an die Umgebung ab. Ein hoher Versiegelungsgrad und ein geringer Anteil an Grün- und auch Wasserflächen führen dazu, dass die kühlende Verdunstungsfunktion von Boden und Vegetation eingeschränkt ist. Der Luftaustausch mit der umgebenden Landschaft kann durch eine hohe

[124] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

und enge Bebauung erschwert sein. Insgesamt resultiert aus der individuellen Kombination der verschiedenen Faktoren in den betroffenen Orten ein Tagesgang der Temperatur, der an warmen Tagen von einem stärkeren Temperaturanstieg tagsüber und einer langsameren nächtlichen Abkühlung gekennzeichnet ist. Das Temperaturniveau in diesen Orten ist im Vergleich zum Umland erhöht und war für den Wärmeinseleffekt namensgebend.

Der sogenannte „städtische" Wärmeinseleffekt ist nicht auf Städte, also die Gemeinden mit Stadtrecht beschränkt, sondern kann grundsätzlich alle **Siedlungsbereiche** betreffen, sofern sie bestimmte Merkmale aufweisen. Die Siedlungsstruktur in Schleswig-Holstein ist durch eine Vielzahl kleiner Gemeinden geprägt. Beinahe zwei Drittel (rund 64 %) der über 1.100 Gemeinden haben eine Bevölkerungszahl von weniger als 1.000, weitere rund 16 % der Gemeinden weniger als 2.000 Einwohnerinnen und Einwohnern. In 100 Gemeinden leben mehr als 5.000 Menschen. Zu diesen Gemeinden gehören die meisten der insgesamt 63 Städte in Schleswig-Holstein, 8 Städte haben jedoch eine kleinere Bevölkerungszahl. Das obere Ende der Spanne bilden die Großstädte Kiel und Lübeck mit jeweils über 200.000 Einwohnerinnen und Einwohnern (zur Siedlungsstruktur siehe auch Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen").

4.5.2.3 Sensitivität

Die oben beschriebenen Faktoren der **Siedlungsstruktur** – Siedlungsgröße und -dichte, Höhe der Bebauung, Versiegelungsgrad, Siedlungsgrün etc. – bestimmen das Ausmaß, in dem sich der städtische Wärmeinseleffekt ausbildet und in dem es infolgedessen zu zusätzlichen Wärmebelastungen kommen kann. Diese Faktoren beschreiben demnach die Sensitivität des Siedlungsbestands gegenüber der vorliegenden Klimawirkung. Von Seiten des DWD liegt mit dem Urban Heat Island Rasterdatensatz für Deutschland (UHI-MAP)[125] ein bundesweiter Datensatz vor, der Auftreten und Intensität der städtischen Wärmeinsel flächendeckend für Deutschland darstellt und die Wirkung der verschiedenen strukturellen und baulichen Faktoren für die Sensitivität des Siedlungsbestands gegenüber der Klimawirkung zusammenfassend beschreibt. UHI-MAP basiert auf dem stündlichen Rasterdatensatz (HOSTRADA[126]), der eine hohe Auflösung von 1km * 1km besitzt und unter anderem einen Layer für die städtische Wärmeinselintensität enthält, der auf Basis des Datensatzes CORINE Land Cover 2018[127] des Copernicus Land Monitoring Service zur Landbedeckung berechnet wurde.

Die folgende Abbildung 13 stellt das Auftreten und die Intensität des Wärmeinseleffekts in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 1995-2024 dar. Der Wärmeinseleffekt lässt sich in vielen Städten, aber auch in etlichen weiteren Gemeinden Schleswig-Holsteins nachweisen. Berücksichtigt werden Bereiche, in denen im langjährigen Mittel mindestens einmal jährlich ein Temperaturunterschied von über 1 °C zwischen dem Ort und seinem Umland ausprägt. In den kleineren Städten und Gemeinden ist der auftretende Wärmeinseleffekt eher gering ausgeprägt und liegt zwischen 1 °C und 2 °C. In Innenstadtlagen von größeren Städten wie Flensburg oder Neumünster kann der Temperaturunterschied deutlich höher liegen, im Fall der Großstädte Kiel und Lübeck beträgt er sogar über 6 °C.

[125] DWD 2025a: UHI-MAP - Urban Heat Island Rasterdatensatz für Deutschland, Version 7.0. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/annual/Project_UHI-MAP

[126] DWD 2025b: HOSTRADA. https://www.dwd.de/DE/leistungen/uhi/info_methodic/01_hostrada.html

[127] Europäische Umweltagentur (Hrsg.) 2025: CORINE Land Cover 2018. https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018

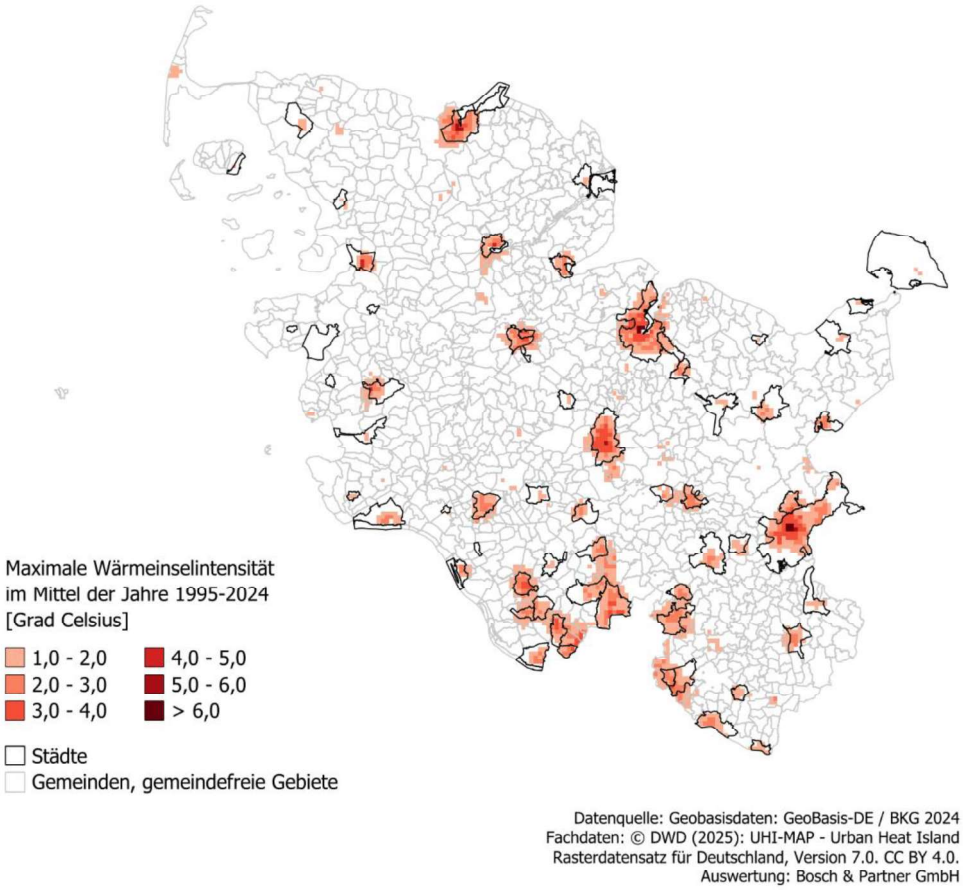


Abbildung 13: Städtischer Wärmeinseleffekt in Schleswig-Holstein – betroffene Bereiche nach Wärmeinselintensität

4.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

4.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Das Auftreten zusätzlicher Wärmebelastungen infolge des Wärmeinseleffekts lässt sich anhand der Fläche beschreiben, auf der in einem Jahr über das im Gebietsmittel Schleswig-Holsteins auftretende Maß hinaus belastende Situationen festgestellt werden. Im Projekt UHI-MAP wird das Auftreten von zusätzlichen Tropennächten als Folge des städtischen Wärmeinseleffekts bearbeitet und ein entsprechender Datensatz generiert.[128] Ein Berechnung zusätzlicher Heißer Tage erfolgt nicht.

Abbildung 3 zeigt eine Auswertung von UHI-MAP hinsichtlich der jährlich infolge des Wärmeinseleffekt zusätzlich von Tropennächten betroffenen Fläche in Schleswig-Holstein. Je nach Witterungsverlauf bestehen zwischen den Jahren sehr starke Schwankungen, die zeitliche Entwicklung folgt bisher keinem statistisch signifikanten Trend. Heiße Jahre wie 2006, 2010, 2018 und 2022 zeigen sich auch mit einer hohen Zahl an zusätzlichen Tropennächten in Gebieten mit einem städtischen Wärmeinseleinfluss. Der bisher höchste Wert wurde im Jahr 1997 erreicht, als der August in Schleswig-Holstein besonders heiß und trocken war. Einzelne Orte weisen auch in Jahren wie 2001 oder 2020 eine hohe zusätzliche Betroffenheit auf, obwohl es in diesen Jahren insgesamt nicht besonders viele zusätzliche Tropennächte gab.

Am stärksten von zusätzlichen Wärmebelastungen infolge des Wärmeinseleffekts sind die Großstädte Kiel und Lübeck betroffen (siehe Abbildung 15). Dort kam es in kleineren Bereichen der Innenstädte im Durchschnitt der letzten 30 Jahre zu 9 bis 10 zusätzlichen Tropennächten je Jahr. Der größte Teil der Fläche, an denen ein städtischer Wärmeinseleffekt auftritt, ist je Jahr mit 1 bis 3 zusätzlichen Tropennächten dagegen deutlich weniger stark betroffen.

[128] DWD 2025a, s. Fußnote 125

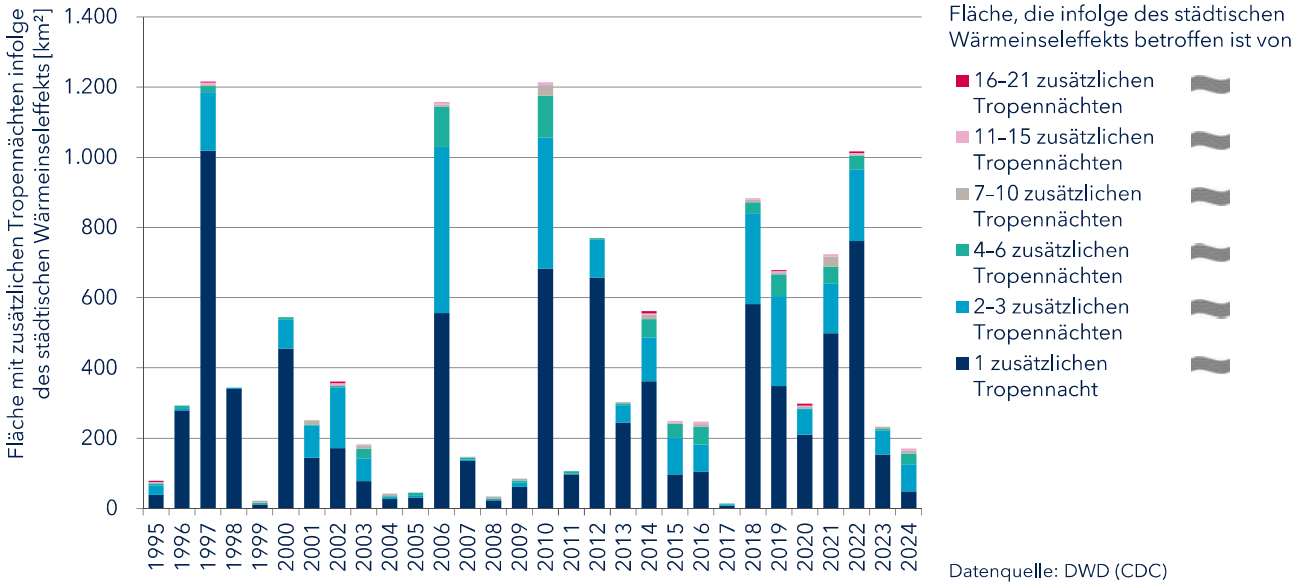


Abbildung 14: Infolge des städtischen Wärmeinseleffekts zusätzlich von Tropennächten betroffene Fläche in Schleswig-Holstein differenziert nach Anzahl der Tropennächte (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator SE-I-1[129])

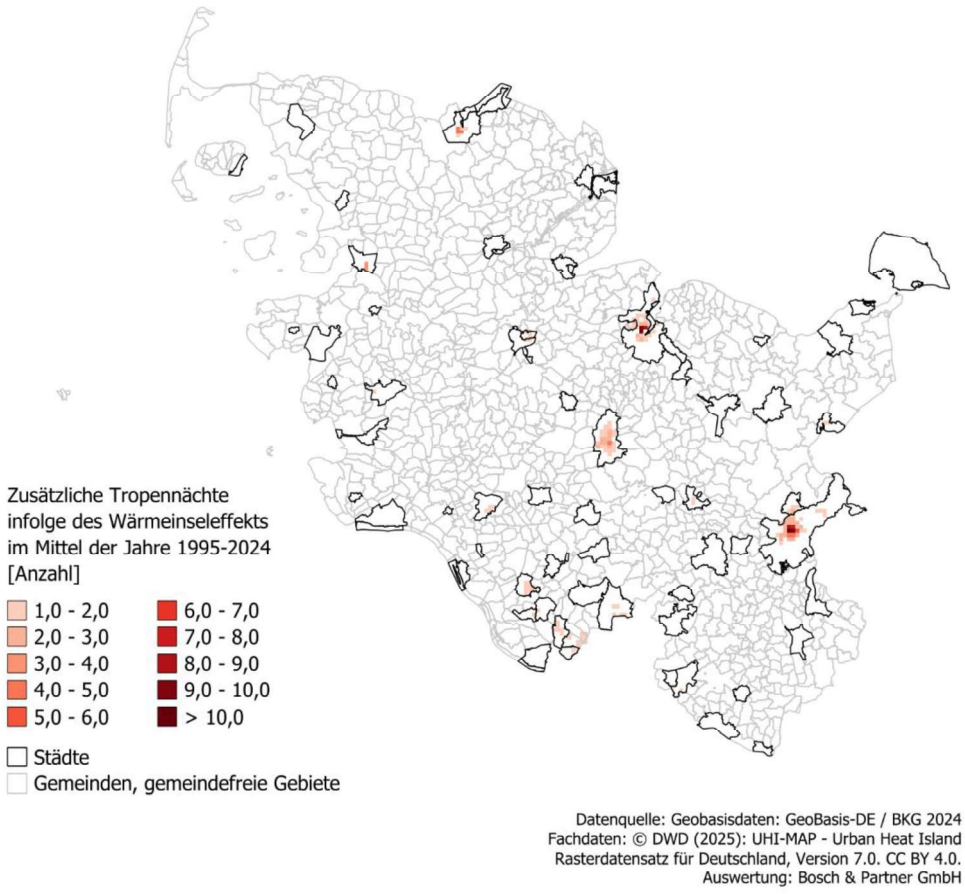


Abbildung 15: Zusätzliche Tropennächte infolge des städtischen Wärmeinseleffekts in Schleswig-Holstein

[129] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt SE-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/tropennaechte.pdf

4.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Die zukünftige Entwicklung von zusätzlichen Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt hängt auf der einen Seite von der weiteren Temperaturzunahme im Zuge der Klimaerwärmung ab. Auf der anderen Seite ist die zukünftige Entwicklung des Siedlungsbestands ein wesentlicher Faktor. Dies gilt sowohl für die Quantität, also hinsichtlich der zukünftig für Siedlungszwecke beanspruchten und damit grundsätzlich gegenüber der Klimawirkung exponierten Fläche, als auch für die Qualität und damit die Sensitivität die Siedlungsbestands.

Für die Zukunft zeigen die Projektionen einen deutlichen Anstieg der mittleren Temperatur an. Lag die Jahresmitteltemperatur in der Referenzperiode 1971–2000 in weiten Teilen Schleswig-Holsteins zwischen 8 und 9 °C, wird die projizierte Jahresmitteltemperatur unter Annahme des Hochemissionsszenarios und des 85. Perzentils schon bis Mitte des Jahrhunderts zwischen 10,6 und 11,3 °C liegen. Die regionalen Muster der Temperaturverteilung in Schleswig-Holstein bleiben zukünftig im Wesentlichen erhalten (siehe Klimaanalyse[130], Abbildung 24). Im Zuge der allgemeinen Temperaturerhöhung wird es auch zu einer Zunahme von Temperaturextremen wie den Heißen Tagen kommen. Ihre durchschnittliche jährliche Anzahl betrug in der Referenzperiode 1971–2000 1 bis 4 Tage. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird für das Hochemissionsszenario RCP8.5 unter Annahme des 85. Perzentils ein Anstieg um bis zu 7 Tage projiziert. Ähnlich wie die Jahresmitteltemperatur folgt auch die Anzahl der Heißen Tage einem Süd-Nord-Gefälle, sodass die absolute Anzahl der Heißen Tage unter den genannten Annahmen in Schleswig-Holstein auf 3 Tage im Norden und auf bis zu 12 Tage im Süden steigen könnte (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Es ist davon auszugehen, dass auch die Zahl der Tropennächte steigen wird, die im Gebietsmittel für Schleswig-Holstein bisher in einem Bereich zwischen 0,1 und 0,2 Tropennächte je Jahr liegt, in Jahren wie 1997 aber schon 2,8 Tropennächte erreicht hat. Dieser Anstieg wird vor allem in den städtisch geprägten Bereichen zu beobachten sein, die besonders für das Auftreten von Tropennächten disponiert und bereits heute am stärksten von ihnen betroffen sind (siehe Abbildung 15).

Die zukünftige Entwicklung der Siedlungsstruktur wurde für die KWRA 2021[131] durch das BBSR im Auftrag des UBA die Siedlungsflächenprojektion 2045[132] erarbeitet. Sie basiert auf drei verschiedenen Szenarien und spannt einen Entwicklungskorridor für den Siedlungsbestand bis fast zur Mitte des 21. Jahrhunderts auf. Unter Zugrundelegung des sogenannte Trendszenarios wird für in Schleswig-Holstein ergibt sich für Schleswig-Holstein bis 2045 eine Flächeninanspruchnahme von rund 232 km² in den Kategorien „Flächen städtischer Prägung", „Industrie, Gewerbe und öffentliche Gebäude" sowie „Städtische Grün- und Erholungsflächen", hinzu kommen knapp 5 km² „Verkehrsfläche" (zur Siedlungsflächenprojektion siehe auch Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen").

Die zunehmende Urbanisierung wird zu einer weiteren flächenmäßigen Ausdehnung städtischer Wärmeinseln führen, es kann also generell eine größere Fläche von zusätzlichen Wärmbelastungen durch den Wärmeinseleffekt betroffen sein. Durch die parallel ablaufende weitere Klimaerwärmung und die Zunahme von Temperaturextremen ist mit einer Verstärkung der Wärmebelastungen für Menschen vor allem in städtischen Verdichtungsräumen zu rechnen. Schwerpunkte sind insbesondere die großen Städte wie Kiel, Lübeck, Flensburg oder Neumünster sowie der Verstädterungsbereich im Umland von Hamburg.

---

[130] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 124

[131] Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K., Schauser I. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Kurzfassung. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, Band 26. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_26-2021_kwra2021_kurzfassung.pdf

UBA (Hrsg.) 2022: Risiken und Anpassungspotential. https://www.uba.de/n14178de

[132] Behmer J. 2019: Siedlungsflächenprojektion 2045. Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, Band 08/2020. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-01-27_climate-change_08-2020_siedlungsflaechenprojektion-2045_0.pdf

5 Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

5.1 Relevanz des Handlungsfelds

Mobilität ist ein Grundpfeiler der modernen Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft. Wirtschaftliche Wertschöpfung, räumliche Entwicklung und gesellschaftliche Teilhabe fußen auf einem funktionierenden und zuverlässigen Verkehrsnetz, das den Transport von Waren sicherstellt und den Menschen das Pendeln oder Reisen ermöglicht – ob für den Weg zur Arbeit, zur Schule oder für Urlaub und Erholung. Ein zentraler Bestandteil der Verkehrsinfrastruktur Schleswig-Holsteins ist das dichte Straßenverkehrsnetz des Landes. Es hat eine Länge von insgesamt knapp 10.000 km. Vor Bundesautobahnen und Bundesstraßen machen die Landes- und Kreisstraßen mit rund 80 % den mit Abstand größten Anteil aus.[133] Auch der Schienenverkehr übernimmt eine wichtige Funktion für den regionalen und überregionalen Personen- und Gütertransport. Das Eisenbahnnetz verbindet nicht nur die bevölkerungsreichen Städte und Oberzentren, sondern verknüpft auf den Regionalverbindungen auch ländliche Räume mit den zentralen Knotenpunkten. Ergänzt werden die Straßen- und Schienenwege durch ein weit verzweigtes Rad- und Fußwegenetz, dem mit Blick auf die angestrebte Mobilitätswende hin zu möglichst nachhaltigem und emissionsarmem Reisen eine wachsende Bedeutung zukommt. Im Küstenland Schleswig-Holstein spielen auch die Verkehrsbewegungen auf dem Wasser eine wichtige Rolle. Der Nord-Ostsee-Kanal (NOK) zählt zu den meistbefahrenen künstlichen Wasserstraßen weltweit. Die schleswig-holsteinischen Seehäfen sind zudem Drehkreuze für den internationalen Warenverkehr. Grundsätzlich kommt dem Land aufgrund seiner geografischen Lage zwischen Nord- und Ostsee sowie als Bindeglied zwischen Mitteleuropa und Skandinavien eine besondere Bedeutung für den überregionalen und internationalen Personen- und Güterverkehr zu.

Die oberirdischen Verkehrsinfrastrukturen und Verkehrsmittel sind kontinuierlich Wetter und Witterung ausgesetzt. Extreme Wetterereignisse wie Sturm, Starkregen, Hochwasser, Hitze oder Frost können die Funktionsfähigkeit des Verkehrsnetzes beeinträchtigen und die Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden gefährden. Kleinere Schäden und Störungen äußern sich zunächst in Verzögerungen, Kapazitätseinschränkungen oder temporären Sperrungen. In schwerwiegenden Fällen können Schäden an Fahrbahnen, Brücken, Gleisanlagen oder Hafeninfrastrukturen zu längerfristigen Betriebsunterbrechungen oder Ausfällen führen. Mit dem fortschreitenden Klimawandel nehmen die Belastungen der Infrastruktur zu, unter anderem durch eine Zunahme von Extremereignissen sowie durch neue thermische und hydrologische Bedingungen infolge von veränderten Temperatur- und Niederschlagsmustern. Damit verbundene Einschränkungen der Mobilität von Personen und Gütern können wirtschaftliche Folgewirkungen wie höhere Kosten, Lieferverzögerungen oder Versorgungsengpässe nach sich ziehen und damit weit über die unmittelbare Beeinträchtigung des Verkehrs hinausreichen.

Vor diesem Hintergrund kommt der Erhaltung, Instandsetzung und dem klimaangepassten Ausbau des Verkehrsnetzes eine hohe Bedeutung zu, um seine Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit langfristig sicherzustellen. Während Schienen- und Seeschifffahrtswege in der Regel in der Zuständigkeit des Bundes liegen, bilden Sanierungen und die weitere Ertüchtigung des Straßen- und Radwegenetzes ein prioritäres Ziel der Landesregierung. Die vorausschauende Berücksichtigung klimatischer Belastungen ist dabei schon heute in der Planung und Umsetzung von Maßnahmen fest verankert. Die systematische Analyse klimabedingter Risiken schafft dafür eine wesentliche fachliche Grundlage. Sie ermöglicht es, besonders exponierte Infrastrukturelemente frühzeitig zu identifizieren, potenzielle Schadensschwerpunkte abzuschätzen und Anpassungsmaßnahmen gezielt zuzuschneiden.

[133] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Straßen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/S/strassen/strassennetz

5.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

5.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs

Schleswig-Holstein ist aufgrund seiner küstennahen Lage, des überwiegend flachen Reliefs und der offenen Landschaftsräume besonders windexponiert. Starke Winde und Sturmböen können die Nutzbarkeit von Verkehrswegen oder der begleitenden Infrastruktur einschränken und die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. Der Wind kann dabei sowohl direkt, etwa durch Seitenkräfte auf Fahrzeuge oder Belastungen von Bauwerken wie Brücken, als auch indirekt wirken, beispielsweise durch Staub- und Sandverwehungen infolge von Winderosion von angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen. Problematisch sind insbesondere Baum- und Astbruch entlang von Verkehrswegen. Querliegendes Material auf Straßen oder Gleisen führt immer wieder zu Behinderungen des Verkehrsflusses oder erfordert Sperrungen ganzer Strecken mit weitreichenden Folgen für den Personen- und Güterverkehr.

Wetteraufzeichnungen zeigen, dass die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten und die höchsten Jahresmittel der Tageswindspitze entlang der Nordseeküste und in den nördlichen Landesteilen auftreten. Klare Tendenzen zu einer Veränderung der Windgeschwindigkeiten lassen sich aus den langjährigen Messreihen des Deutschen Wetterdienstes allerdings bisher nicht ableiten. Die Entwicklungen deuten insgesamt eher auf gleichbleibende oder leicht rückläufige mittlere Windgeschwindigkeiten über die letzten Jahrzehnte hin. Auch die Zahl der Sturmtage zeigt bislang keinen eindeutigen Trend. Dass es in der Vergangenheit aber dennoch immer wieder infolge heftigen Windes zu Beeinträchtigungen im Straßenverkehr gekommen ist, zeigen unter anderem die Erfassungen der Straßenbetriebsdienste. In einzelnen sturmreichen Jahren kam es zu erhöhten Aufwänden für die Beseitigung von wetter- und witterungsbedingten Schäden und für die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von Verkehrswegen. Allerdings werden windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs nicht gesondert erfasst. Auch für den Schienenverkehr liegen betriebliche Störungsdaten vor, diese sind jedoch nicht öffentlich zugänglich. Neben der reinen Windgeschwindigkeit beeinflussen auch die Temperatur- und Feuchtebedingungen die Ausprägung der Klimawirkung: Während Trockenperioden können vor allem in den erosionsgefährdeten Geestlandschaften sowie in ausgewiesenen Windkorridoren Staub- und Sandverwehungen die Verkehrssicherheit beeinträchtigen. In Schleswig-Holstein führen rund 10 % der Straßen durch Gebiete mit hoher oder sehr hoher Erosionsgefährdung. Diese exponierten Abschnitte stellen besonders sensible Bereiche des Straßennetzes gegenüber der Klimawirkung dar. Eine Studie des Landesamts für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein aus dem Jahr 2022 widmete sich gezielt der Analyse von entsprechenden Risikoschwerpunkten an allen vierspurigen Abschnitten des Straßennetzes inklusive Autobahnen. Dabei fanden Daten zu Bodentypen, Landnutzung, Windverhältnissen sowie Windhindernissen Berücksichtigung. Im Ergebnis der Studie wurden landesweit elf Risikoschwerpunkte identifiziert, insbesondere Autobahnabschnitte der A7 im Raum Neumünster sowie an der A23 bei Schenefeld.

Gemäß den Projektionen zum künftigen Windgeschehen ist keine deutliche Zunahme der Windgeschwindigkeiten in Schleswig-Holstein zu erwarten. Windprojektionen sind allerdings mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, sodass hinsichtlich der Häufigkeit und Intensität von Starkwindereignissen keine belastbaren Aussagen für die Zukunft möglich sind. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird ein weiterer Anstieg der Lufttemperaturen projiziert. Dadurch kann es in Verbindung mit Veränderungen im Niederschlagsregime zukünftig zu höherer Verdunstung und häufigeren sowie länger andauernden Trockenperioden kommen. Dies erhöht die Anfälligkeit von Böden gegenüber Winderosion und das Risiko für Staubverwehungen. Auch die Vitalität von Bäumen kann infolge zunehmender Trockenheit beeinträchtigt werden und in der Folge zu häufigeren Baum- und Astbrüchen führen. Insbesondere in den bereits identifizierten sensiblen Abschnitten des Verkehrsnetzes muss mit einer Zunahme windbedingter Beeinträchtigungen gerechnet werden. Vorbeugende Maßnahmen werden heute bereits vielerorts umgesetzt. Dazu gehören die Einrichtung oder Ertüchtigung von Windhindernissen, technische Sicherungsmaßnahmen an Brücken sowie Maßnahmen zum effizienten Verkehrsmanagement. Zusätzlich tragen Maßnahmen auf den an die Verkehrswege angrenzenden Flächen zur Reduzierung des Risikos bei. Das sind beispielsweise die Umsetzung angepasster Bewirtschaftungsweisen auf erosionsgefährdeten Nutzflächen sowie ein vorausschauendes Vegetationsmanagement entlang von Straßen- und Schienenwegen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 5.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator VE-I-1: Wetter- und witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen[134]

5.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[135] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 18 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 18: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Hochwasserbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs	Hochwasserereignisse können sowohl den Straßen- als auch den Schienenverkehr beeinträchtigen. Überflutete Fahrbahnen und Gleise führen zu Verkehrsbehinderungen, Umleitungen oder temporären Sperrungen. Zudem können hohe Wasserstände Schäden an Brücken, Straßenoberflächen, Gleisanlagen – insbesondere durch Unterspülungen – oder auch an elektrischen Einrichtungen wie Signalen verursachen. Die Relevanz der Klimawirkung wird für Schleswig-Holstein vor dem Hintergrund vergleichsweise häufiger Hochwasserereignisse an den Fließgewässern und an der Küste als hoch eingeschätzt. Risikobereiche werden bei der Planung und der Ertüchtigung von Verkehrsinfrastrukturen bereits konsequent berücksichtigt. Dazu liegen unter anderem detaillierte Hochwassergefahren- und -risikokarten vor, die gefährdete Bereiche des Straßen- und Schienennetzes identifizieren. Die Karten berücksichtigen Überschreitungen definierter Hochwasserereignisse wie das HQ10, also Hochwasser mit einer statistischen Wiederkehrrate von 10 Jahren. Projektionen zur Überschreitung des HQ10 an Fließgewässern deuten auf keine signifikante Veränderung des Hochwasserrisikos bis zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts hin. Vor diesem Hintergrund werden die bestehenden Risikoanalysen als ausreichend erachtet. Es wird darauf hingewiesen, dass die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an Bundesautobahnen sowie an der Schieneninfrastruktur im Wesentlichen in Bundeszuständigkeit liegt.
Hitzebedingte Schäden an Straßen	Extreme Hitze und starke Temperaturschwankungen können zu Schäden an Straßen führen. Typische Auswirkungen sind Blowups – das plötzliche Heben von Betonplatten – sowie Risse und Verformungen, die die Fahrbahnstabilität beeinträchtigen. Solche Schäden entstehen vor allem durch die thermische Ausdehnung des Fahrbahnmaterials und infolge schneller Wechsel zwischen heißen und kalten Bedingungen. Eine höhere Belastung durch intensivere und länger andauernde Hitzeereignisse infolge des Klimawandels könnte zukünftig häufigere Kontrollen, Reparaturen und Sperrungen erforderlich machen, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten. Auch wenn keine flächendeckenden Daten zu hitzebedingten Schäden an der Straßeninfrastruktur vorliegen, ist davon auszugehen, dass in Schleswig-Holstein aufgrund der günstigen klimatischen Ausgangslage bisher noch keine hohe Betroffenheit besteht. Die Thematik könnte zukünftig aber an Bedeutung gewinnen. Mit der Verwendung hitzeresistenter Materialien und einer hitzeangepassten Gestaltung der Straßenoberflächen kann bereits heute potenziellen Schäden vorgebeugt werden.

[134] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt VE-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/_functions/TB_faktenblaetter/teaserbox_faktenblaetter?nn=2542ad21-1568-4e0c-b04e-894e95c9bb77

[135] Voß M., Kahlenborn W., Porst L., Dorsch L., Nilson E., Rudolph E., Lohrengel A.-F. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 4: Klimarisiken im Cluster Infrastruktur. Climate Change 23/2021. Dessau-Roßlau, 189 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-4-Cluster-Infrastruktur

Klimawirkung	Erläuterungen
Niedrigwasserbedingte Einschränkungen der Binnenschifffahrt	Niedrige Wasserstände infolge von Trockenheit und Hitzeperioden können die Schiffbarkeit von Binnenwasserstraßen beeinträchtigen. Sinkende Abflüsse führen zu einer Reduzierung des nutzbaren Tiefgangs, wodurch Schiffe ihre Ladung verringern oder Fahrtrouten anpassen müssen. In extremen Fällen können Streckenabschnitte zeitweise nicht befahrbar sein. Mit zukünftig häufigeren Niedrigwassersituationen steigen zudem die Anforderungen an die Wasserstraßeninfrastruktur, zum Beispiel hinsichtlich der Anpassung von Schleusen und Wehren, der Unterhaltung von Fahrrinnen oder der technischen Auslegung von Schiffen. In Schleswig-Holstein betrifft diese Klimawirkung insbesondere die Bundeswasserstraßen wie die Elbe und den Elbe-Lübeck-Kanal. Die Betrachtungen im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes auf Basis projizierter Zeitreihen täglicher Abflüsse ergaben keine Hinweise auf eine besondere Betroffenheit Schleswig-Holsteins. Zwar sind aufgrund der erwarteten Temperatur- und Niederschlagsentwicklungen vor allem im Sommer tendenziell rückläufige Abflüsse sowie eine Zunahme von Niedrigwasserereignissen wahrscheinlich, eine substanzielle Einschränkung der Schiffbarkeit ist für die überwiegend staugestützten großen Binnenschifffahrtsstraßen im Land jedoch nicht zu erwarten. Hinzu kommt, dass die Unterhaltung und das Management der Bundeswasserstraßen in der Zuständigkeit des Bundes liegen. Das Land Schleswig-Holstein hat diese Wasserstraßen betreffend nur eingeschränkte Möglichkeiten zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Relevante Beeinträchtigungen für Wasserstraßen in Landeszuständigkeit sind bisher nicht bekannt. Weitere Informationen zum Auftreten von Niedrigwasserereignissen in Schleswig-Holstein sind in der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft nachzulesen.
Hochwasserbedingte Einschränkungen der Binnenschifffahrt	Im Rahmen von Hochwasserereignissen kann es zu Beeinträchtigungen der Schiffbarkeit von Binnenschifffahrtsstraßen kommen, etwa durch erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten oder verringerte Durchfahrtshöhen unter Brücken. Im Unterschied zu niedrigwasserbedingten Beeinträchtigungen sind hochwasserbedingte Einschränkungen in der Regel von kurzer Dauer und lassen sich meist vergleichsweise gut überbrücken. Vereinzelt kann es in Schleswig-Holstein zu hochwasserbedingten Einschränkungen kommen, vor allem auf den stark befahrenen Bundeswasserstraßen mit hoher wirtschaftlicher Bedeutung wie der Elbe oder dem Elbe-Lübeck-Kanal. Eine Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen obliegt hier dem Bund.
Einschränkung der Schiffbarkeit von Seeschifffahrtsstraßen	Grundsätzlich können sich die klimatischen Veränderungen auf die Schiffbarkeit von Seeschifffahrtsstraßen auswirken. Für Schleswig-Holstein sind insbesondere ein Meeresspiegelanstieg in der Nordsee, veränderte Oberwasserzuflüsse aus dem Binnenland sowie mögliche Änderungen der Windverhältnisse über der Nord- und Ostsee relevant. Nach den Ergebnissen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes ist allerdings davon auszugehen, dass diese Veränderungen nur geringe Auswirkungen auf die Schiffbarkeit haben werden. Bei gleichbleibender Unterhaltungstiefe der Fahrwasser wird die Erreichbarkeit der Häfen voraussichtlich nicht wesentlich eingeschränkt. Ein Meeresspiegelanstieg kann allerdings zu einer verstärkten Flutstromdominanz und damit zu erhöhtem Sedimenttransport führen, was einen steigenden Unterhaltungsaufwand nach sich ziehen kann. Eine potenzielle Betroffenheit ergibt sich für den NOK: Hohe Wasserstände in Nord- und/oder Ostsee können die Entwässerung erschweren und in der Folge auch im Kanal zu kritischen Wasserständen führen. Diese Ereignisse treten bisher allerdings nur selten auf. Projektionen zum Auftreten von Starkregen, zum Sturmflutgeschehen und zu Starkwindereignissen, die zu erhöhten Wasserständen in den Seeschifffahrtsstraßen Schleswig-Holsteins führen können, sind unsicher. Belastbaren Erkenntnisse für eine Risikoabschätzung lassen sich daraus bisher nicht ableiten. Insgesamt wird die Relevanz der Klimawirkung als nachgeordnet beurteilt. Zudem liegen wie auch bei den anderen Klimawirkungen die Schifffahrt betreffend die Zuständigkeiten im Wesentlichen beim Bund.

Klimawirkung	Erläuterungen
Schäden an Schifffahrtsstraßen sowie Hafenanlagen	Schifffahrtsstraßen und Hafenanlagen sind potenziell von klimabedingten Extremereignissen betroffen. Insbesondere Sturmfluten, Küsten- und Flusshochwasser sowie starke Stürme können Schäden an Kaianlagen, Containerterminals oder anderen maritimen Infrastrukturen verursachen. Für die betroffenen Häfen und Unternehmen können derartige Ereignisse weitreichende wirtschaftliche Auswirkungen nach sich ziehen. In Schleswig-Holstein ist die Betroffenheit aufgrund der geografischen Lage an Nord- und Ostsee sowie aufgrund der Lage von Häfen in niedrigliegenden Bereichen grundsätzlich gegeben. Die bisherigen Schadensereignisse waren jedoch überwiegend lokal begrenzt. Beispiele dafür sind die Schäden an kommunalen, privaten und Sportboothäfen infolge des Ostseesturmhochwassers 2023. Infolge des Klimawandels könnte es zukünftig zu einer Zunahme von Extremereignissen kommen, die zu Schäden an Schifffahrtsstraßen und Hafenanlagen führen können. Die Projektionen sind allerdings unsicher und eindeutige Aussagen für eine belastbare Risikoabschätzung nicht möglich.
Schäden an der Eisenbahninfrastruktur	Das oberirdische Schienennetz in Schleswig-Holstein sowie die zugehörige Energieinfrastruktur für den Betrieb des Schienenverkehrs sind permanent den Einflüssen von Wetter und Witterung ausgesetzt. Insbesondere Hitze, Trockenheit, Stürme und Gewitter können zu Schäden und Beeinträchtigungen führen, darunter Gleisverwerfungen, beschädigte Oberleitungen oder umgestürzte Bäume. Diese Ereignisse wirken sich unmittelbar auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Schienenverkehrs aus. Infolge des fortschreitenden Klimawandels ist mit einer zunehmenden Betroffenheit und einem steigenden Risiko für den Schienenverkehr zu rechnen. Besonders hochwasser- und windbedingte Ereignisse werden als relevant eingeschätzt. Die vorhandene Datenlage zur Analyse von klimabedingten Schäden im Schienenverkehr ist eingeschränkt. Hinzu kommt, dass der Großteil des Schienennetzes in Schleswig-Holstein zur Deutschen Bahn gehört und damit in der Zuständigkeit des Eisenbahnbundesamts liegt. Viele Schutz- und Anpassungsmaßnahmen werden bereits im Rahmen bestehender Regelwerke umgesetzt. Von Landesseite sind die Handlungsmöglichkeiten das übergeordnete Schienennetz betreffend eingeschränkt. Ausgewählte Aspekte zu windbedingten Einschränkungen des Schienenverkehrs sind in der Klimawirkung „Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs“ enthalten.

5.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur liegt vor allem im wirtschaftlichen Bereich (siehe Tabelle 19). Hohe Bedeutung wurde vor allem wind- oder hochwasserbedingten Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs zugeschrieben. Hochwasserbedingte Einschränkungen des Straßenverkehrs können lokal auch sehr bedeutend sein, insbesondere dort, wo Autobahnen in Niederungsgebieten liegen. Jedoch sind hochwasserbedingte Einschränkungen des Verkehrs in der Regel vorhersehbar, sodass Verkehrsteilnehmende ausweichen können.

Zu beiden hochbedeutenden Klimawirkungen, den wind- und den hochwasserbedingten Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs, sehen die Fachleute Handlungsbedarf in den kommenden Jahren (siehe Tabelle 20). Hinsichtlich windbedingter Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs liegen diese nach Einschätzung der beteiligten Fachpersonen insbesondere in einer Fortführung der Bund-Länder-Gespräche zu diesem Thema, aber auch im Monitoring besonders windanfälliger Brücken und Streckenabschnitte. Das Land sollte zudem seinen Einfluss nutzen, damit Infrastrukturbetreiber ein sinnvolles Vegetationsmanagement entlang der Strecken betreiben und der Bund Frühwarn- und Sperrkonzepte für anfällige Fahrzeuge weiterentwickelt.

Tabelle 19: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

Klimawirkung	Bedeutung (schriftliche Bewertung)			Begründung	Ergebnis des Workshops
	sozial	ökologisch	wirtschaftlich		
Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs	gering	gering	hoch	-*	-**
Hochwasserbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs	gering	gering	hoch	-	lokal sehr hohe soziale Bedeutung (1 Votum), in der Gesamtschau aber geringe soziale Bedeutung, weil nur lokal von Bedeutung (z. B. Autobahnen in Niederungsgebieten) und Reaktionen zur Verkehrsführung möglich lokal sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung (1 Votum)
Schäden an Schifffahrtsstraßen sowie Hafenanlagen	gering	gering	gering	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 20: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?"

Klimawirkung	Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)	Begründung	Ergebnis des Workshops
Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs	ja	Fortführung der Bund-Länder-Gespräche, Aufforderung an die Infrastrukturbetreiber zum Vegetationscontrolling (Rückschnitt etc.), Monitoring besonders windanfälliger Brücken und Streckenabschnitte, Weiterentwicklung von Frühwarn- und Sperrkonzepten für Lkw und hohe Fahrzeuge bei Sturm (Zuständigkeit des Bundes)	-**
Hochwasserbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs	ja	Identifikation hochwassergefährdeter Straßenabschnitte und Brücken (auf Bundesebene ist man in der Hinsicht schon tätig, Schleswig-Holstein unterstützt)	-
Schäden an Schifffahrtsstraßen sowie Hafenanlagen	nein	-*	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

5.4 Klimawirkung „Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs“

5.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Verkehrsinfrastrukturen bilden die Grundlage für Mobilität und Warentransport. In modernen Gesellschaften kommt der Funktionsfähigkeit des Verkehrsnetzes deshalb eine hohe soziale und ökonomische Bedeutung zu. Schleswig-Holstein nimmt eine Schlüsselrolle ein: Die zentralen Verkehrsachsen des Landes sind wichtige Bindeglieder zwischen Mitteleuropa und Skandinavien sowie zwischen Nord- und Ostsee. Die Funktions- und Leistungsfähigkeit des schleswig-holsteinischen Verkehrsnetzes sind daher nicht nur für den lokalen, sondern insbesondere auch für den überregionalen sowie internationalen Straßen- und Schienenverkehr entscheidend. Oberirdische Verkehrsinfrastrukturen sind dauerhaft den Einflüssen von Wetter und Witterung ausgesetzt. So können unter anderem starke Winde die Nutzbarkeit der Verkehrswege und die Verkehrssicherheit einschränken. Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses sowie Schäden an der Infrastruktur entstehen dabei sowohl direkt durch den Wind als auch indirekt infolge windbedingter Erosionsereignisse mit Staub- oder Sandverwehungen sowie durch Baum- und Astbruch.

5.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

5.4.2.1 Klimasignale

Das Auftreten und die Schwere windbedingter Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs sowie der Verkehrssicherheit hängen vor allem vom Windgeschehen ab. Hochrelevant sind die auftretenden **Windgeschwindigkeiten.** Sie bestimmen beispielsweise direkt die Intensität von Seitenkräften auf Fahrzeuge. Besonders bei hohen Fahrzeugen oder großen Angriffsflächen – etwa bei Lkw, Bussen, Wohnmobilen sowie Zügen auf Dämmen, Brücken oder in freier Lage – können starke Winde und Böen die Fahrstabilität beeinträchtigen, die Spurhaltung erschweren oder im Extremfall zu Umsturzgefahr führen. Zum anderen kann es vor allem bei hohen Windgeschwindigkeiten zur Verschlechterung der Sicht- und Fahrbahnverhältnisse kommen, wenn lose Materialien aufgewirbelt und auf Verkehrsflächen sowie Gleise verlagert werden. Mit höheren Windgeschwindigkeiten steigt zudem das Risiko für Baumstürze, die vor allem im schienengebundenen Verkehr immer wieder zu Unterbrechungen des Betriebs führen.

Schleswig-Holstein zählt zu den windreichsten Bundesländern. Die maritime Lage zwischen Nord- und Ostsee begünstigt das Auftreten höherer Windgeschwindigkeiten: Über den Meeresflächen können sich Luftströmungen nahezu reibungsfrei entwickeln und aufgrund des überwiegend flachen Reliefs sowie der offenen Landschaften vor allem in den nördlichen Landesteilen auch ohne starke Abschwächung ins Binnenland bewegen. Die in der Klimaanalyse[136] (siehe dort Abbildung 21) präsentierten Rasterdaten des DWD zeigen die räumliche Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeiten in Schleswig-Holstein in 10 m Höhe (1981–2000). Es wird deutlich, dass die höchsten Windgeschwindigkeitsmittel entlang der Nordseeküste und im Norden Schleswig-Holsteins auftreten. Nach Süden und Südosten hin nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit ab. Diese räumliche Gliederung bestätigen auch die langjährigen Windmessungen des DWD an acht ausgewählten Windmessstationen in Schleswig-Holstein (siehe Klimaanalyse, Abbildung 22). Die Zeitreihen zeigen schwankende Verläufe der Windgeschwindigkeiten zwischen den Jahren, deuten aber für den Zeitraum 1951 bis 2023 insgesamt eher auf sinkende Windgeschwindigkeiten hin. Für ausgewählte Stationen ist dieser Trend signifikant. Auch im Klimareport 2023[137] des DWD wird darauf hingewiesen, dass die mittlere geostrophische Windgeschwindigkeit, die auf Luftdruckdifferenzen beruht und eng mit dem tatsächlichen Windgeschehen gekoppelt ist, sowie die Zahl der Sturmtage an der Nordseeküste und im Binnenland an einzelnen Stationen eher abnimmt. Auch bei Betrachtung der mittleren Windspitze, das heißt des Mittels der höchsten täglichen Windgeschwindigkeiten eines Jahres (siehe Abbildung 23 in der Klimaanalyse), an einzelnen Windmessstationen wird deutlich: Die größten Windstärken treten in Küstennähe und in den nördlichen Landesteilen auf. Windmessungen sind allerdings grundsätzlich aufgrund der Abhängigkeit von der Topografie und der Beschaffenheit

[136] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[137] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 36f. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

der Landoberfläche nur für das direkte Umfeld eines Messstandorts repräsentativ und mit Blick auf größere geographische Räume nur eingeschränkt interpretierbar.

Neben dem Wind als auslösendes Klimasignal werden das Auftreten und die Schwere windbedingter Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs auch durch die Niederschlags- und Feuchteverhältnisse, vor allem durch die Andauer von Trockenphasen, bestimmt. Anhaltende **Trockenheit** erhöht die Bodenerodierbarkeit der an Verkehrswege angrenzenden Flächen. In Verbindung mit Wind kann es dadurch leichter zu Staubverwehungen mit Sichtbehinderungen und Überdeckungen von Fahrbahnen kommen. In Schleswig-Holstein treten lang andauernde Trockenperioden selten auf, da bedingt durch den Einfluss von Nord- und Ostsee das ganze Jahr niederschlagsreich ist. Die Niederschlagssummen haben in den letzten Jahren eher zugenommen. Kritisch bleiben insbesondere die Frühjahrs- und Wintermonate, da in dieser Zeit vor allem die landwirtschaftlich genutzten Böden nur unzureichend vegetationsbedeckt sind und Bodenbewirtschaftungsgänge stattfinden, bei denen es zu Staub- und Sandaufwirbelungen kommen kann, die dann mit dem Wind auf angrenzende Verkehrsflächen verfrachtet werden können. Vor allem mit Blick auf diese potenziellen Staubverwehungen von angrenzenden Flächen ist auch die Windrichtung relevant. Das Risiko ist am höchsten bei trockenen Ostwinden, die zu einer raschen Austrocknung der Bodenoberfläche führen und bei entsprechend hohen Windgeschwindigkeiten Bodenabtrag verursachen. Im Mittel des Zeitraums 1975–2000 kamen 25,8 % aller Winde aus östlichen Richtungen, 20,9 % der Winde erreichten erosive Windgeschwindigkeiten.[138] Ausführliche Informationen und weitere Daten zur Entwicklung der windbedingten Bodenerosion in Schleswig-Holstein sind in der Klimarisikoanalyse zur Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind" im Handlungsfeld Boden nachzulesen (siehe Seite 102). Trockenheit ist auch deshalb ein Problem, da sie auf Dauer das Wurzelwerk von Bäumen schädigen und einen Schädlingsbefall begünstigen kann. Die reduzierte Vitalität macht die Bäume anfälliger für Windwurf. Umstürzende Bäume führen nicht nur zu Blockaden von Straßen und Schienenwegen, sondern können auch die Infrastruktur, vor allem Signale und elektrische Oberleitungen, beschädigen.

5.4.2.2 Exposition

Windbedingte Einschränkungen können grundsätzlich alle Abschnitte des **Straßen- und Schienennetzes** in Schleswig-Holstein betreffen. Karten zur räumlichen Darstellung der Verkehrsinfrastruktur sind im Digitalen Atlas Nord[139] abrufbar. Das dichte Straßennetz des Landes hat mit Stand Januar 2025 eine Gesamtlänge von 9.875 km. Davon entfallen etwa 80 % auf Landes- und Kreisstraßen, 20 % machen Bundesstraßen und Autobahnen aus.[140] Das öffentliche Eisenbahnnetz umfasst rund 1.351 km.[141] Es wird von unterschiedlichen Eisenbahnunternehmen für den Personenfern- und -nahverkehr sowie für den Schienengüterverkehr genutzt. Über 1.100 km sind Teil des Netzes der Deutschen Bahn und liegen damit in der Zuständigkeit des Bundes.[142] Die restliche Schieneninfrastruktur entfällt auf private Eigentümer und regionale Eisenbahnverkehrsunternehmen in der Zuständigkeit des Landes Schleswig-Holsteins, darunter die AKN Eisenbahn GmbH.

5.4.2.3 Sensitivität

Neben den klimatischen Einflüssen werden windbedingte Beeinträchtigungen des Straßen- und Schienenverkehrs durch die **Topografie** und **Landbedeckung**, beispielsweise durch das Vorhandensein von Landschaftselementen als Windhindernisse, sowie durch die **natürlichen Standortbedingungen** der angrenzenden Flächen, zum Beispiel die Bodenart, beeinflusst. Im Falle des Straßenverkehrsnetzes gelten diejenigen Abschnitte als besonders sensitiv, die Regionen mit hoher Winderosionsgefährdung durchqueren. Das sind in Schleswig-Holstein vor allem die Geestlandschaften, aber auch der westliche Rand des Östlichen Hügellandes. Hier bestehen die Oberböden aus feinsandreichen und / oder schluffigen Sanden, die der Wind besonders leicht verlagern kann. Durch diese Landschaften verlaufen wichtige Verkehrsachsen wie die A7 und A23.[143] Abbildung 16 zeigt die Abschnitte des schleswig-holsteinischen Straßenverkehrsnetzes, die innerhalb von Bereichen mit mindestens geringer Erosionsgefährdung durch Wind liegen. Das betrifft rund 45 % der Autobahnen, etwa

[138] LLUR – Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) 2011: Winderosion in Schleswig-Holstein – Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Flintbek.

[139] Digitaler Atlas Nord: digitale Kartenansichten der Verkehrsnetze in Schleswig-Holstein. https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/appuebersicht/index.html?lang=de

[140] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Straßen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/S/strassen/strassennetz

[141] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Bus und Bahn (ÖPNV). Ausbauprojekte Schiene. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/bus-bahn/ausbauprojekte_Schiene

[142] DB – Deutsche Bahn AG (Hrsg.) 2017: Faktenblatt. Die Deutsche Bahn in Schleswig-Holstein. https://www.deutschebahn.com/resource/blob/1172596/3ce7e8209ff3d57cc4d20dca31408ca5/L%C3%A4ndersteckbrief--Schleswig-Holstein-data.pdf

[143] LLUR (Hrsg.) 2022: Informationen zu Verkehrsgefährdungen durch Sand- und Staubverwehungen in Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/Downloads/berichtVerkehrsgefaehrdungen.pdf

35 % der Bundesstraßen, 44 % der Landesstraßen sowie rund 42 % der Kreisstraßen. Abschnitte in Bereichen mit hoher und sehr hoher Erosionsgefährdung konzentrieren sich auf die Schleswigsche Geest. Der Anteil der Straßenabschnitte in diesen beiden Gefährdungskategorien am gesamten Straßennetz Schleswig-Holsteins beträgt knapp 10 %. Die Karte beruht auf Daten zur potenziellen Erosionsgefährdung des Bodens durch Wind nach DIN 19706 auf der Grundlage von Informationen zur Oberbodenart, den Windverhältnissen und den Windhindernissen.[144]

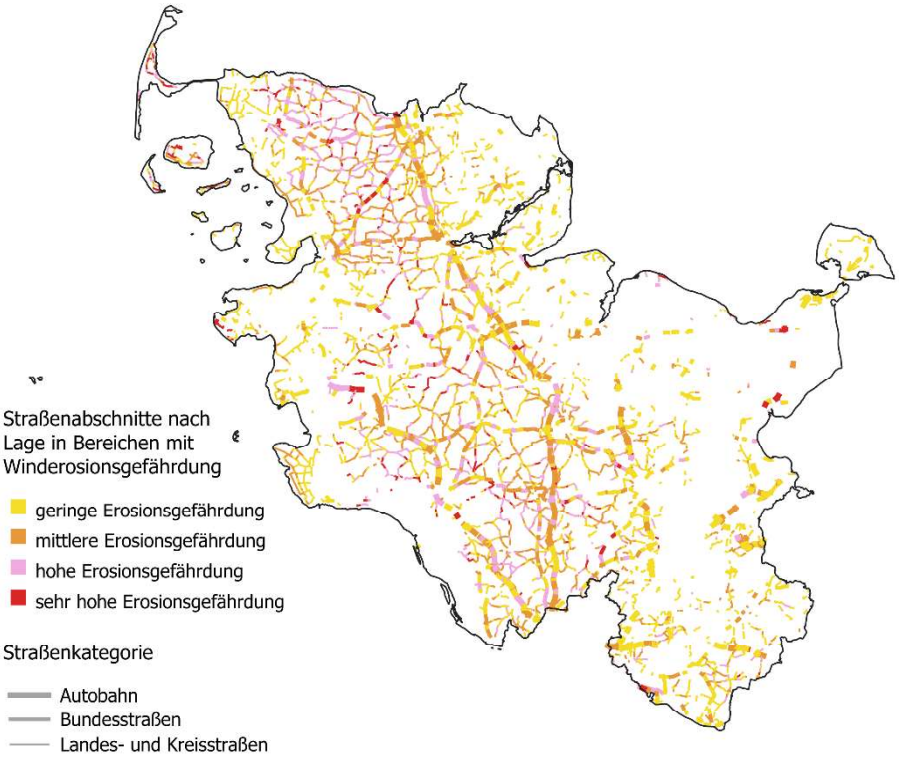


Abbildung 16: Abschnitte des Straßenverkehrsnetzes in Schleswig-Holstein in Bereichen mit Bodenerosionsgefährdung durch Wind

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2024
Fachdaten: LfU-SH (Gebietskulisse Erosionsgefährdung), LBV-SH (Straßenverkehrsnetz)
Auswertung: Bosch und Partner GmbH

Vor allem mit Blick auf den Straßenverkehr stellen auch Großbrücken, die quer zur Hauptwindrichtung zum Beispiel über Täler oder Fließgewässer führen, besonders sensitive Abschnitte des Verkehrsnetzes dar. In solchen exponierten Lagen besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von starken Seitenwinden oder Windböen, die vor allem hohe Fahrzeuge mit großer Windangriffsfläche destabilisieren können.[145] Gleichzeitig beanspruchen heftige Winde auch die Brückenbauwerke selbst und können sich negativ auf die Stabilität von Brückenfahrbahnen auswirken.[146] In der Verantwortlichkeit des Landesbetriebs Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein befinden sich rund 1.700 Straßenbrücken, allerdings ist nur für einen kleinen Teil dieser Brücken aufgrund ihrer Größe und Exposition von einer besonderen Sensitivität auszugehen. Von einer höheren Betroffenheit ist beispielsweise bei den Brücken über den Nord-Ostsee-Kanal auszugehen. Zur Vermeidung von windbedingten Beeinträchtigungen werden Brücken zum Teil mit Windschutzwänden ausgestattet.

Auch weite Teile des Schienennetzes in Schleswig-Holstein führen durch Bereiche mit Winderosionsgefährdung. Staubverwehungen und die damit verbundenen Ablagerungen auf Gleisen oder Sichtbehinderungen stellen für den Schienenverkehr allerdings seltener ein Problem dar. Die Sensitivität des Schienennetzes ist stattdessen dort besonders hoch, wo Trassen durch Wald führen beziehungsweise von Bäumen gesäumt sind und das Risiko für Baumstürze erhöht ist. Umgestürzte

[144] Umweltportal Schleswig-Holstein 2025: Bodengefährdung - Winderosionsgefährdung nach DIN 19706. https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuid=73f57fb5-9c85-4bb5-a8ea-aca679325230

[145] BMVI-Expertennetzwerk 2020: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen. Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

[146] van Genuchten, E. 2024: Wie der Klimawandel die Sicherheit von Brücken beeinflusst. In: Der Weg zu einem gesünderen Planeten. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-58961-4_4

Bäume und herabfallende Äste zählen zu den häufigsten Ursachen für Blockaden von Schienenwegen und von Beschädigungen an Signalanlagen oder Oberleitungen.[147] Gemäß einer Analyse des Expertennetzwerks des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) führen in Schleswig-Holstein vor allem Streckenabschnitte südlich und östlich von Neumünster sowie die Strecken Flensburg–Kiel, Kiel–Lübeck und Hamburg–Lübeck durch waldreiches Gebiet. Für die letztere Relation ergibt sich aufgrund der Elektrifizierung eine besonders hohe Sensitivität.[148] Wie für den Straßenverkehr stellen auch für die Eisenbahn hohe Brücken besonders sensitive Abschnitte dar. Dazu gehört in Schleswig-Holstein unter anderem die Hochbrücke Hochdonn. An diesen kritischen Punkten im Schienennetz treten häufiger hohe Windgeschwindigkeiten auf und können zu Schäden an der Infrastruktur auf der Brücke, beispielsweise Oberleitungen und Masten, führen sowie die Fahrstabilität der querenden Züge beeinträchtigen.

Mit Blick auf die Schwere der Auswirkungen windbedingter Beeinträchtigungen der Verkehrsinfrastruktur kommt der **Auslastung** der betroffenen Streckenabschnitte eine zentrale Rolle zu. Je mehr Personen auf die Nutzung der jeweiligen Straßen- oder Schienenverbindung angewiesen sind, desto stärker fallen Einschränkungen in der Nutzung ins Gewicht. Die höchsten Verkehrsmengen auf der Straße treten auf den Bundesautobahnen auf, insbesondere auf der A7 zwischen Hamburg und Neumünster und auf der A1 zwischen Hamburg und Lübeck.[149] Landes- und Kreisstraßen sind weniger stark befahren. Zudem bietet sich hier meist größere Flexibilität zur Einrichtung von Umleitungen. Bestimmten Strecken kommt zudem eine besondere **funktionale Bedeutung** zu, zum Beispiel, wenn diese für die Erschließung eines wichtigen Wirtschaftsstandorts oder für den touristischen Reiseverkehr relevant sind. Letzterer konzentriert sich in Schleswig-Holstein neben den Autobahnen vor allem in den Sommermonaten auch auf die Küstenbereiche und Inseln.

5.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

5.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs werden nicht separat erfasst. Allerdings sind Daten zu Beeinträchtigungen im Straßenverkehr, die durch Wind verursacht wurden, im Indikator VE-I-1 des Klimafolgenmonitorings[150] berücksichtigt. Dieser Indikator stellt den gesamten Arbeitszeitaufwand des Straßenbetriebsdienstes dar, der infolge von außergewöhnlichen Witterungsereignissen, darunter auch starker Sturm und Orkan, anfällt. Die berücksichtigten Aufwendungen umfassen seit dem Jahr 2021 beispielsweise Straßensperrungen, Aufräum- und Reinigungsarbeiten, Bankettsanierungen, Grabenräumungen und die Begutachtung der Standsicherheit von Bäumen entlang von Straßen. In den Jahren zuvor beschränkte sich die Leistungsposition auf verkehrsregelnde Maßnahmen bei den genannten Ereignissen. Alle Hintergrundinformationen zum Indikator und seiner Berechnung sind dem Faktenblatt zu entnehmen. Hohe Aufwendungen für die Beseitigung wetter- und witterungsbedingter Beeinträchtigungen von Straßen traten insbesondere im sturmreichen Jahr 2013 auf. Seit der Umstellung der Leistungsposition im Jahr 2021 liegen die Zahlen grundsätzlich höher und sind nicht direkt mit den Werten aus den Vorjahren vergleichbar. Den Schienenverkehr betreffend liegen Daten zum Störungsgeschehen unter anderem aufgrund von windbedingten Baumstürzen bei der Deutschen Bahn vor. Diese Daten sind allerdings nicht öffentlich zugänglich. Berichten zufolge ist aber über die letzten Jahre eine Zunahme wetter- und witterungsbedingter Beeinträchtigungen im Schienenverkehr unter anderem durch Wind zu beobachten.[151]

5.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) hat im Rahmen einer umfassenden Analyse im Jahr 2022 alle Autobahnen und vierspurigen Straßen Schleswig-Holsteins auf potenziell winderosionsgefährdete Abschnitte hin untersucht.[152] Dabei wurden räumliche Daten zu Bodentypen, Windverhältnissen, Windhindernissen und zur

[147] Palin, E. J., Stipanović Oslaković, I., Gavin, K., Quinn, A. 2021: Implications of climate change for railway infrastructure. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 12, 4, e728. https://doi.org/10.1002/wcc.728

[148] Bott, F., Lohrengel, A.-F., Forbriger, M., Haller, M., Ganske, A., Herrmann, C., & Jensen, C. 2020: Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrssystems im Kontext von Stürmen: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Sturmgefahren (SP-104) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. https://doi.org/10.5675/ExpNBF2020.2020.05

[149] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Verkehrsmengenkarte 2015.
https://schleswig-holstein.de/mm/downloads/LBVSH/Aufgaben/Strassenbau/verkehrsmengenkarte2015.pdf

[150] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt VE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wetter_strassen.pdf

[151] T-online 2025: Bahn kämpft immer häufiger mit umgestürzten Bäumen. https://www.t-online.de/nachrichten/deutschland/innenpolitik/id_100337752/deutsche-bahn-baeume-stoeren-den-bahnverkehr-immer-haeufiger.html

[152] LLUR 2022, s. Fußnote 143

Landnutzung entlang der Verkehrswege ausgewertet und zusätzlich vor Ort validiert. Als besonders gefährdet gelten Abschnitte in Windkorridoren, wo erosionsanfällige, ungeschützte Sandböden in Hauptwindrichtung direkt an Straßen grenzen und keine ausreichenden Windhindernisse vorhanden sind. Im Ergebnis der Studie konnten landesweit elf Risikoschwerpunkte identifiziert werden, insbesondere entlang der A7 im Raum Neumünster sowie an der A23 bei Schenefeld. Die räumliche Verortung der Risikoschwerpunkte ist in Abbildung 17 dargestellt. Für das Schienennetz liegen keine vergleichbaren Risikoanalysen auf Landesebene vor.

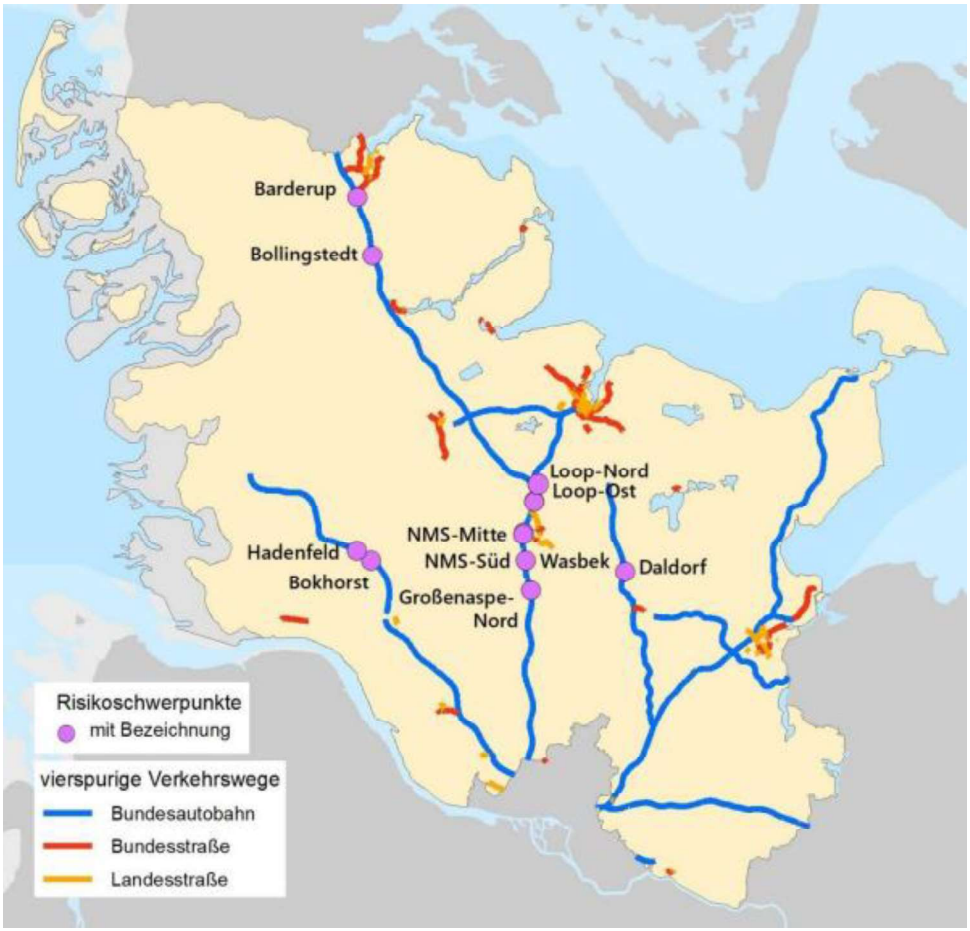


Abbildung 17: Risikoschwerpunkte für Winderosion entlang von vierspurigen Straßen in Schleswig-Holstein (Quelle: LLUR - Verkehrsgefährdungen durch Sand- und Staubverwehungen[153])

Infolge des fortschreitenden Klimawandels könnte sich das Risiko für windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs zukünftig erhöhen. Eine Veränderung des Windgeschehens wird dabei allerdings nicht maßgebend sein: Gemäß aktueller Klimaprojektionen wird die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Schleswig-Holstein bis zum Ende des Jahrhunderts eher abnehmen.[154] Windprojektionen sind allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass heftigere Stürme mit kurzfristig hohen Windgeschwindigkeiten häufiger auftreten. Eine Zunahme des Risikos ist vor allem aufgrund der Entwicklung von Lufttemperatur und Niederschlag anzunehmen. Für Schleswig-Holstein zeigen Klimaprojektionen eine Zunahme von Heißen Tagen bis zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Für die Niederschlagsmengen und die Anzahl und Dauer von Trockenperioden sind die projizierten Entwicklungen uneindeutig (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 27 und 29). Je nach Emissionsszenario könnte es aber auch bei diesen Klimasignalen zu einer Zunahme kommen. Damit könnte eine höhere Bodenerosion durch Wind und eine sinkende Vitalität von Bäumen verknüpft sein. Vor allem in den ausgewiesenen Risikoschwerpunkten und entlang von Straßenabschnitten in Gebieten mit potenzieller Bodenerosion durch Wind wächst damit das Erfordernis, mit der Umsetzung von geeigneten Maßnahmen möglichen Beeinträchtigungen des Straßen- und Schienenverkehrs entgegenzuwirken. An Straßen gehören dazu beispielsweise die Einbringung von Windhindernissen, die Anpassung der Flächenbewirtschaftung und die Erhöhung der Strukturvielfalt auf den angrenzenden Flächen sowie die Installation von dynamischen Warnsystemen. Entlang von Schienenwegen verbessert ein optimiertes Vegetationsmanagement mit

[153] LLUR 2022, s. Fußnote 143: S. 7

[154] GERICS – Climate Service Center Germany (Hrsg.) 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

regelmäßigen Baumkontrollen und Entfernung gefährdeter Bäume die Verkehrssicherheit. Da sich der Großteil der Schieneninfrastruktur und der elektrischen Einrichtungen zum Betrieb im Eigentum der Deutschen Bahn befindet und damit in Bundesverantwortung liegt, stehen dem Land Schleswig-Holstein mit Blick auf die Anpassung von Eisenbahnstrecken und -infrastruktur nur stark eingeschränkte Handlungsoptionen zur Verfügung. Betroffenheiten und Bedarfe zur Steigerung der Resilienz des Schienennetzes gegenüber windbedingten Beeinträchtigungen sollen deshalb weiterhin Gegenstand des etablierten Bund-Länder-Austauschs sein.

6 Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz

6.1 Relevanz des Handlungsfelds

Die biologische Vielfalt ist eine existenzielle Grundlage für stabile Ökosysteme und die menschliche Lebensqualität. Sie gewährleistet wesentliche Ökosystemleistungen wie die Bereitstellung von sauberem Wasser und frischer Luft, die Aufrechterhaltung funktionierender Nährstoffkreisläufe, die Regulierung des Klimas sowie die Bereitstellung fruchtbarer Böden. Diese Leistungen sind nicht nur ökologisch bedeutsam, sondern auch ökonomisch und gesellschaftlich. Sie sichern natürliche Ressourcen, ermöglichen vielfältige Nutzungen der Natur und stärken die Resilienz gegenüber Störungen. Schleswig-Holstein zeichnet sich durch eine große landschaftliche und ökosystemare Vielfalt aus. Neben facettenreichen Küstenlebensräumen an der Nord- und Ostsee verfügt das Land über ein weit verzweigtes Fließgewässernetz, eine große Zahl an Seen und Teichen, verschiedene Moorlebensräume und Feuchtgebiete sowie ausgedehnte Marsch- und Waldlandschaften. Diese Vielfalt an Lebensräumen schafft Nischen für eine große Anzahl unterschiedlicher Arten. So bietet das Land mehr als der Hälfte aller in Deutschland beheimateten Arten einen geeigneten Lebensraum.[155] Die landschaftliche Vielfalt prägt auch das Naturerleben sowie die Kulturlandschaft und ist damit auch Grundlage für viele regionale Wirtschafts-, Tourismus- und Erholungsfunktionen.

Durch historische Landnutzungsänderungen, Zerschneidung von Lebensräumen und intensive Nutzung geraten Arten und Lebensräume zunehmend unter Druck. Inzwischen sind rund 50 % der Tier- und Pflanzenarten Schleswig-Holsteins in den Roten Listen der gefährdeten Arten aufgeführt.[156] In Ergänzung zu diesen anthropogen bedingten Beeinträchtigungen entstehen mit dem fortschreitenden Klimawandel Herausforderungen für die biologische Vielfalt und die natürlichen Ökosysteme. Bereits aufgrund von anthropogenen Eingriffen degradierte Lebensräume sind besonders anfällig gegenüber klimatischen Belastungen. Die Veränderung von Temperatur- und Niederschlagsmustern, häufigere Extremwetterereignisse, der steigende Meeresspiegel und die Veränderung von chemischen oder physikalischen Gewässereigenschaften wirken sich unmittelbar auf Lebensräume und Arten aus. Zugleich kann der Klimawandel infolge der Veränderung klimatischer Rahmenbedingungen zu phänologischen Veränderungen, zu Arealverschiebungen von Arten oder der Ausbreitung gebietsfremder Organismen beitragen. Diese Auswirkungen betreffen einzelne Arten, ganze Populationen bis hin zu komplexen Artgemeinschaften und können langfristig zu einem Verlust genetischer Vielfalt, zu einer Schwächung von Ökosystemfunktionen und einer Reduktion der Fähigkeit natürlicher Systeme führen, natürliche Dienstleistungen für Gesellschaft und Wirtschaft zu erbringen.

Die Erhaltung und Entwicklung der biologischen Vielfalt haben in Schleswig-Holstein angesichts der multiplen Belastungen eine hohe Priorität. Die Landesregierung hat mit der Biodiversitätsstrategie „KURS NATUR 2030“[157] die Weichen für eine strategische, wirksame und nachhaltige Umsetzung von Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt gestellt. Dazu gehören unter anderem die Ausweisung oder Erweiterung von Naturschutzgebieten und der gezielte Schutz seltener und gefährdeter Arten, aber auch die Entwicklung von Umweltbildungsangeboten sowie die Vernetzung von Akteurinnen und Akteuren, um ein breites gesellschaftliches Bewusstsein für die Bedeutung der biologischen Vielfalt zu schaffen. Ziele sind unter anderem, bis 2030 den Arten und Lebensräume vor weiteren Verlusten zu bewahren, die genetische Vielfalt zu sichern und die natürlichen Ressourcen effizient zu schützen – auch vor dem Hintergrund der wachsenden Herausforderungen infolge des Klimawandels.

[155] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Netzwerk Natur. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/umwelt-naturschutz/biodiversitaetsstrategie/Netzwerke/Netzwerk_Natur

[156] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Biodiversitätsstrategie. Warum ist Biodiversität für uns alle wichtig? https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/umwelt-naturschutz/biodiversitaetsstrategie

[157] MELUND 2021: KURS NATUR 2030: Strategie zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Schleswig-Holstein (Langfassung). https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/Fachinhalte/Biodiversitaet/20211216_KursNaturLangfassung.pdf

6.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

6.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland

Wassergebundene Habitate und Feuchtgebiete wie Moore, Auen, Sümpfe und Feuchtwiesen sind ökologisch von hoher Bedeutung. Sie bieten unter anderem spezialisierten und gefährdeten Tier- und Pflanzenarten Lebensraum, regulieren den Wasser- und Stoffhaushalt, speichern Kohlenstoff in organischen Böden und tragen so zum Klimaschutz bei. Gleichzeitig sind diese Ökosysteme besonders empfindlich gegenüber klimatischen Veränderungen. Je nach den spezifischen Rahmenbedingungen vor Ort können schon kleine Veränderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime oder der Verdunstung zu Störungen des sensiblen hydrologischen Gleichgewichts führen. Besonders die in Schleswig-Holstein vergleichsweise noch häufig und zusammenhängend vorkommenden Hoch- und Niedermoore sind auf stabile Wasserstände über das Jahr hinweg angewiesen.

Viele Feuchtgebiete und Moore in Schleswig-Holstein sind durch jahrzehntelange anthropogene Eingriffe vorbelastet. Historische Entwässerungen durch die Landwirtschaft und für die Torfgewinnung haben viele Flächen degradiert und ihre Sensitivität gegenüber den klimatischen Veränderungen zusätzlich verstärkt. Problematisch für die Moorflächen und Feuchtgebiete in Schleswig-Holstein sind nun vor allem Veränderungen der innerjährlichen Niederschlagsverteilung, saisonale Temperaturspitzen sowie die Dauer von Trockenperioden: Längere niederschlagsarme Phasen im Frühling und Sommer bei temperaturbedingt hoher Verdunstung können selbst in Regionen mit insgesamt ausreichendem Jahresniederschlag zu kurzfristig kritischen Wasserdefiziten führen. Beobachtungen der vergangenen Jahrzehnte an ausgewählten Moorstandorten in Schleswig-Holstein zeigen, dass sich die Ausprägung der Lebensräume mit ihrer gekoppelten Artenausstattung verändert hat. Diese Veränderungen gehen neben den anthropogenen Eingriffen auch auf klimatische Einflüsse wie Veränderungen der Niederschlagsmuster und der Temperatur zurück, die sich auf Wasserstände und die ökologische Stabilität der Feuchtgebiete auswirken.

Analysen zu konkreten Schäden oder Beeinträchtigungen an wassergebundenen Habitaten sind grundsätzlich nur standortbezogen möglich, da lokal ausgeprägte Faktoren wie anthropogene Vorbelastungen, Entwässerungsgrad, Grundwasseranbindung und Vegetation die Sensitivität und Resilienz beeinflussen. Die übergreifende, aber dadurch stark verallgemeinernde Klimarisikoanalyse für Schleswig-Holstein stützt sich vereinfachend auf die Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz (KWB). Der Parameter beschreibt die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung über das Jahr hinweg und dient als Indikator dafür, ob ein Gebiet tendenziell Wasserüberschüsse oder Wasserdefizite aufweist. Derzeit gibt es in Schleswig-Holstein nahezu keine Gebiete mit über das Jahr gemitteltem Wasserdefizit. Projektionen zeigen, dass die Wasserverfügbarkeit bis zur Mitte des Jahrhunderts unter Annahme des RCP8.5-Szenarios im Großteil des Landes geringfügig abnehmen könnte. Trotz dieser möglichen Abnahme würden sich nur in den südlichen und südöstlichen Landesteilen Gebiete mit Wasserdefizit ergeben. Die KWB liefert allerdings keine Erkenntnisse zur saisonalen Wasserverfügbarkeit. Infolge des Klimawandels ist saisonal mit höheren Temperaturspitzen, höherer Verdunstung und länger anhaltender Trockenheit zu rechnen. Für die wassergebundenen Feuchtgebiete bedeutet dies, dass selbst in traditionell wasserreichen Gebieten zukünftig Trockenstress auftreten kann, wodurch die ökologische Funktionalität und Artenvielfalt gefährdet werden kann. Dies gilt insbesondere für solche Lebensräume, die an dauerhaft feuchte und kühle Bedingungen gebunden sind und sich durch eine entsprechend spezifische Artenausstattung mit seltenen und gefährdeten Kühle- und Feuchtezeigern auszeichnen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 6.4

6.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[158] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 21 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 21: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Anstieg der Meerestemperatur	Die Erwärmung der Meere ist eine direkte Folge des anthropogen bedingten Treibhauseffekts. Ein Großteil der zusätzlichen Wärmeenergie, die durch erhöhte Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre zurückgehalten wird, wird von den Ozeanen aufgenommen. Dadurch steigen die Oberflächen- und in der Folge auch die Tiefenwassertemperaturen. In Randmeeren wie der Nord- und insbesondere der Ostsee kann sich die Erwärmung überdurchschnittlich stark ausprägen. In Nord- und Ostsee ist ein Anstieg der Wassertemperaturen über die letzten Jahrzehnte nachweisbar. Veränderungen der Temperaturverhältnisse beeinflussen unter anderem Schichtungsprozesse, Sauerstoffdynamik, Stoffkreisläufe sowie die Verbreitung und Physiologie mariner Organismen. Der Anstieg der Meerestemperatur stellt ein zentrales Klimasignal mit weitreichenden ökologischen Folgen im Rahmen verschiedener Klimawirkungen dar. Er wirkt als treibender Faktor für zahlreiche Veränderungen in marinen Ökosystemen, etwa für Verschiebungen in der Artenzusammensetzung, die Ausbreitung wärmeliebender Arten oder die Beeinträchtigung temperatursensibler Bestände. Die ökologischen Aspekte des Temperaturanstiegs in Nord- und Ostsee werden insbesondere im Rahmen der Klimawirkungen „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“ (siehe Seite 300) sowie „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen“ (siehe Seite 306) im Handlungsfeld Fischerei ausführlich dargestellt. Dort sind auch Informationen zur beobachteten und zukünftigen Entwicklung der Meerwassertemperaturen in Nord- und Ostsee nachzulesen.
Veränderung der Meerwasserqualität	Die Qualität des Meerwassers wird durch vielfältige anthropogene Belastungen, insbesondere Nährstoffeinträge, beeinflusst. Im Kontext des Klimawandels ist die Veränderung der Meerwasserqualität eng mit dem Anstieg der Meerwassertemperatur verknüpft. Steigende Temperaturen können physikalische und chemische Prozesse wie Schichtung und Sauerstoffhaushalt verändern. In Kombination mit Nährstoffeinträgen kann dies die Eutrophierung verstärken. Auch Veränderungen der Salinität infolge veränderter Niederschlags- und Abflussmuster sind möglich. Wesentlichen Einfluss auf die Wasserqualität nimmt auch die erhöhte Aufnahme von CO_2, die zu einer Versauerung des Meerwassers führt. Die Versauerung hat potenziell schwerwiegende Auswirkungen auf empfindliche marine Ökosysteme, etwa auf kalkbildende Organismen. Die Veränderung der Meerwasserqualität wird im Rahmen der Klimawirkung „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen“ (siehe Seite 306) im Handlungsfeld Fischerei als Klimasignal beleuchtet.
Schäden an Küstenökosystemen	Die Küsten Schleswig-Holsteins sind durch vielfältige und ökologisch hoch spezialisierte Lebensräume geprägt. Neben dem Wattenmeer an der Nordseeküste zählen hierzu unter anderem Salzwiesen, Seegraswiesen, Sandstrände und Dünen, Steilküsten, Flachwasserzonen sowie Lagunen- und Boddenbereiche der Ostsee. Diese Ökosysteme erfüllen wichtige Funktionen für Biodiversität, Küstenschutz, Stoffkreisläufe und Klimaregulation. Der Klimawandel kann die Struktur und die Funktion dieser Küstenökosysteme

[158] Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A., Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021. Dessau-Roßlau, 339 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land

Klimawirkung	Erläuterungen
	beeinflussen. Steigende Wassertemperaturen wirken sich auf Sauerstoffgehalte und Artenzusammensetzungen aus, während der Meeresspiegelanstieg zu veränderten Tideverhältnissen, Überflutungsdauern und Strömungsbedingungen führt. In der Folge sind Veränderungen der Sedimentdynamik, verstärkte Erosion sowie Verschiebungen oder Verluste von Lebensräumen möglich. Speziell für das Wattenmeer werden unter anderem eine Verringerung der Wattflächen, Veränderungen im Artenspektrum sowie zunehmende Überflutungsdauern projiziert. Auch an der Ostseeküste sind Beeinträchtigungen von Salzwiesen, Seegrasbeständen und Küstendünen zu erwarten, etwa durch Meeresspiegelanstieg, Temperaturveränderungen oder ein verändertes Sturmgeschehen. Projektionen deuten darauf hin, dass sich die Auswirkungen insbesondere in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts verstärken könnten. Die Klimawirkung ist für Schleswig-Holstein relevant, da die Küstenökosysteme sowohl naturschutzfachlich als auch für den Küstenschutz und weitere Ökosystemleistungen von zentraler Bedeutung sind. Bestehende Strategien und Maßnahmenpläne wie die Strategie für das Wattenmeer 2100[159] oder der Aktionsplan Ostseeschutz 2030[160] liefern fachliche Grundlagen zur Risikoabschätzung und schaffen einen Rahmen für die Umsetzung konkreter Schutz- und Anpassungsmaßnahmen. Statt diese Klimawirkung in einer ökosystemübergreifenden Risikoanalyse im Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz zu untersuchen, werden relevante Aspekte detailliert in einzelnen Klimawirkungen in anderen Handlungsfeldern bearbeitet. Eine Risikoanalyse zum Verlust von Küstenlebensräumen aufgrund von Erosion sind im Handlungsfeld „Küstenschutz“ in der Klimawirkung „Veränderung von Küstenrückgang und -erosion“ (siehe Seite 235) nachzulesen. Im Handlungsfeld „Fischerei“ widmen sich Analysen der „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“ (siehe Seite 300) sowie der „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen“ (siehe Seite 306).
Phänologische Veränderungen und Arealverschiebungen	Die klimatischen Veränderungen infolge des Klimawandels, insbesondere die steigenden Lufttemperaturen, führen zu messbaren Verschiebungen phänologischer Ereignisse wie Blühbeginn, Laubentfaltung, Insektenflug oder Vogelzug. Vor allem aufgrund eines immer früheren Blühbeginns verlängert sich die Vegetationsperiode, und jahreszeitliche Abläufe verändern sich (siehe Klimafolgenindikator BD-I-1[161]). Solche Verschiebungen können zu zeitlichen Entkopplungen zwischen ökologisch voneinander abhängigen Arten führen, etwa zwischen Pflanzen und Bestäubern oder zwischen Nahrungsangebot und Brutzeiten von Vogelarten. Zahlreiche Arten passen in Reaktion auf die veränderten Umweltbedingungen ihr Verbreitungsareal an. Soweit möglich, weichen Arten, die an kühle und feuchte Bedingungen angewiesen sind, in kühlere geeignete Ersatzhabitate aus. Diese Arealverschiebungen betreffen sowohl Pflanzen- als auch Tierarten. Ein erhöhtes Risiko ergibt sich für standortgebundene oder hochspezialisierte Arten, deren Ausweichmöglichkeiten begrenzt sind. Um wandernden Arten die Besiedlung neuer Lebensräume zu ermöglichen, gewinnt die Biotopvernetzung zunehmend an Bedeutung. Für Schleswig-Holstein ist die Klimawirkung grundsätzlich relevant. Neben phänologischen Daten stehen auch Verbreitungsdaten zu verschiedenen Artengruppen zur Verfügung, die eine fachliche Einordnung ermöglichen. Aspekte der Klimawirkung werden bereits in anderen Klimawirkungen aufgegriffen. Informationen zur Veränderung von Verbreitungsgebieten in marinen Lebensräumen liefert die Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“ im

[159] Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.) 2015: Strategie für das Wattenmeer 2100. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/strategieWattenmeer2100.pdf

[160] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Aktionsplan Ostseeschutz 2030. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/aktionsplan-ostseeschutz/downloads/aktionsplan_ostseeschutz.pdf

[161] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt BD-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wildpflanzen.pdf

Klimawirkung	Erläuterungen
	Handlungsfeld Fischerei (siehe Seite 300). Phänologische Veränderungen bei (allergenen) Wildpflanzen und Veränderungen der phänologischen Jahreszeiten werden im Rahmen der Klimawirkung „Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft" im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit (siehe Seite 203) beschrieben.
Ausbreitung invasiver Arten	Die Ausbreitung invasiver gebietsfremder Arten wird in erster Linie durch anthropogene Faktoren wie globale Handels- und Transportströme, Landnutzungsänderungen oder gezielte beziehungsweise unbeabsichtigte Freisetzungen gesteuert. Es ist wichtig, die Ausbreitung invasiver Arten von der Arealverschiebung durch Wanderung von Arten zu unterscheiden. Invasive Arten sind gebietsfremde Arten, die zum einen durch den Menschen, beispielsweise durch den internationalen Handel absichtlich oder unabsichtlich eingebracht werden und zum anderen ein erhebliches Gefährdungspotenzial für die heimische biologische Vielfalt aufweisen. Invasive Arten sind von den Arten, die aus eigener Kraft neue Gebiete besiedeln (zum Beispiel Goldschakal, Südliche Eichenschrecke, Wespenspinne), abzugrenzen. Der Klimawandel kann das Ausbreitungsgeschehen allerdings in einem nachgelagerten Schritt beeinflussen. In Schleswig-Holstein kommt es infolge steigender Temperaturen, veränderter Niederschlagsmuster und häufigerer Extremereignisse zu einer Veränderung der Lebensraum- und Standortbedingungen. Dies kann langfristig dazu führen, dass bisherige Lebensräume den Ansprüchen etablierter heimischer Arten nicht mehr oder nicht mehr vollständig gerecht werden. Gleichzeitig profitieren bestimmte invasive Arten von den steigenden Temperaturen, veränderten Niederschlagsmustern oder milderen Wintern. Bereits etablierte invasive Arten, denen das neue Temperatur- und Niederschlagsregime besser entspricht als anderen Arten, können sich weiter ausbreiten und erhöhen den Konkurrenzdruck auf heimische Arten oder führen in extremen Fällen zu deren Verdrängung. Für Schleswig-Holstein ist die Thematik grundsätzlich relevant. Einzelne invasive Arten, die vom Klimawandel profitieren, sind auch in Schleswig-Holstein nachgewiesen. Für diese Arten befinden sich bereits konkrete Managementmaßnahmen in der Umsetzung. Da die Etablierung und Ausbreitung invasiver Arten im Wesentlichen durch anthropogene Faktoren wie zum Beispiel Handel bestimmt wird und der klimatische Einfluss in jedem Falle nur artspezifisch quantifiziert werden kann, ist eine artübergreifende Betrachtung von invasiven Arten im Rahmen der Klimarisikoanalyse nicht sinnvoll.
Verlust an genetischer Vielfalt	Der Klimawandel kann langfristig zu einem Verlust genetischer Vielfalt innerhalb von und zwischen Populationen führen. Steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster und Extremereignisse wie Hitze oder langanhaltende Trockenheit wirken als natürliche Selektionsfaktoren und können insbesondere kleine oder isolierte Populationen unter Druck setzen. Geht genetische Vielfalt verloren, sinkt die Anpassungsfähigkeit von Arten gegenüber weiteren Umweltveränderungen. Um den genetischen Austausch zwischen Populationen zu fördern, kommt einem wirksamen Biotopverbund eine Schlüsselrolle zu. Die Klimawirkung hat für Schleswig-Holstein grundsätzlich Relevanz, da die Erhaltung der genetischen Vielfalt eine zentrale Voraussetzung für die langfristige Stabilität von Ökosystemen ist. In einzelnen Sektoren – etwa im Forstbereich oder in der Landwirtschaft – werden bereits Maßnahmen zur Sicherung genetischer Ressourcen im Rahmen von Saatgutbanken umgesetzt. Diese haben beispielsweise das Ziel, beim Waldumbau und der Wiederbewaldung gezielter mit Herkünften arbeiten zu können. Belastbare Datengrundlagen zur quantitativen Bewertung klimabedingter Veränderungen genetischer Vielfalt in natürlichen Populationen liegen für Schleswig-Holstein bislang nur eingeschränkt vor.
Ökosystemleistungen	Ökosystemleistungen umfassen die vielfältigen Beiträge von Natur und Landschaft zum menschlichen Wohlbefinden, darunter Versorgungsleistungen wie die Bereitstellung

Klimawirkung	Erläuterungen
	von Nahrung und Rohstoffen, Regulierungsleistungen wie Klimaregulation und Hochwasserschutz sowie kulturelle Leistungen. Der Klimawandel kann diese Leistungen auf unterschiedliche Weise beeinflussen, etwa durch Ertragsausfälle, erhöhte Erosionsanfälligkeit, Veränderungen in der Artenzusammensetzung oder durch eine Beeinträchtigung des Wasserhaushalts. Diese Aspekte werden in spezifischen Klimawirkungen in den anderen Handlungsfeldern bearbeitet. Auf eine übergreifende quantitative Bewertung im Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz wird verzichtet.

6.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die im Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz bewerteten Klimawirkungen sind naturgemäß vor allem von ökologischer Bedeutung (siehe Tabelle 22), und die überwiegende Zahl wurde auch mit eine hohen ökologischen Bedeutung eingestuft: „Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland", „Anstieg der Meerestemperatur", „Veränderung der Meerwasserqualität", „Schäden an Küstenökosystemen" sowie „Phänologische Veränderungen und Arealverschiebungen". Eine hohe ökologische Bedeutung könnte zudem der Verlust an genetischer Vielfalt haben, jedoch wurden hier primär andere Treiber als der Klimawandel identifiziert.

Größere Unsicherheiten gab es bei der Bewertung der Klimawirkung „Ausbreitung invasiver Arten". Einerseits wird die Ausbreitung invasiver Arten primär durch den globalen Handel und andere menschliche Aktivitäten beeinflusst, weniger durch den Klimawandel. Insgesamt haben die Fachleute der Wirkung des Klimas daher eine geringe Bedeutung beigemessen, auch wenn die Änderung von Temperatur- und Niederschlagsregime die Etablierung invasiver Arten in Deutschland befördern kann. Andererseits wurde der Ausbreitung invasiver Arten sektoral eine sehr hohe Bedeutung zugeschrieben. So sahen die Fachleute mit Blick auf die Fischerei eine sehr hohe ökologische und eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Auch in Bezug zur Fauna allgemein wurde der Klimawirkung eine sehr hohe ökologische Bedeutung zugesprochen. Begründet wurde beides unter anderem mit der Einschleppung von Krankheitsüberträgern und der Verdrängung heimischer Arten.

Eine wirtschaftlich sehr hohe Bedeutung sahen die bewertenden Fachleute bei Schäden an Küstenökosystemen. Hintergrund ist, dass Küstenschutz- und Küstenhochwasserschutzmaßnahmen wie Deicherhöhungen oder -rückbau sowie Sandvorspülungen, die gegebenenfalls nötig werden könnten, sehr kostenintensiv sind. Als von hoher wirtschaftlicher Bedeutung wurden zudem Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland bewertet, dies aufgrund des Zusammenhangs zur Land- und Forstwirtschaft. Maßnahmen zur Bewältigung dieser Klimawirkung beeinflussen den Wasserhaushalt und den Boden.

Die soziale Bedeutung der bewerteten Klimawirkungen in diesem Handlungsfeld ist nach Ansicht der beteiligten Fachleute durchweg gering. Begründet wurde dies unter anderem damit, dass sie keine Auswirkungen auf soziale Gleichstellung, Verteilungsfragen und andere sozial bedeutende Fragestellungen haben. Dennoch können sich mehrere der diskutierten Klimawirkungen (unabhängig von den Wirkungen auf die biologische Vielfalt) direkt auf den Menschen auswirken. So können Veränderung der Meerwassertemperatur und -qualität gesundheitliche Folgen haben. Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland können die Naherholung und die Wasserqualität von Badegewässern beeinträchtigen.

Fast zu allen Klimawirkungen des Handlungsfelds gibt es grundsätzlich Handlungsbedarf seitens der Landesregierung in den kommenden Jahren (siehe Tabelle 23Tabelle 22). Jedoch scheinen die Handlungsoptionen gering. Grundsätzlich müssen zusätzlich Stressoren für Arten und Ökosysteme reduziert werden. Wo es zu Arealverschiebungen kommt, sind Wanderungsmöglichkeiten wichtig, das heißt Lebensräume müssen erhalten und Biotope verbunden werden. Mit Blick auf invasive Arten wird Handlungsbedarf an Fließgewässern gesehen.

Tabelle 22: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Biologische Vielfalt, Natur- und Meeresschutz

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland	gering	hoch	hoch	hohe wirtschaftliche Bedeutung aufgrund des Zusammenhangs zur Land- und Forstwirtschaft	hohe ökologische Bedeutung aufgrund der Querbeziehungen zu anderen ökologisch hoch bedeutsamen Klimawirkungen
Anstieg der Meerestemperatur	gering	hoch	gering	Bewertung der Klimawirkung mit Fokus auf Meeres- und Biodiversitätsschutz soziale Bedeutung gering, weil sich die Meerwassertemperatur nicht auf soziale Gleichstellung, Verteilungsfragen etc. auswirkt ökologische Bedeutung hoch, weil sich die Artzusammensetzung mit dem Temperaturanstieg ändert wirtschaftliche Bedeutung gering, weil es derzeit noch unklar ist, ob sich neue ökonomisch relevante Fisch/Muschelarten aufgrund der höheren Wassertemperatur etablieren	-**
Veränderung der Meerwasserqualität	gering	hoch	gering	Bewertung der Klimawirkung mit Fokus auf Meeres- und Biodiversitätsschutz soziale Bedeutung gering, weil sich die Meerwasserqualität nicht auf soziale Gleichstellung, Verteilungsfragen etc. auswirkt; gegebenenfalls aber relevant mit Blick auf die menschliche Gesundheit (Vibrionen) ökologische Bedeutung hoch, weil sich die Meerwasserqualität auf die Vitalität der Arten und Ökosysteme auswirkt wirtschaftliche Bedeutung des Klimawandels hier gering, weil Einträge von Schad- und Nährstoffen das wesentliche Problem sind	-

Klimawirkung	Bedeutung (schriftliche Bewertung)			Begründung	Ergebnis des Workshops
	sozial	ökologisch	wirtschaftlich		
Schäden an Küstenökosystemen	gering	hoch	sehr hoch	sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung aufgrund hoher Maßnahmenkosten (Deicherhöhung oder -rückbau, Sandvorspülung etc.) hohe ökologische Bedeutung wegen Risikos für Küstenlebensräume	-
Phänologische Veränderungen und Arealverschiebungen	gering	hoch	gering	-*	-
Ausbreitung invasiver Arten	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	-	geringe Bedeutung (sozial, ökologisch, wirtschaftlich) in Bezug auf den Klimawandel, weil primär durch den globalen Handel und andere menschliche Aktivitäten beeinflusst (Fokus: anthropogen beeinflusste Verbreitung von Arten, nicht Ausbreitung südlicher Arten) mit Bezug auf die Fischerei sehr hohe ökologische und hohe wirtschaftliche Bedeutung (Chancen: neue Ressourcen; Risiken: Vertreibung endemischer Arten, die wirtschaftlich genutzt werden, ökologische Schäden durch Veränderung der Artenzusammensetzung, Einwanderung von Überträgern von Krankheiten) sehr hohe ökologische Bedeutung in Bezug auf Tierarten (Verdrängung heimischer Arten und Krankheitsübertragungen (Blauzungenkrankheit, Gnitzen))
Verlust an genetischer Vielfalt	gering	gering	gering	wird im Wesentlichen von anderen Faktoren als dem Klimawandel verursacht, daher vor dem Hintergrund der Klimaanpassung geringe Bedeutung	hohe ökologische Bedeutung (1 Votum)

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 23: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland	ja	-*	-**
Anstieg der Meerestemperatur	ja	Handlungsbedarf grundsätzlich gegeben, aber unklar, mit welchen direkten Maßnahmen der Anstieg der Meerestemperatur adressiert werden soll	-
Veränderung der Meerwasserqualität	ja	Handlungsbedarf grundsätzlich gegeben, Maßnahmen können aber nur der Reduzierung zusätzlicher Stressoren zur Steigerung der allgemeinen Resilienz dienen (Reduktion von Schadstoff- und Nährstoffeinträgen, Verbot des Eintrags von Schwarzwasser, Reduktion von Plastik im Meer)	-
Schäden an Küstenökosystemen	ja	-	-
Phänologische Veränderungen und Arealverschiebungen	ja	keine Handlungsoptionen bei phänologischen Veränderungen, aber bei Arealverschiebungen (Erhalt der Lebensräume, Biotopverbundsysteme)	-
Ausbreitung invasiver Arten	keine Bewertung vorgenommen	-	generell kein Handlungsbedarf, da mit Maßnahmen zur Klimaanpassung der Ausbreitung invasiver Arten nur bedingt begegnet werden kann (effektivste Maßnahme: Kontrolle des Handels); Ausnahme: invasive Arten in Fließgewässern (Kälterefugien)
Verlust an genetischer Vielfalt	ja	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

6.4 Klimawirkung „Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten im Binnenland“

6.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Wassergebundene Habitate und Feuchtgebiete wie Moore, Auen und Feuchtwiesen sind naturschutzfachlich von hoher Bedeutung. Sie bieten Lebensraum für eine große Zahl spezialisierter und häufig gefährdeter Tier- und Pflanzenarten, übernehmen wichtige Aufgaben zur Regulierung des Wasser- sowie Stoffhaushalts und tragen zum Klimaschutz bei, unter anderem durch die Speicherung von Kohlenstoff in organischen Böden.[162,163] Gleichzeitig zählen diese Lebensräume zu den ökologischen Systemen, die besonders sensibel auf den Klimawandel reagieren. Bereits geringe Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen können die hydrologischen Verhältnisse und damit die Funktionsfähigkeit der ökologischen Prozesse in wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten stören und gegebenenfalls nachhaltig beeinträchtigen. Einfluss nehmen vor allem ein verändertes Niederschlagsregime in Verbindung mit steigenden Lufttemperaturen. Höhere Temperaturen führen zu einer erhöhten Verdunstung. Dadurch nimmt in den Ökosystemen insbesondere in den vegetationsaktiven Monaten der Wasserbedarf zu. Darüber hinaus verändert sich die innerjährliche Niederschlagsverteilung und kann vor allem während Trockenperioden in den Frühlings- und Sommermonaten zu Defiziten im Landschaftswasserhaushalt führen. Dadurch bedingte Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten können in der Folge auch die standorttypischen Arten und Lebensgemeinschaften beeinträchtigen.

Moore stehen im Kontext dieser Klimawirkung im besonderen Fokus. Sie werden in Schleswig-Holstein seit Jahrtausenden vom Menschen genutzt. Diese Nutzung ging stets einher mit einer Entwässerung des wassergesättigten Lebensraums. Während in der Vergangenheit insbesondere bei Hochmooren die Brenntorfgewinnung eine entscheidende Rolle spielte, werden die Moorböden aktuell vor allem für die landwirtschaftliche, in Teilen auch für die forstwirtschaftliche Nutzung entwässert. Entwässerungsbasierte Bewirtschaftungsformen, die mit Nährstoffeinträgen einhergehen, sowie aus Zeiten der Abtorfung existierende Grabensysteme tragen erheblich zum Austrocknen der Moorböden und in der Folge zur Degradierung der Moorböden sowie zum Verlust der moortypischen Biotop- und Artenvielfalt bei. Der Grad und die Art der anthropogenen Nutzung sind maßgeblich für die Degradierung von Mooren relevant. Sie führt zu einer Vorbelastung und erhöhten Vulnerabilität der Moore auch gegenüber den Folgen des Klimawandels, die sich negativ auf die Hydrologie der Moorlebensräume auswirken können. Moore sind in hohem Maße auf stabile hydrologische Bedingungen angewiesen: Sinkende Wasserstände können zur Degradation moortypischer Vegetation, zur Mineralisierung organischer Substanz und zu einem Verlust charakteristischer Arten führen.[164] Gleichzeitig gehen damit auch klimarelevante Folgewirkungen einher, da entwässerte oder geschädigte Moore ihre Funktion als Kohlenstoffsenken verlieren.[165] Im bundesweiten Vergleich zählt Schleswig-Holstein zu den moorreichen Bundesländern und trägt daher für die Erhaltung dieser Extremlebensräume eine besondere Verantwortung.[166] Ein großer Teil der Moorlebensräume Schleswig-Holsteins steht deshalb unter Schutz, etwa als Naturschutzgebiet, im Rahmen der europäischen Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie oder als gesetzlich geschützte Biotope. Die Wiederherstellung und langfristige Erhaltung der Feuchtgebiete mit Blick auf die zukünftigen klimatischen Herausforderungen stehen daher nicht nur vor dem Hintergrund der Klimaanpassung im Fokus, sondern sind auch Bestandteil der landesweiten Bemühungen des Natur- und Artenschutzes.

---

[162] Colditz G. 2014: Auen, Moore, Feuchtwiesen: Gefährdung und Schutz von Feuchtgebieten. Basel, Springer.

[163] Trepel M. 2008: Zur Bedeutung von Mooren in der Klimadebatte. In: Jahresbericht des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2007/08, S. 61–74. Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Bestellsysteme/pdf/jahrbe07/Zur%20Bedeutung%20von%20Mooren.pdf

[164] Klotz S., Henle K., Settele J., Sukopp U. 2023: Biodiversität und Naturschutz im Klimawandel. In Brasseur G. P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, S. 191–212. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_15

[165] Trepel 2008, s. Fußnote 163

[166] LfU (Hrsg.) 2023: Die Inventur der Natur – Ergebnisse der landesweiten Biotopkartierung 2014 bis 2020 (Abschlussbericht). Landesregierung Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/Fachinhalte/Biotope/BiotopkartierungInventurNatur.pdf

6.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Der Zustand der wassergebundenen Habitate und Feuchtgebiete hängt in erster Linie von der Wasserverfügbarkeit und den hydrologischen Rahmenbedingungen vor Ort ab. Ein bestimmender Faktor für die Wasserverfügbarkeit sind die Niederschlagsverhältnisse. Schleswig-Holstein gilt als niederschlagsreiches Bundesland. Langjährige Messreihen des DWD zeigen für das Landesmittel eine leichte Zunahme der **Jahresniederschlagsmengen** über die letzten rund 150 Jahre. Während im frühindustriellen Referenzzeitraum 1881–1910 durchschnittlich 714 mm fielen, waren es im 30-jährigen Mittel der Jahre 1991-2020 jährlich 812 mm Niederschlag und damit knapp 100 mm mehr als zu Beginn der Aufzeichnungen. Die nördlichen und nordwestlichen Landesteile sind regenreicher als der Süden und Südosten Schleswig-Holsteins: Der meiste Niederschlag fällt in der Region der westlichen Geest im Landkreis Dithmarschen sowie in der Schleswigschen Geest, trockener ist es im südlichen Schleswig-Holsteinischen Hügelland an der Grenze zu Mecklenburg-Vorpommern, in Wagrien und auf Fehmarn. Ausführliche Informationen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung des Jahresniederschlags in Schleswig-Holstein sind in der Klimaanalyse[167] nachzulesen.

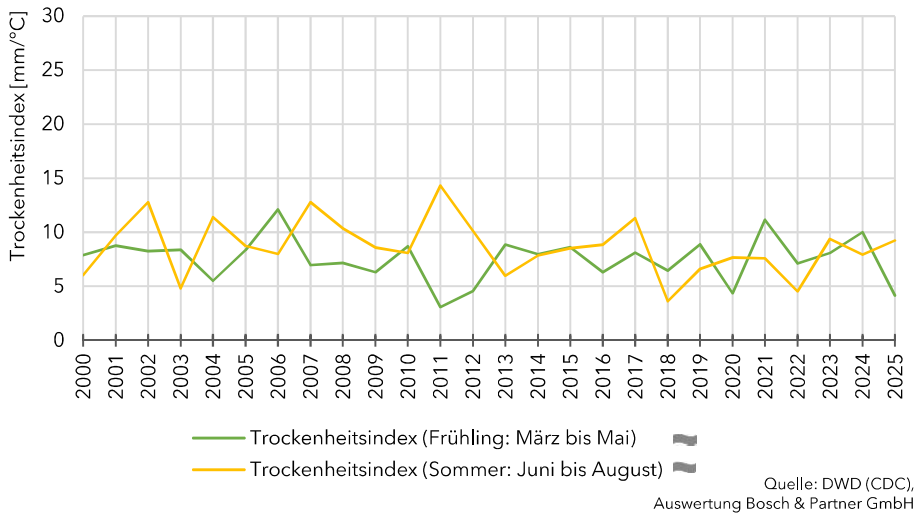
Bestimmend für die hydrologischen Verhältnisse in den wassergebundenen Lebensräumen ist nicht nur, wie viel Niederschlag insgesamt fällt, sondern entscheidend ist vor allem auch die **innerjährliche Niederschlagsverteilung**. Selbst bei einer über das Gesamtjahr gerechnet ausreichenden Niederschlagsmenge können längere niederschlagsarme Phasen im Frühjahr und im Sommer zu einem kritischen Absinken der Wasserstände führen und die hydrologische Dynamik in wassergebundenen Lebensräumen beeinträchtigen.[168] Auch Starkniederschläge können die Wasserbilanz sensibler Feuchtgebiete nur eingeschränkt stabilisieren, da ein erheblicher Teil des Wassers oberflächlich abfließt und nicht zu einer langfristigen Wassersättigung des Bodens beiträgt. Langfristige Aufzeichnungen des DWD zeigen, dass in Schleswig-Holstein in den zurückliegenden rund 150 Jahren meist im hydrologischen Sommerhalbjahr (1. Mai bis 31. Oktober) etwas mehr Niederschlag als im hydrologischen Winterhalbjahr (1. November des Vorjahres bis 30. April) gefallen ist (siehe Klimaanalyse, Abbildung 12). Im selben Zeitraum hat sich die innerjährliche Niederschlagsverteilung allerdings verändert: Das Verhältnis des Sommerniederschlags zum Winterniederschlag ist statistisch signifikant gesunken. Mit Blick auf insgesamt steigende Niederschlagsmengen in Schleswig-Holstein deutet dies auf eine Verlagerung der Niederschläge vom Sommer in den Winter hin.

Besondere Relevanz haben die Niederschlagsmengen und die Niederschlagsverteilung für Hochmoore, da diese ausschließlich aus Niederschlagswasser gespeist werden. Im Gegensatz dazu sind Niedermoore in stärkerem Maße an den Grundwasserstand und an seitliche Wasserzuflüsse gebunden. In Auenlebensräumen spielen vor allem die Abflussdynamik der Auenfließgewässer sowie die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Überflutungen eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich werden aber alle wassergebundenen Lebensräume von einer Veränderung der Niederschlagsverhältnisse beeinflusst, da sich der Niederschlag auf die relevanten hydrologischen Prozesse auswirkt. So steuern die Niederschläge beispielsweise das Abflussgeschehen in Fließgewässern, die Wasserstände in Seen sowie die Grundwasserneubildung und damit die Grundwasserstände. Vor allem in bereits vorbelasteten oder entwässerten Niedermooren können zu geringe Niederschläge aufgrund der dadurch bedingten reduzierten Grundwasserneubildung die Austrocknung weiter verstärken und den Verlust standorttypischer Arten beschleunigen. Weitere Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserverfügbarkeit und die damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Folgewirkungen sind in der Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit“ im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft (siehe Seite 276) nachzulesen. Aufgrund der direkten Abhängigkeit von ausreichend Niederschlag geraten alle wassergebundenen Lebensräume vor allem während **Trockenperioden** unter Druck. Bleiben Niederschläge über längere Zeit aus, kann dies zu einem kritischen Absinken von Wasserständen führen. Niedrigwasserereignisse in Fließgewässer betreffen dabei insbesondere Auenlebensräume und die an sie gekoppelten Arten. Sinkende Abflüsse führen zu einer Verringerung der Überflutungsflächen und zu einer verkürzten Dauer von Überflutungen, die für

[167] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[168] Knorr K.-H. 2024: Wasser- und Stoffhaushalt in Mooren – Bedeutung für Treibhausgasflüsse und Gewässerqualität. In Deigele C. (Hrsg.): Moore – Ökosystemfunktionen, Biodiversität und Renaturierung. Rundgespräche Forum Ökologie, Band 50, S. 27–42. Verlag Dr. Friedrich Pfeil.

den Wasser- und Stoffaustausch zwischen Fließgewässer und Aue von zentraler Bedeutung sind.[169] Dadurch können auentypische Standortbedingungen verloren gehen, was sich negativ auf die Lebensgemeinschaften und die strukturelle Vielfalt der Auen auswirkt. Weitere Informationen zum Auftreten von Niedrigwasserereignissen in den Fließgewässern Schleswig-Holsteins sind in der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft nachzulesen (siehe Seite 255). Die räumliche Differenzierung des Auftretens von Trockenperioden, das heißt der Zeiträume von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm, folgt im Wesentlichen der räumlichen Niederschlagsverteilung: Trockenperioden traten im Zeitraum 1971–2000 häufiger im Osten des Landes auf (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29), durchschnittlich bis zu dreieinhalb Mal im Jahr. Im bundesweiten Vergleich treten Trockenperioden in Schleswig-Holstein damit vergleichsweise selten auf. Zur ergänzenden Bewertung der Trockenheitsverhältnisse kann der Trockenheitsindex nach de Martonne herangezogen werden. Dieser Index setzt die Niederschlagsmenge ins Verhältnis zur Lufttemperatur. Abbildung 18 zeigt die Entwicklung des Index im landesweiten Durchschnitt für den meteorologischen Frühling (März bis Mai) sowie den meteorologischen Sommer (Juni bis August). Unter anderem mit Blick auf die in Schleswig-Holstein naturschutzfachlich bedeutsamen Moorflächen ist das Frühjahr besonders interessant: Frühe Niederschlagsdefizite in Kombination mit steigenden Temperaturen können Hinweise auf Wasserdefizite in einer für die Entwicklung der Moorvegetation sensiblen Phase hindeuten. Viele (degradierte) Moorflächen verlieren einen messbaren Abfluss bereits im März oder April und werden dann zunehmend trocken.[170] Niedrigere Indexwerte bedeuten trockenere Bedingungen. Sowohl für den meteorologischen Frühling als auch den Sommer zeigt der Trockenheitsindex in der seit dem Jahr 2000 verfügbaren Zeitreihe keinen statistisch signifikanten Trend. Allerdings werden in der Zeitreihe einzelne Jahre deutlich, in denen sowohl im Frühling als auch im Sommer trockene Bedingungen herrschten. Dazu zählt beispielsweise das besonders heiße und trockene Jahr 2018.



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 18: Saisonale Trockenheit in Schleswig-Holstein nach de Martonne im meteorologischen Frühjahr und Sommer

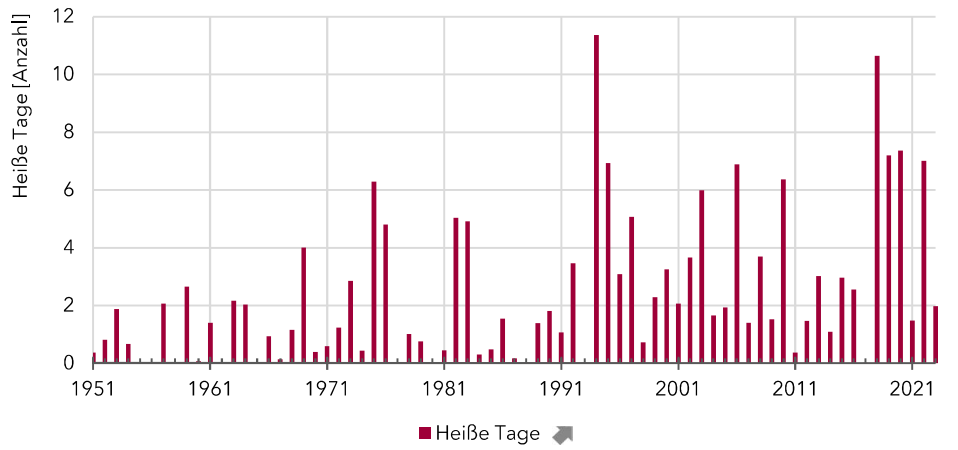
Die **Lufttemperatur** ist nicht nur vor dem Hintergrund des Trockenheitsindex nach de Martonne ein relevantes Klimasignal, sondern beeinflusst den Zustand von wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten sowie die ökosystemaren Prozesse in diesen Lebensräumen auf vielfältige Weise. Steigende Temperaturen erhöhen die potenzielle **Verdunstung** von freien Wasserflächen, aus Böden und über die Vegetation und beeinflussen damit direkt die Wasserverfügbarkeit in Feuchtgebieten. In Kombination mit veränderten Niederschlagsmustern können Temperaturveränderungen so zu einer Verschärfung von Wasserdefiziten führen und die hydrologische Stabilität sensibler Lebensräume beeinträchtigen. In Schleswig-Holstein ist die Jahresmitteltemperatur im Verlauf der letzten rund 150 Jahre deutlich angestiegen. Während die durchschnittliche Lufttemperatur im frühindustriellen Referenzzeitraum 1881–1910 bei etwa 7,9 °C lag, erhöhte sie sich im Zeitraum 1961–1990 auf rund 8,3 °C. Im 30-jährigen Mittel der Jahre 1991–2020 betrug die Jahresmitteltemperatur etwa 9,3 °C (siehe Klimaanalyse, Abbildung 2). Der Temperaturanstieg hat sich insbesondere seit dem Ende der 1980er Jahre beschleunigt und ist landesweit sowie über alle Jahreszeiten hinweg zu beobachten. Am wärmsten ist es im Südwesten des Landes, an der Nordseeküste und entlang der Elbe. Kühler ist es an der Grenze zu Dänemark im Norden Schleswig-Holsteins. Ausführlichere Informationen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Lufttemperatur in Schleswig-Holstein

[169] Fink S., Döring M., Franca M. J., Martín Sanz E., Nadyeina O., Robinson C., Schleiss A., Scheidegger C. 2017: Dynamik und Biodiversität in Auen. In Giulio M. (Ed.): Geschiebe- und Habitatsdynamik. Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie, Umwelt-Wissen, UW-1708-D, 12 S.

[170] Knorr 2024, s. Fußnote 168

sind der Klimaanalyse zu entnehmen (siehe Abbildungen 2 bis 5). Für wassergebundene Habitate und Feuchtgebiete ist insbesondere der Anstieg der Temperaturen während der vegetationsaktiven Monate von Bedeutung. Höhere Frühjahrs- und Sommertemperaturen führen zu einer verlängerten Vegetationsperiode und zu einer Zunahme der Verdunstung gerade in den Zeiträumen, in denen – infolge der Niederschlagsverlagerung in den Winter – zugleich längere niederschlagsarme Phasen auftreten können. Hintergrundinformationen zur Veränderung der Vegetationsperiode und der Dauer einzelner phänologischer Phasen liefert der Indikator BD-I-1[171] des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holstein.

Neben der Entwicklung der mittleren Lufttemperatur sind auch Tage mit besonders hohen Temperaturen von Bedeutung. Als **Heiße Tage** gelten Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C. An diesen Tagen ist die Verdunstung besonders hoch, sodass Wasserverluste aus Böden, Vegetation und offenen Wasserflächen deutlich zunehmen. Heiße Tage wirken damit kurzfristig, aber intensiv auf den Wasserhaushalt sensibler Ökosysteme und können bestehende Wasserdefizite erheblich verschärfen. In Schleswig-Holstein hat die Anzahl Heißer Tage im Verlauf der letzten Jahrzehnte signifikant zugenommen (siehe Abbildung 19). Während solche Tage zu Beginn der Aufzeichnungen vergleichsweise selten auftraten, wurden sie insbesondere seit den 1990er Jahren häufiger beobachtet. Besonders viele Heiße Tage gab es in einzelnen Sommern der letzten beiden Jahrzehnte. Die räumliche Verteilung zeigt dabei tendenziell höhere Werte im Binnenland sowie im Süden und Südosten des Landes, während die küstennahen Regionen aufgrund des maritimen Einflusses geringere Häufigkeiten aufweisen. Ausführliche Darstellungen zur Entwicklung Heißer Tage sind in der Klimaanalyse enthalten (siehe Abbildungen 6 und 7).



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 19: Entwicklung der Anzahl Heißer Tage in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1951–2023

Die **klimatische Wasserbilanz** (KWB) stellt eine zentrale Kenngröße für die Beurteilung der tatsächlichen Wasserverfügbarkeit in Ökosystemen dar. Die KWB wird als Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung[172] ermittelt und gibt damit an, ob einem Standort über einen bestimmten Zeitraum mehr Wasser zugeführt wird, als durch Verdunstung verloren geht, oder ob ein Wasserdefizit besteht. Je geringer die Werte ausfallen, desto höher ist das klimabedingte Risiko von Trockenheit und damit auch von Schäden an wassergebundenen Lebensräumen sowie ihrer Artenausstattung. In Schleswig-Holstein nehmen die positiven Jahresbilanzwerte der KWB tendenziell von Westen nach Osten ab (siehe Abbildung 20). Am positivsten fallen die Bilanzen im Bereich der Geest aus. Hier sind die Jahresniederschläge vergleichsweise hoch. Negative klimatische Wasserbilanzen treten vor allem in den Sommermonaten auf, wenn der Wasserbedarf der Vegetation hoch ist und gleichzeitig längere niederschlagsarme Phasen auftreten. Diese Entwicklung erhöht das Risiko wasserdefizitärer Bedingungen auch in Regionen, die auf Jahresbasis als niederschlagsreich gelten. Die Bereiche nahe der Nordseeküste gehören zu den wenigen innerhalb Deutschlands, in denen die KWB örtlich auch im Sommer positiv bleiben kann. Im Vergleich der beiden Zeiträume 1961–1990 und 1991–2020 sind die KWB-Werte in ganz Schleswig-Holstein gestiegen. Zu berücksichtigen ist, dass bei der Betrachtung von 10- oder gar 30-Jahreszeiträumen extreme Jahre ausgemittelt werden. So dürfte die KWB in extrem trockenen Jahren wie 2018 zumindest regional in Schleswig-Holstein negative Werte

[171] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt BD-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wildpflanzen.pdf

[172] Die potenzielle Verdunstung entspricht nach DWD der Wassermenge, die von einer ausreichend feuchten Grasfläche an die Atmosphäre abgegeben wird. Das bedeutet, die tatsächliche Vegetationsbedeckung wird nicht berücksichtigt.
https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/vd_erlaeuterungen.pdf

angenommen haben. Der DWD bietet für die KWB allerdings nur Auswertungen für ausgewählte Mehrjahreszeiträume (10 und 30 Jahre) an, sodass sich speziell zur Situation während der genannten Trockenperiode keine flächendeckenden Aussagen für Schleswig-Holstein treffen lassen. Da die KWB als Kombination zweier relevanter Klimasignale die Wasserverfügbarkeit in wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten dennoch vergleichsweise gut widerspiegelt und zudem Projektionsdaten verfügbar sind, wird die KWB als Parameter für die weitere Klimarisikoanalyse herangezogen.

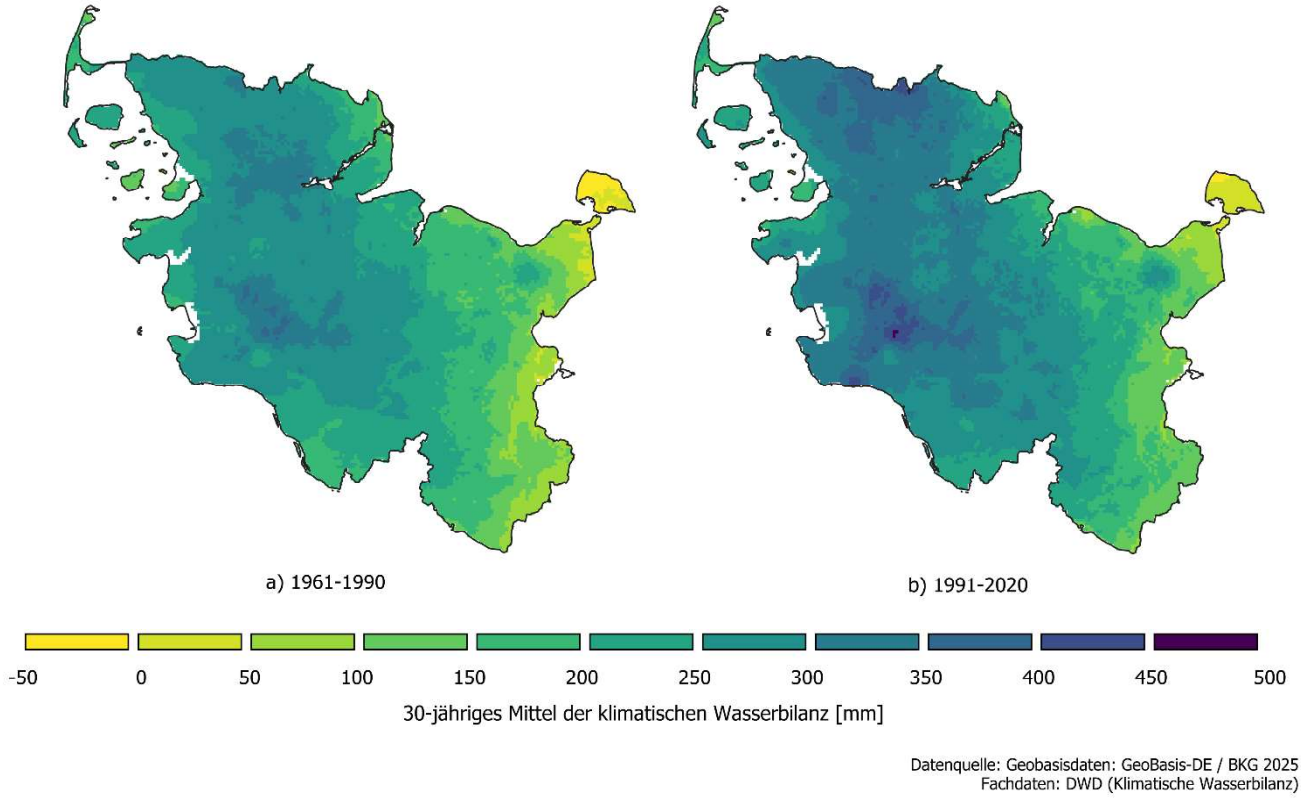


Abbildung 20: Ganzjährige klimatische Wasserbilanz (Quelle: DWD)

6.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

6.4.3.1 Exposition

Die Exposition gegenüber der Klimawirkung ergibt sich aus der räumlichen Verbreitung und dem Flächenumfang **wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete** in Schleswig-Holstein. Das Bundesland verfügt über einen hohen Anteil und eine große Vielfalt von Lebensräumen, die sich durch eine enge Bindung an spezifische hydrologische Bedingungen und eine an diese Bedingungen angepasste Artenausstattung auszeichnen. Zu den relevanten wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten zählen unter anderem Moore, Sümpfe, Röhrichte, seggen- und binsenreiche Nasswiesen, Großseggenriede, Sumpf- und Auwälder ebenso wie Auenlebensräume entlang von Fließgewässern, die Fließgewässer selbst, aber auch natürliche und naturnahe stehende Binnengewässer sowie Quellbereiche. Die Reaktion auf Klimaveränderungen und die Betroffenheit von klimatisch bedingten Beeinträchtigungen unterscheidet sich je nach Lebensraumtyp. So sind der Zustand und die Struktur von Auenlebensräumen und von anderen an fließende Gewässer gekoppelten Ökosysteme maßgeblich von der Abflussdynamik der Fließgewässer sowie von der Häufigkeit, Dauer und Intensität von Überflutungen abhängig. Organische Nassstandorte und Feuchtwiesen werden dagegen stärker von der lokalen Wasserverfügbarkeit im Boden geprägt. Auch stehende Gewässer reagieren sensibel auf Veränderungen der Wasserbilanz, wobei hier neben klimatischen Einflüssen häufig anthropogene Faktoren wie Wasserstandsregulierungen und Nährstoffeinträge eine entscheidende Rolle spielen. Die „Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen“ und die „ökologischen Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser“ in Fließgewässern sind Gegenstand separater Klimarisikoanalysen im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft (siehe Seite 270 und Seite 255). Auch die Beeinträchtigungen von Küsten- und Meeresbiotopen stehen im Fokus eigener Klimawirkungen, für die perspektivisch eine gezielte separate Betrachtung vorgesehen ist. Fließgewässer, stehende Gewässer sowie Küsten- und Meeresbiotope werden aus diesem Grund

aus den weiteren Betrachtungen im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse ausgeklammert. Die Karte in Abbildung 21 stellt auf Grundlage der Ergebnisse der landesweiten Biotopkartierung 2014 bis 2020[173] die verbleibende Flächenkulisse der für diese Klimawirkung relevanten wassergebundenen Habitate und Feuchtgebiete des Binnenlands dar. Aus der Karte geht hervor, dass relevante Habitate und Feuchtgebiete in ganz Schleswig-Holstein vorkommen. Besonders große und zusammenhängende Flächen befinden sich in der Geest, insbesondere in der Eider-Treene-Sorge-Niederung, aber auch in den östlich gelegenen Landesteilen, vor allem im Landkreis Plön.

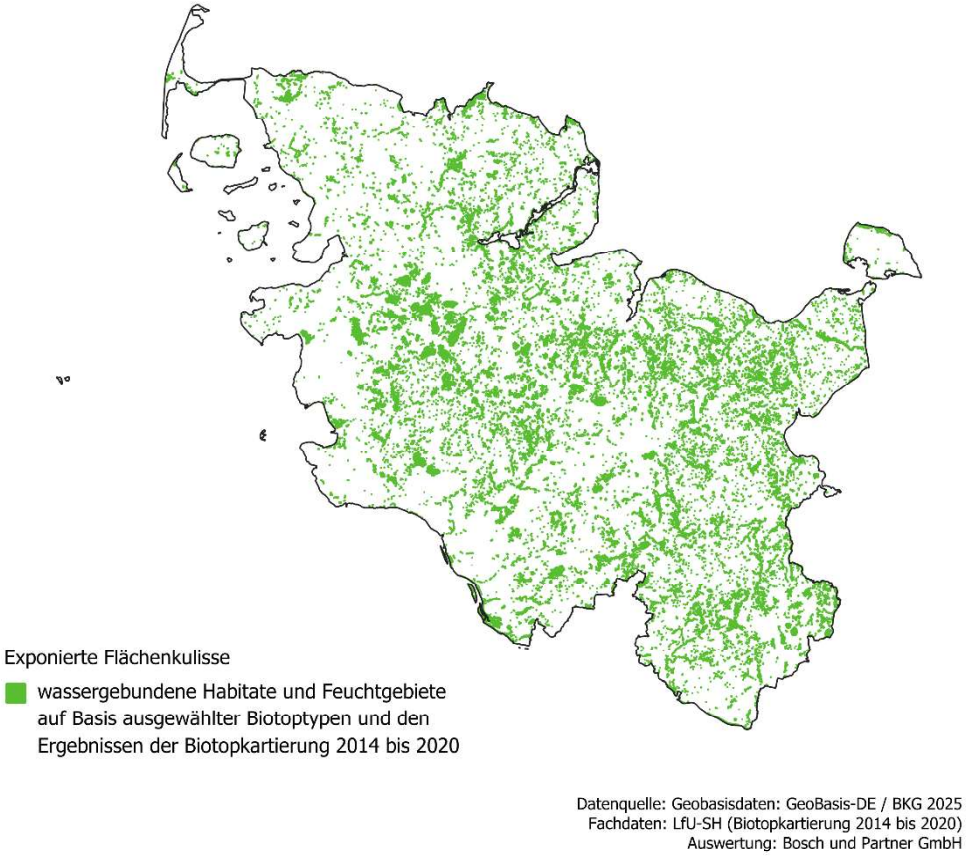


Abbildung 21: Flächenkulisse ausgewählter wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete in Schleswig-Holstein auf Grundlage der Ergebnisse der landesweiten Biotopkartierung 2014 bis 2020.

Die Auswahl erfolgte anhand der in der Kartieranleitung und in der erläuterten Standardliste der Biotoptypen Schleswig-Holsteins[174] aufgeführten Biotoptypen. Es wurde eine Auswahl derjenigen Biotoptypen getroffen, die Lebensräume mit besonderer Abhängigkeit von den hydrologischen Rahmenbedingungen umfassen. Alle für die Exposition berücksichtigten Biotoptypen sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: Übersicht über die im Rahmen der Exposition berücksichtigten Biotoptypen (Quelle: eigene Zusammenstellung)

Kürzel	Hauptbioptoptyp	Biotoptypen / Untergruppen
G	Grünland	GF Artenreiches Feuchtgrünland GN Seggen- und binsenreiches Nassgrünland
M	Hoch- und Übergangsmoore	MA Abtorfungsbereiche MD Degenerierte Moorflächen MH Moorheidestadien MR Moor-Regenerationskomplexe MS Naturnahe Moorstadien MW Moorwälder, torfmoosreiche baumbestandene Moorstadien

[173] LfU 2023, s. Fußnote 166

[174] LfU 2024: Kartieranleitung Standardliste Schleswig-Holstein: Version 2.2.1, korrigierte Fassung vom August 2024. Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Kartieranleitung/20240819_Kartieranleitung_Standardliste_SH_V2.2.1_2024_korr.pdf

N	Sümpfe und Niedermoore sowie Salzstellen des Binnenlandes	NH Salzvegetation des Binnenlandes NR Land-Röhrichte NS Großseggen- und Simsenriede sowie sonstige Staudensümpfe
T	Trocken- und Heidevegetation, Borstgrasrasen und Steinstrukturen	TF Feuchtheiden
W	Wälder und Brüche	WA Auwälder WE Sumpfwälder WQ Naturnahe Quellwälder WT Entwässerte Feuchtwälder

Im Rahmen der ersten Biotopkartierung in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1978 bis 1993 fand erstmals eine systematische Erfassung der aus ökologischer Sicht wertvollen und gefährdeten Biotope im Gelände statt. Von 2014 bis 2020 erfolgte ein erneuter Kartierdurchgang mit Erfassung der gesetzlich geschützten Biotope nach § 30 BNatSchG in Verbindung mit § 21 LNatSchG sowie der Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie (FFH-Richtlinie 92/43/EWG[175]). Seit 2022 findet eine sukzessive Überprüfung, Aktualisierung und Ergänzung der Daten statt. Der im Biotopportal online zur Verfügung stehende und in Abbildung 21 in Teilen dargestellte Datensatz wird darauf basierend in regelmäßigen Abständen aktualisiert.[176] Grundsätzlich beschränken sich die durch die Klimawirkung potenziell beeinträchtigten wassergebundenen Habitate und Feuchtgebiete nicht nur auf gesetzlich geschützte Biotope, sondern können darüber hinaus Flächen ohne Schutzstatus betreffen. Daten zur Lage und zum Umfang solcher Flächen gehen gegebenenfalls aus der Nutzungstypenkartierung hervor. Es ist allerdings davon auszugehen, dass Feuchtlebensräume ohne gesetzlichen Schutz in Schleswig-Holstein nicht in relevantem Umfang vorkommen. Vor dem Hintergrund des Ziels der Klimarisikoanalyse, das klimabedingte Risiko für besonders sensible und schutzwürdige Lebensräume zu identifizieren, ist die Nutzung der Ergebnisse der Biotopkartierung als primäre Datengrundlage sinnvoll. Auf eine Einbeziehung von Daten der Nutzungstypenkartierung wird verzichtet.

Beeinträchtigungen der Lebensraumqualität von Biotopen sind in der Regel die Folge vielfältiger Faktoren, die zusammenwirken. Meist ist eine reduzierte Lebensraumqualität primär auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Entwässerung, Nährstoffeinträge, Flächenumwandlung, forstliche oder landwirtschaftliche Nutzung sowie stoffliche Belastungen stellen meist die Hauptursachen für strukturelle und funktionale Störungen dar. So gehen beispielsweise Degradierungen von Hoch- und Niedermooren vor allem auf die entwässerungsbasierte landwirtschaftliche Nutzung zurück. Auch bei Waldmooren oder an oligotrophen Seen sind Beeinträchtigungen oder Zerstörungen maßgeblich anthropogen bedingt. Klimatische Veränderungen wirken demgegenüber häufig nicht isoliert, sondern treten als zusätzlicher Belastungsfaktor hinzu. Allerdings weisen anthropogen vorbelastete Ökosysteme gegenüber klimatischen Veränderungen oftmals eine erhöhte Sensitivität auf. Bestehende Degradierungen können die Resilienz eines Biotops herabsetzen und seine Anfälligkeit gegenüber Temperaturanstieg, veränderten Niederschlagsmustern oder Extremereignissen verstärken. Dies gilt insbesondere für Biotope, die ohnehin eine enge Kopplung an klimatische Rahmenbedingungen aufweisen. Vor diesem Hintergrund kommt den Hoch- und Niedermooren unter den exponierten Biotopen eine besondere Bedeutung zu. Hoch- und Niedermoore erfüllen nicht nur wichtige ökologische Funktionen und dienen als wertvolle wassergebundene Lebensräume für hochspezialisierte Arten, sondern sie werden auch in ihrer Beschaffenheit und ihrem Zustand – zusätzlich zu den anthropogenen Einflüssen – von den klimatischen Rahmenbedingungen geprägt. Die weiteren Ausführungen nehmen aus diesem Grund vor allem die Hoch- und Niedermoore Schleswig-Holsteins in den Blick.

6.4.3.2 Sensitivität

Die Sensitivität wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete wird durch Eigenschaften bestimmt, die diese Lebensräume besonders empfindlich gegenüber klimatischen Veränderungen machen. Bereits **bestehende anthropogene Beeinträchtigungen** stellen einen wesentlichen Faktor dar, der sich auf die Sensitivität auswirkt. Beispielsweise durch Entwässerung oder strukturelle Fragmentierung geschädigte wassergebundene Habitate zeichnen sich in der Regel durch

[175] Rat der Europäischen Gemeinschaften 1992: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (konsolidierte Fassung vom 1. Januar 2007). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 206, 7–50. https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:DE:PDF

[176] Themenportale Schleswig-Holstein 2025: Biotopkartierung. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/fachauswertungweb/

eine geringere Resilienz gegenüber klimatischen Extremen und insbesondere gegenüber Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse aus. Mit Blick auf die natürlichen Einflussfaktoren sind unter anderem Lebensräume sensitiv, deren Artenzusammensetzung und ökologische Funktionsfähigkeit eng an dauerhaft feuchte und kühle Standortbedingungen gebunden sind und nur geringe **Toleranz gegenüber hydrologischen und temperaturbezogenen Schwankungen** aufweisen. Dies trifft vor allem auf Feuchtlebensräume mit einem hohen Anteil an Kälte-, Kühle- sowie Feuchte- bis Nässezeigern zu. Dabei handelt es sich um Arten, deren Vorkommen eng an bestimmte Temperatur- und Feuchtebedingungen gebunden ist. Ihr Auftreten gilt als Indikator für klimatisch stabile, wenig gestörte Lebensräume. Auch die räumliche Ausdehnung der Lebensräume und der Grad der Fragmentierung kann Einfluss auf die Pufferfähigkeit haben, um hydrologische Schwankungen auszugleichen. Zusammenhängende und natürliche, möglichst ungestörte Feuchtlebensräume können auf einer größeren Fläche Wasser zurückhalten und dadurch Trockenphasen besser überbrücken. Sensitiv sind darüber hinaus Schutzgebiete, denen aufgrund ihrer besonderen naturräumlichen Ausprägung und ihres **ökologischen Werts** eine hohe Bedeutung für die Erhaltung der biologischen Vielfalt zukommt.

Zur Abbildung der Sensitivität im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse wurden ergänzend zu den ohnehin bereits besonders sensitiven Moorlebensräumen vier FFH-Lebensraumtypen ausgewählt und in ihrer Ausdehnung in Schleswig-Holstein untersucht. Diese aufgrund ihres hohen ökologischen Werts gesetzlich geschützten Lebensraumtypen (LRT) sind in besonderem Maße von stabilen hydrologischen Rahmenbedingungen abhängig, reagieren empfindlich auf Abweichungen von ihrem standorttypischen Wasserhaushalt und zeichnen sich durch einen besonders hohen Anteil an Kälte- und Feuchtezeigern aus:

- Renaturierungsfähige degradierte Hochmoore (LRT 7120)
- Übergangs- und Schwingrasenmoore (LRT 7140)
- Torfmoor-Schlenken (LRT 7150)
- Kalkreiche Niedermoore (LRT 7230)

Renaturierungsfähige degradierte Hochmoore (LRT 7120) umfassen ehemals intakte Hochmoore, deren natürliche Wasserverhältnisse durch anthropogene Eingriffe wie Entwässerung oder andere Nutzungen und/oder klimabedingt beeinträchtigt wurden. An diesen Standorten kommen in der Regel noch Arten vor, die für aktive Hochmoore typisch sind, und es besteht das Potenzial zur Wiederherstellung der moortypischen Strukturen und Prozesse.[177] Übergangs- und Schwingrasenmoore (LRT 7140) befinden sich an der Schnittstelle zwischen Hoch- und Niedermooren und werden sowohl von Niederschlagswasser als auch von mineralischem Grund- oder Oberflächenwasser beeinflusst. Charakteristisch sind Vorkommen von Seggenarten, die häufig mit den besonders klimasensiblen Torfmoosen (*Sphagnum*-Arten) vergesellschaftet sind.[178,179] Die Gesellschaften der Torfmoor-Schlenken (LRT 7150) sind denen der Übergangsmoore sehr ähnlich und stehen in enger ökologischer Beziehung zu ihnen. Kalkreiche Niedermoore (LRT 7230) sind dauerhaft nasse Feuchtgebiete, die von basen- und kalkreichem Grund- oder Quellwasser gespeist werden. Sie sind in der Regel geprägt durch kleinwüchsige Seggen- und Braunmoosgesellschaften sowie durch eine außerordentlich artenreiche, hoch spezialisierte Flora, darunter viele seltene und europaweit gefährdete Arten. Die Standorte sind hydrologisch fein ausbalanciert und dadurch besonders sensitiv gegenüber klimatisch bedingten Veränderungen im Wasserhaushalt.[180] Die in Schleswig-Holstein bestehenden FFH-Gebiete, die auf ihrer Fläche entweder vollständig oder anteilig mindestens einen der vier ausgewählten FFH-LRT aufweisen, sind in Abbildung 22 dargestellt.

[177] Europäische Kommission (Hrsg.) 2013: Interpretation manual of European Union habitats – EUR28. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/doc_manual_intp_habitat_ue_tcm30-207191.pdf

[178] Lütt S. 2021: 30 Jahre Vegetationsentwicklung schleswig-holsteinischer Moore – Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen. Natur und Landschaft, 96, 12, 570–578. https://bfn.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/1094/file/NuL2021-12-02a.pdf

[179] Europäische Kommission 2013, s. Fußnote 177

[180] Europäische Kommission 2013, s. Fußnote 177

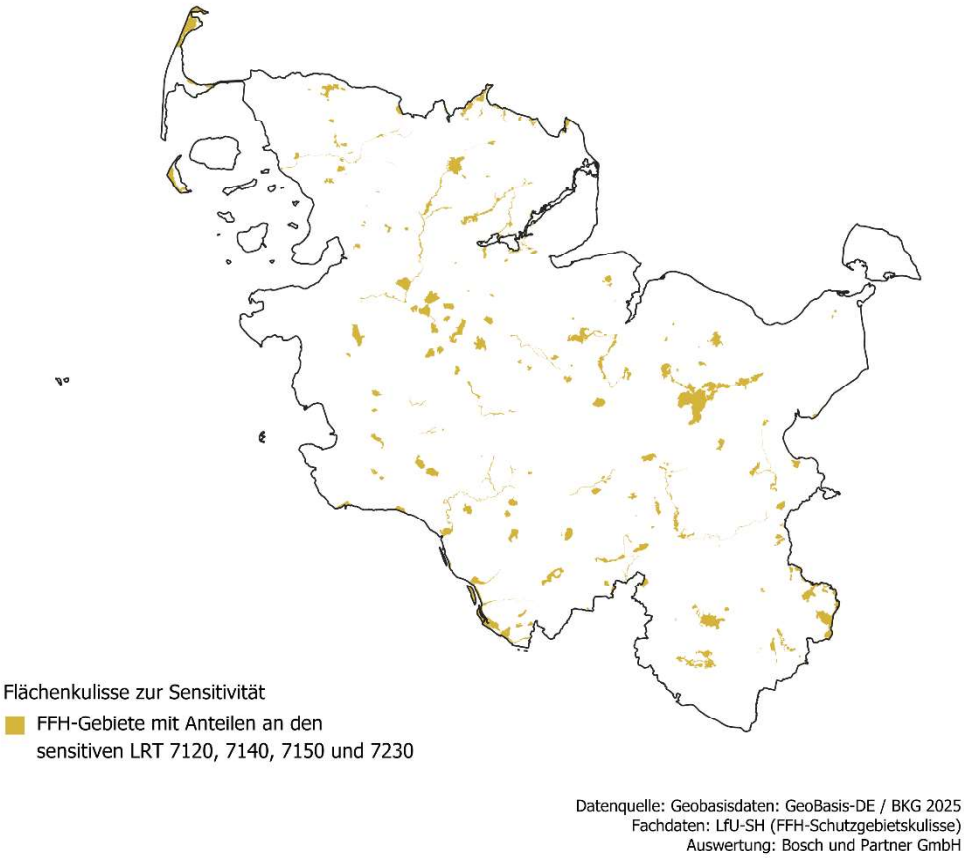


Abbildung 22: FFH-Gebiete in Schleswig-Holstein, die auf ihrer Fläche vollständig oder anteilig mindestens einen der vier ausgewählten sensitiven Lebensraumtypen aufweisen

6.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

6.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Systematisch erfasste und flächendeckende Daten zu eindeutig klimatisch bedingten oder anteilig durch klimatische Veränderungen verursachte Schäden an den wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten in Schleswig-Holstein liegen nicht vor. Die Erfassung solcher Daten wird zum einen dadurch erschwert, dass Veränderungen in den Lebensräumen in der Regel multifaktoriell bedingt sind und in der Regel hauptsächlich auf anthropogene Einflüsse zurückgehen. Dazu gehören insbesondere landnutzungsbedingte Vorbelastungen, hydromorphologische Veränderungen sowie Nährstoffeinträge. Zum anderen müssen Daten, die den Zustand beziehungsweise die Beeinträchtigung von Lebensräumen betreffen, stets im Kontext der jeweiligen örtlichen Rahmenbedingungen interpretiert werden. Die Daten sind aufgrund der komplexen ökologischen Zusammenhänge nur für ihren jeweiligen Standort repräsentativ. Eine übergreifende Zusammenschau kann deshalb allenfalls Hinweise auf grundsätzliche Entwicklungstendenzen liefern. Eine Beurteilung der landesweiten Ausprägung der Klimawirkung ist nicht möglich.

Informationen zur regionalen und lokalen Entwicklung sowie zum aktuellen Zustand von einzelnen FFH-Gebieten liefert das FFH-Monitoring. Ein Teil der für diese Klimawirkung relevanten Gebietskulisse in Schleswig-Holstein ist als FFH-Gebiete ausgewiesen und unterliegt damit der regelmäßigen Beurteilung des Erhaltungszustands. Aus den Ergebnissen des FFH-Monitorings sowie der Berichterstattung nach Artikel 17 der FFH-Richtlinie lassen sich einzelfallbezogene Hinweise auf Veränderungen der Struktur, Funktion und Artenausstattung der jeweiligen wassergebundenen Lebensräume ableiten. Die dazugehörigen FFH-Managementpläne beinhalten zudem für das entsprechende Gebiet Informationen zur Anzahl, zum räumlichen Umfang und zur Art umgesetzter oder geplanter Maßnahmen, beispielsweise zur Wiedervernässung. Allerdings lassen sich Zustandsänderungen auch anhand der Ergebnisse des FFH-Monitorings nicht in jedem Fall eindeutig auf klimatische Ursachen zurückführen. Zudem würde der Aufwand für eine vergleichende Auswertung der FFH-Monitoringdaten aufgrund der Vielzahl der zu untersuchenden FFH-Gebiete den Rahmen der Klimarisikoanalyse überschreiten. Auf eine tiefergehende Auswertung der FFH-Monitoringdaten wird aus diesem Grund verzichtet.

Neben der habitatbezogenen Betrachtung bietet auch das Vorkommen ausgewählter, an Feuchtlebensräume gebundener Arten einen Ansatz für das Monitoring. Wassergebundene Habitate und Feuchtgebiete weisen häufig eine

charakteristische und teils hochspezialisierte Artenausstattung auf. Veränderungen in der Verbreitung, Häufigkeit oder Bestandsentwicklung der charakteristischen Arten können Hinweise auf Veränderungen der Habitatqualität geben. Als Datengrundlage steht hierfür insbesondere das Zentrale Artenkataster Schleswig-Holstein (ZAK)[181] zur Verfügung. Darüber hinaus gibt es in Schleswig-Holstein weitere datenhaltende Institutionen, die über Verbreitungs- und Beobachtungsdaten für ausgewählte Artengruppen verfügen. Dazu gehört beispielsweise die Faunistisch-Ökologische Arbeitsgemeinschaft (FÖAG). Erkenntnisse lassen sich zudem aus einzelnen artbezogenen Fallstudien gewinnen. Besonders geeignete bioindikative Arten sind solche, die eng an die exponierten Lebensräume gebunden sind und die eine geringe Toleranz gegenüber Veränderungen des Wasserhaushalts aufweisen. Mit Blick auf die Moorvegetation zählen dazu Torfmoose der Gattung *Sphagnum*. Als charakteristische Arten der Hochmoore reagieren diese unmittelbar auf Veränderungen der Wasserverfügbarkeit. In einer langfristig angelegten Studie von Lütt (2021)[182] wurde auf 22 Dauerbeobachtungsflächen in drei Mooren Schleswig-Holsteins von 1989 bis 2019 im Abstand von 10 Jahren die Vegetation erfasst. Ziel der Untersuchung war die Beobachtung und Analyse der Vegetationsentwicklung vor dem Hintergrund durchgeführter und zukünftiger Renaturierungsmaßnahmen. In zahlreichen Handtorfstichen konnte über die 30 Jahre hinweg unter anderem die Ausbreitung von Mittlerem Torfmoos (*Sphagnum magellanicum*) und ein Rückgang anderer *Sphagnum*-Arten, insbesondere *Sphagnum fallax*, nachgewiesen werden. Es wird davon ausgegangen, dass diese Beobachtung zum Teil auch eine Folge der klimatischen Entwicklungen ist: *Sphagnum magellanicum* verfügt über eine höhere Wasserhaltekapazität und eine höhere Austrocknungstoleranz als *Sphagnum fallax*.[183,184] Davon könnte *Sphagnum magellanicum* im Falle häufigerer Trockenperioden zukünftig profitieren. Auch die Verbreitung oder die Gefährdungseinstufung ausgewählter Gefäßpflanzen moortypischer Lebensräume wie beispielsweise des Weißen Schnabelrieds (*Rhynchospora alba*) sowie von Amphibienarten mit enger Bindung an Feuchtgebiete wie dem Moorfrosch (*Rana arvalis*) können als Indikator für Beeinträchtigungen von wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten herangezogen werden. Allerdings ist auch bei diesen artbezogenen Daten zu berücksichtigen, dass die Bestandsentwicklung und beispielsweise die Gefährdungseinstufung gemäß den Roten Listen[185] neben klimatischen Faktoren häufig von weiteren, vor allem anthropogen bedingten Faktoren wie Lebensraumfragmentierung oder Nährstoffangebot beeinflusst werden. Auch artbezogene Entwicklungen müssen standort- und populationsspezifisch beurteilt werden, da die Artenausstattung und deren Reaktion auf Veränderungen des Wasserhaushalts eng an die jeweiligen lokalen Standortbedingungen angepasst sind. Beobachtete Veränderungen lassen sich meist nicht ohne Weiteres auf andere Standorte übertragen. Zudem bestehen bei langfristigen Beobachtungen oft Unterschiede in der Erhebungsmethodik und -häufigkeit. Auf eine Darstellung von konkreten Artverbreitungsdaten im zeitlichen Verlauf wird deshalb im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse verzichtet.

6.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Aufgrund der Einschränkungen im Monitoring der Klimawirkung lassen sich auch künftige Schäden und Beeinträchtigungen an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten nicht direkt und über alle betroffenen Lebensräume hinweg projizieren. Anhand ausgewählter Parameter, die sich unter Berücksichtigung von Relevanz und Datenverfügbarkeit zur Operationalisierung von Klimasignal, Exposition und Sensitivität eignen, lässt sich aber eine vereinfachte Risikoabschätzung ableiten. Die zur Operationalisierung ausgewählten Parameter sind in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisikoanalyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	Klimatische Wasserbilanz in mm	-50 bis 0 > 0 bis 50 > 50 bis 100 > 100 bis 150	DWD, CDC

[181] MEKUN 2026: Zentrales Artenkataster Schleswig-Holstein. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/fachauswertungweb/?login=true&portale=artdaten

[182] Lütt S. 2021: 30 Jahre Vegetationsentwicklung schleswig-holsteinischer Moore – Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen. Natur und Landschaft, 96, 12, 570–578. https://bfn.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/1094/file/NuL2021-12-02a.pdf

[183] Clymo R. S., Haword P. M. 1983: The *Sphagnum* ecology. In: Smith A. J. (Hrsg.): Bryophyte ecology. Chapman and Hall. London: 229–289.

[184] Ellenberg H., Leuschner C. 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer, Stuttgart: 1334 S.

[185] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Rote Listen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/A/artenschutz/as_04_RoteListen

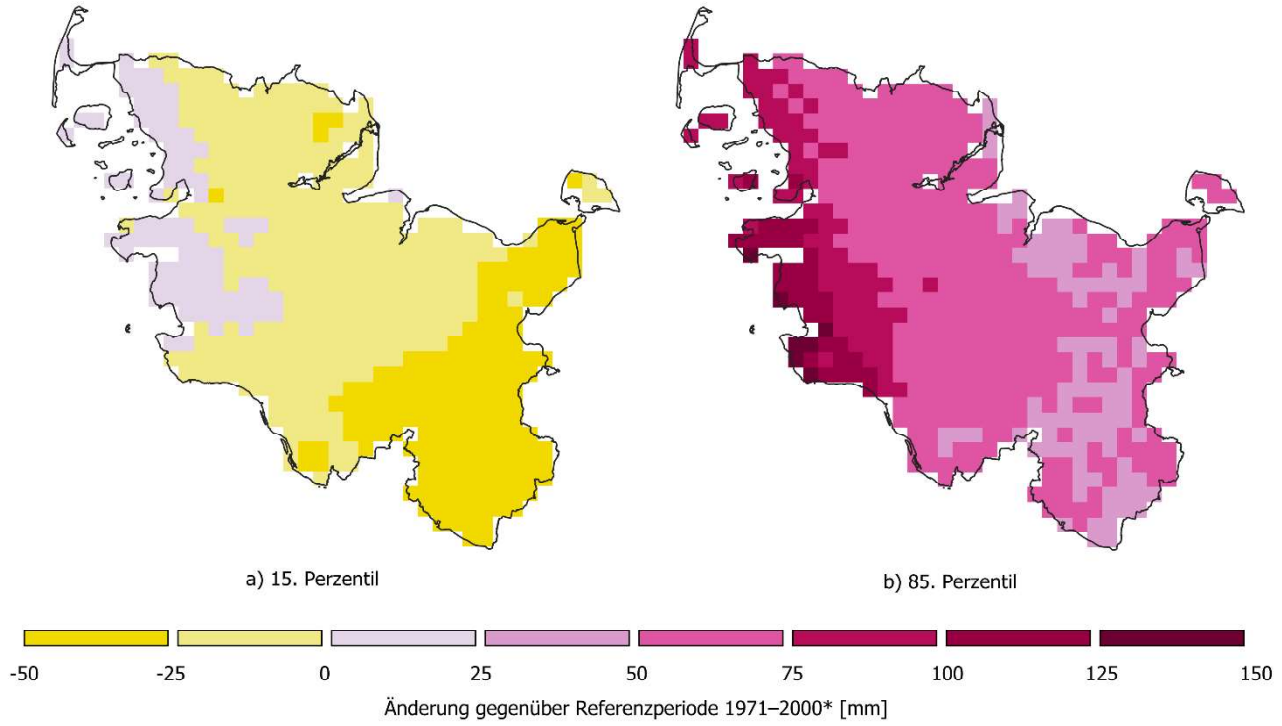
		> 150 bis 200 > 200 bis 250 > 250 bis 300 > 300 bis 350 > 350 bis 400 > 400 bis 450	
Exposition	Moorkulisse in Schleswig-Holstein	Hoch- und Niedermoore	Landesamt für Umwelt, Moorkulisse
Sensitivität	Flächenkulisse ausgewählter sensitiver FFH-LRT in Schleswig-Holstein (LRT 7120, 7140, 7150 und 7230)	keine Kategorisierung	Landesamt für Umwelt, FFH-Monitoring

6.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Die Klimaprojektion zur KWB für Schleswig-Holstein zeigt unter Annahme des RCP8.5 bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031–2060) eine große Spannbreite der Entwicklung (siehe Abbildung 24). Das 15. Perzentil des Modellensembles projiziert für den Großteil des Landes eine Abnahme der KWB. Im südlichen Drittel Schleswig-Holsteins kann diese Abnahme bis zu 50 mm gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 betragen. Lediglich entlang der Nordseeküste ab der Meldorfer Bucht bis zur nördlichen Landesgrenze wird auch beim 15. Perzentil eine geringfügige Zunahme erwartet. Das 85. Perzentil zeigt für ganz Schleswig-Holstein eine Zunahme der KWB. Die Intensität der Zunahme zeigt eine ähnliche räumliche Differenzierung wie beim 15. Perzentil: Die größten Zunahmen von bis zu 150 mm werden für die westlichen Landesteile projiziert und gehen vor allem auf die projizierte Zunahme der Niederschläge zurück (siehe Klimaanalyse, Abbildung 17). Diese sollen landesweit zunehmen.[186]

In Abbildung 24 sind die auf Basis der möglichen Änderungen projizierten absoluten Werte der KWB für Schleswig-Holstein dargestellt. Im Großteil des Landes überwiegen selbst unter Berücksichtigung der beim 15. Perzentil projizierten Abnahmen insgesamt positive Bilanzwerte. Eine negative KWB ergibt sich lediglich für kleine Bereiche im Süden Schleswig-Holsteins. Eine insgesamt positive KWB bedeutet allerdings nicht automatisch eine Aufrechterhaltung eines guten Zustands wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete. Jede Änderung der KWB kann ein fein balanciertes hydrologisches Gleichgewicht in den Lebensräumen stören, auch wenn sich insgesamt kein Niederschlagsdefizit einstellt. Der weiteren Risikoabschätzung wird das 15. Perzentil zugrunde gelegt.

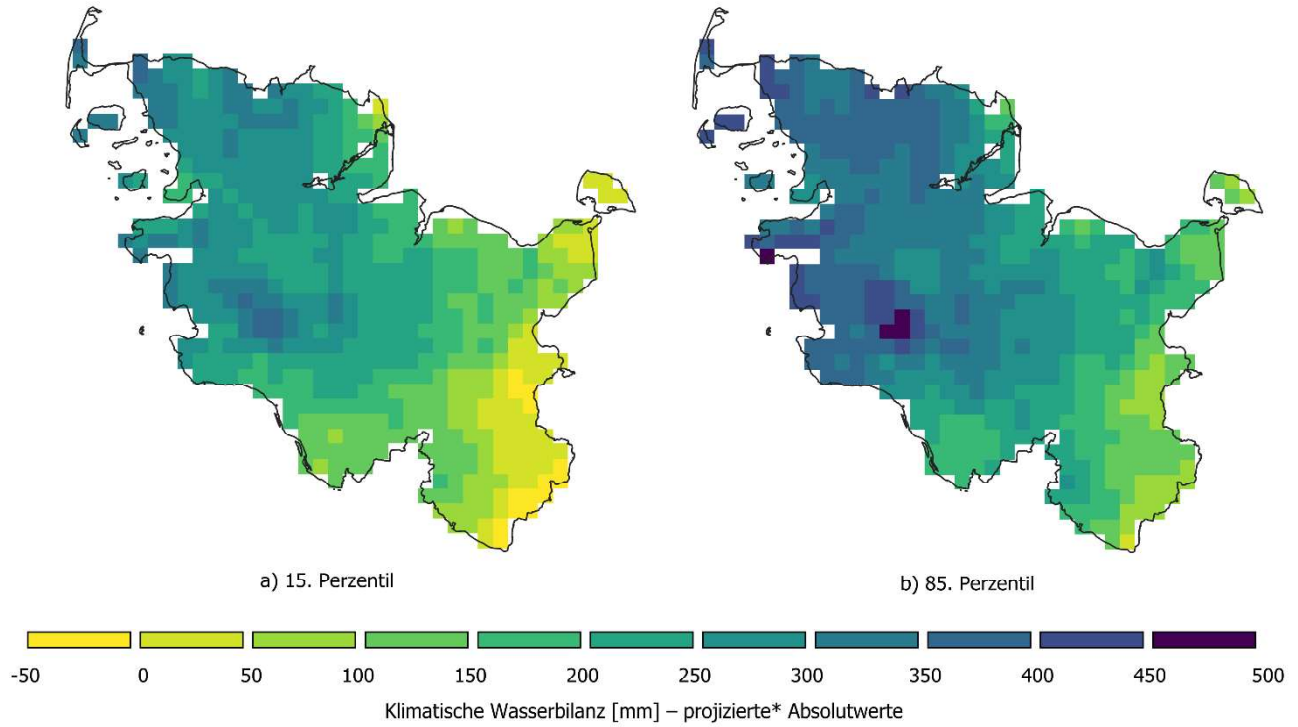
[186] Zu vergleichbaren Aussagen kommen auch Pfeifer S, Rechid D, Bathiany S. 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.). https://gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf



* Projektion: RCP8.5, Projektionszeitraum 2031–2060

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2025
Fachdaten: DWD; Auswertung: Bosch und Partner GmbH

Abbildung 23: 15. Perzentil (a) und 85. Perzentil (b) der projizierten Änderung der KWB für den Zeitraum 2031–2060 gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 (RCP8.5)



* Projektion: RCP8.5, Projektionszeitraum 2031–2060

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2025
Fachdaten: DWD; Auswertung: Bosch und Partner GmbH

Abbildung 24: 15. Perzentil (a) und 85. Perzentil (b) der projizierten absoluten KWB bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, RCP8.5)

Es wird darauf hingewiesen, dass die KWB die erforderlichen hydrologischen Voraussetzungen für das Moorwachstum nur näherungsweise abbilden kann. Für die Entwicklung und Erhaltung von Moorlebensräumen ist eine dauerhaft hohe und möglichst gleichmäßig über das Jahr verteilte Wasserverfügbarkeit von zentraler Bedeutung. Viele moortypische Tier- und Pflanzenarten sind an stabile, ganzjährig feuchte bis nasse Standortbedingungen angepasst und reagieren empfindlich

auf wiederkehrende oder länger anhaltende Absenkungen des Wasserstandes. Jahresmittel oder über mehrere Jahre gemittelte Werte der KWB bilden die innerjährliche Verteilung von Niederschlägen nicht ab und können ausgeprägte sommerliche Defizitphasen überdecken. Zudem berücksichtigt die KWB keine standörtlichen Besonderheiten wie Wasserhaltevermögen, Grundwasseranbindung, Entwässerungsgrad oder kleinräumige Reliefunterschiede. Projektionen zur saisonalen oder monatlichen KWB beziehungsweise zu weiteren für die hydrologischen Verhältnisse relevanten Parameter wie Verdunstung oder Grundwasserstände liegen nicht in der erforderlichen feinen zeitlichen Auflösung vor oder sind mit großen Unsicherheiten verbunden. Aus diesem Grund wird die Analyse trotz der genannten Einschränkungen behelfsweise auf die Projektionen der KWB gestützt. Die Einschränkungen in der Aussagekraft sind in der Interpretation der Ergebnisse entsprechend zu berücksichtigen.

6.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Grundsätzlich wirkt sich die Klimawirkung potenziell auf alle wassergebundenen Habitate und Feuchtgebiete in Schleswig-Holstein aus, die in Abbildung 21 dargestellt sind. Aufgrund der in Kapitel 6.4.3 begründeten Schwerpunktsetzung und zur übersichtlicheren Darstellung in der Überlagerung wird die Exposition für die Klimarisikoanalyse auf die Hoch- und Niedermoorflächen Schleswig-Holsteins reduziert. Als Datengrundlage dient die im Umweltportal[187] abrufbare Moorkulisse mit Stand 2022. Projektionsdaten zur zukünftigen Ausdehnung und Ausprägung der Moorflächen in Schleswig-Holstein sind nicht verfügbar. Umfassende Änderungen im Zuschnitt der Flächen sind nicht zu erwarten. Aus diesem Grund wird für die Risikoabschätzung von der aktuellen Ausdehnung ausgegangen.

Basierend auf den Ausführungen in Kapitel 6.4.3 wird für die Sensitivität die Flächenkulisse der vier ausgewählten FFH-Lebensraumtypen 7120, 7140, 7150 und 7230 zugrunde gelegt. Wie auch bei der Exposition gibt es keine Daten zur zukünftigen Ausdehnung und Lage dieser FFH-Lebensraumtypen in Schleswig-Holstein. Es wird deshalb auch für die Sensitivität vom aktuellen Stand ausgegangen. Um auszuschließen, dass Flächen in die Auswertung eingehen, die als sensitiver FFH-Lebensraumtyp kategorisiert sind, nicht aber als Hoch- oder Niedermoorstandort, wurden die beiden Datensätze zur Exposition und zur Sensitivität zuvor miteinander verschnitten.

6.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Abbildung 25 zeigt die räumliche Risikoabschätzung zur Klimawirkung mit Blick auf mögliche Auswirkungen für die Moorlebensräume in Schleswig-Holstein. Die Abschätzung basiert auf der Projektion der klimatischen Wasserbilanz unter Annahme des RCP8.5 (15. Perzentil), um die für mögliche Beeinträchtigungen an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten relevanten Klimasignale Niederschlag, Temperatur und Verdunstung in einem kombinierten Parameter zusammenzuführen. Der Projektion der KWB werden die Flächenkulisse der Hoch- und Niedermoore überlagert. Teile dieser Kulisse, die als FFH-Schutzgebiete ausgewiesen sind und einen der sensitiven FFH-LRT 7120, 7140, 7150 oder 7230 aufweisen, sind als besonders sensitive Bereiche der Moorkulisse gekennzeichnet.

Die räumliche Darstellung des Klimarisikos zeigt, dass potenziell betroffene Moorstandorte in Schleswig-Holstein nicht flächendeckend in ähnlicher Dichte und Größe auftreten, sondern sich räumlich auf bestimmte Regionen konzentrieren. Risikoschwerpunkte ergeben sich insbesondere in den südlichen und südöstlichen Landesteilen, wo Moorflächen mit vergleichsweise niedrigen oder sogar negativen projizierten Werten der klimatischen Wasserbilanz zusammentreffen. In diesen Bereichen sind die Moorstandorte kleinräumiger ausgeprägt und stärker fragmentiert. Unter Umständen machen diese Faktoren die dort befindlichen Lebensräume anfälliger gegenüber geringen hydrologischen Veränderungen. So wäre bereits bei moderaten Änderungen der Wasserverfügbarkeit im Süden Schleswig-Holsteins mit weiteren Beeinträchtigungen der Moore zu rechnen. Gleichzeitig zeigt die Analyse, dass die meisten und auch größten zusammenhängenden Moorflächen überwiegend in Regionen mit höheren positiven Werten der klimatischen Wasserbilanz liegen. Einige relevante Flächen konzentrieren sich auf den Bereich zwischen der Hohen Geest und der Schleswigschen Vorgeest in der Eider-Treene-Sorge-Niederung. Die Niederung umfasst Moorflächen, die auch heute noch Mächtigkeiten von bis zu 8 m aufweisen.[188] Die Konzentrierung der Moore in der Niederung ist auch in der Historie und Moorgenese bereits darauf zurückzuführen, dass sich das Gebiet durch eine besonders ausgeprägte Wasserverfügbarkeit auszeichnet. Zur Erhaltung der großen und zusammenhängenden Hoch- und Niedermoorkomplexe hat maßgeblich beigetragen, dass sich die Niederungsflächen in der Vergangenheit nur vergleichsweise extensiv nutzen ließen. Das Gebiet ist wertvoller Lebensraum für

[187] Umweltportal Schleswig-Holstein 2025: https://umweltportal.schleswig-holstein.de/startseite

[188] BfN – Bundesamt für Naturschutz 2025: Eider-Treene-Sorge-Niederung. Beschreibung. https://www.bfn.de/landschaftssteckbriefe/eider-treene-sorge-niederung

Amphibienpopulationen sowie einige seltene Pflanzenarten. Wichtige Naturschutzgebiete sind beispielsweise „Wildes Moor", „Tetenhusener Moor" und „Dellstedter Birkwildmoor", die auch als FFH-Gebiete ausgewiesen sind.[189] Die projizierte Entwicklung der KWB deutet darauf hin, dass sich die Wasserverfügbarkeit im Bereich der Eider-Treene-Sorge-Niederung zwar verschlechtern könnte, die Moorstandorte aber trotz dieser Abnahme zukünftig von vergleichsweise günstigen Wasserbilanzen profitieren könnten.

Zu berücksichtigen ist, dass eine insgesamt positive klimatische Wasserbilanz keine konkreten Rückschlüsse auf die saisonale Wasserverfügbarkeit zulässt. Zukünftig häufigere und längere Trockenperioden im Frühling und Sommer können auch in Gebieten, die über das Jahr gerechnet kein Niederschlagsdefizit aufweisen, zu Beeinträchtigungen führen. Aus den Projektionsdaten des DWD zum Auftreten von Trockenperioden, das heißt Zeiträume von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm, lässt sich keine eindeutige Entwicklungstendenz für die nahe und ferne Zukunft ableiten. Unter Annahme des RCP8.5 und des 85. Perzentils könnte Mitte des Jahrhunderts örtlich bis zu einer Trockenperiode mehr auftreten als in der Referenzperiode 1971–2000 (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29).

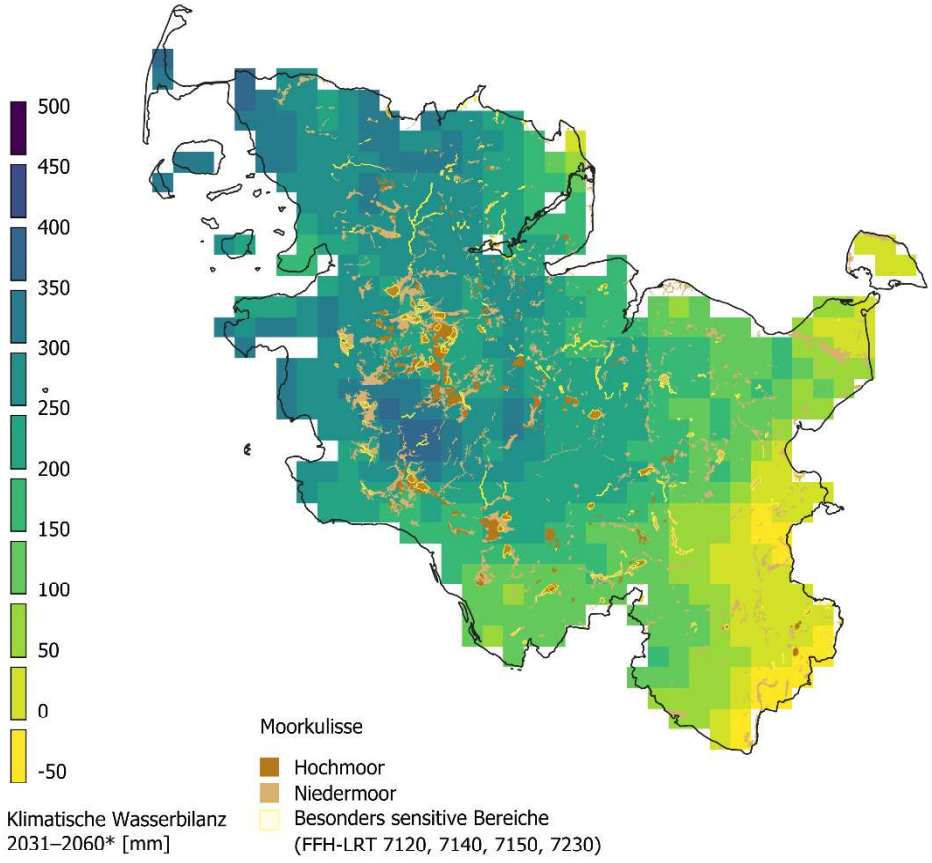


Abbildung 25: Risikoabschätzung zur Klimawirkung auf der Grundlage einer Parameterüberlagerung

Vor dem Hintergrund der zukünftig potenziell stärker ausgeprägten Unterschiede in der innerjährlichen Niederschlagsverteilung, möglicherweise häufiger auftretenden Trockenperioden und der unter bestimmten Annahmen in nahezu ganz Schleswig-Holstein erwarteten Abnahme der KWB ist für einen wirksamen und langfristigen Schutz der Hoch- und Niedermoore die gesamte Moorkulisse in den Blick zu nehmen. Aus der Karte zur Risikoabschätzung in Abbildung 25 lässt sich zwar ein grobes Muster der in naher Zukunft potenziell besonders betroffenen Landesteile erkennen, das Ergebnis stellt aber aufgrund der beschränkten Parameterzahl und der reduzierten Flächenkulisse eine stark vereinfachte Grundlage für die Risikobeurteilung dar. Eine belastbare Einschätzung des klimabedingten Risikos für einzelne Moorstandorte sowie die darauf basierende Ableitung geeigneter Management- und Anpassungsmaßnahmen kann nur einzelfallbezogen erfolgen.

[189] BfN 2025, s. Fußnote 188

Die Reaktion von Mooren auf Veränderungen der klimatischen Wasserbilanz hängt in hohem Maße von standortspezifischen Faktoren ab, darunter die Ausprägung und Mächtigkeit des Torfkörpers, der Grad und die Art bestehender Entwässerungen, die hydrologische Anbindung an Grund- und Oberflächenwasser sowie der aktuelle Zustand der Vegetation. Auch historische Nutzungen und laufende Managementmaßnahmen wie Wiedervernässungen beeinflussen maßgeblich, wie sensibel ein Standort auf klimatische Veränderungen reagiert. Diese komplexen lokalen Rahmenbedingungen lassen sich in einer landesweiten, rasterbasierten Klimarisikoanalyse nicht abbilden. Die dargestellte Risikoabschätzung ist vor diesem Hintergrund nur als grobe Orientierung zu verstehen.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass Hoch- und Niedermoore einen zwar naturschutzfachlich besonders relevanten, aber räumlich nur kleinen Teil der wassergebundenen Habitate und Feuchtgebiete in Schleswig-Holstein darstellen. Die in der Klimarisikoanalyse betrachtete Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz wirkt sich grundsätzlich auch auf die weiteren in Kapitel 6.4.3 genannten feuchten und nassen Lebensräume aus. Auch diese sind in ihrer ökologischen Funktionsfähigkeit eng an die Wasserverfügbarkeit im Boden und an die saisonale Verteilung von Niederschlägen gebunden und können infolge steigender Temperaturen und veränderter Niederschlagsmuster unter zunehmenden Trockenstress geraten. Die für die Moorstandorte abgeleiteten Aussagen auf Grundlage der projizierten Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz lassen sich in ihrer grundsätzlichen Wirkungsrichtung auch auf andere wassergebundene Habitate und deren Artenausstattung übertragen, wenngleich sich Art und Ausmaß der Beeinträchtigungen je nach Lebensraumtyp und Artengruppe unterscheiden können.

Als Maßnahmen zur langfristigen Erhaltung wassergebundener Habitate und Feuchtgebiete eignen sich vor dem Hintergrund der erwarteten klimatischen Entwicklung insbesondere solche, die sowohl die hydrologische Stabilität als auch die ökologische Funktionsfähigkeit dieser Lebensräume stärken. Ein zentrales Element ist dabei die Wiederherstellung naturnaher Wasserverhältnisse, insbesondere durch Renaturierung und Wiedervernässung zum Beispiel ehemals entwässerter Moorstandorte, um deren Wasserhaltekapazität zu erhöhen und die standorttypische Vegetation zu fördern. Dass diese Maßnahmen Wirkung entfalten können, wenn Sie auf die lokalen Rahmenbedingungen zugeschnitten sind, zeigen unter anderem die Erkenntnisse von Lütt (2021)[190]. Die Beobachtungen zur Entwicklung der Hochmoorvegetation in ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein, in denen Renaturierungs- und Wiedervernässungsmaßnahmen umgesetzt wurden, unterstreichen den hohen Wert einer Umsetzung solcher Maßnahmen. Vor dem Hintergrund der naturschutzfachlichen Bedeutung der Moore in Schleswig-Holstein ist die Umsetzung entsprechender Maßnahmen derzeit auch Gegenstand landesweiter Programme. Im Rahmen des Programms „Biologischer Klimaschutz durch Moorschutz und Neuwaldbildung“ sollen bis 2030 zusätzliche Moorflächen gesichert und klimatisch optimiert entwickelt werden, um sowohl die Biologische Vielfalt zu stärken als auch Synergien mit dem Klimaschutz zu erzeugen: Durch die Wiedervernässung von Moorböden sollen bis 2030 rund 700.000 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr eingespart werden.[191] Neben der technischen Umsetzung bildet auch die Unterstützung und Vernetzung von Akteurinnen und Akteuren eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von Natur- und Artenschutzmaßnahmen vor dem Hintergrund der klimatischen Herausforderungen.

[190] Lütt 2021, s. Fußnote 182

[191] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Biologischer Klimaschutz. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/umwelt-naturschutz/biodiversitaetsstrategie/dokumente/biodiversitaetsinitiative

7 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Boden

7.1 Relevanz des Handlungsfelds

Dem Boden kommt eine sehr zentrale Rolle im Ökosystem zu, denn Böden erfüllen eine Vielzahl von Aufgaben in Naturhaushalt, die unter anderem der Mensch direkt oder auch indirekt in Anspruch nimmt. Der Boden ist zum einen Träger der Vegetation, zum anderen schützt er das Grundwasser. In Zeiten des Klimawandels übernimmt der Boden wichtige Pufferfunktionen, er nimmt Wasser bei Regenfällen auf, speichert das Wasser bei günstiger Bodenstruktur und trägt mit der Verdunstung von Bodenwasser zur Kühlung der Umgebung bei. Gleichzeitig ist Boden aber eine hoch begehrte Ressource. Land- und Forstwirtschaft nutzen die Produktionsfunktion des Bodens. Gleichzeitig führt die fortgesetzte Flächeninanspruchnahme durch bauliche Infrastruktur zu einer zunehmenden Versiegelung von Böden, womit die wichtigen Bodenfunktionen verloren gehen. Revitalisierungen ehemals versiegelter Böden sind nur mit hohem Aufwand möglich. Böden sind häufig das Ergebnis jahrtausendelanger Bodenbildungsprozesse. Die Entwicklung einer ein Zentimeter mächtigen, humosen Bodenschicht kann natürlicherweise 100 bis 300 Jahren dauern[192].

Niederschlag und Temperatur sind bestimmend für die Bodenbildung sowie den Wasser- und Stoffhaushalt der Böden. Die klimawandelbedingten Veränderungen des Niederschlags- und Temperaturregimes haben daher Folgen für die Böden, zunächst unabhängig von ihrer Nutzung. Mit steigenden Bodentemperaturen erhöht sich die Verdunstung, was Wasserverluste aus dem Bodenwasservorrat zur Folge hat. Eine veränderte Sickerwassermenge wirkt sich auf die Grundwasserneubildung sowie die Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Bodenprofil aus. Ausgetrocknete Böden haben eine verringerte Wasserleitfähigkeit. Starke Niederschläge führen zu verstärktem Oberflächenabfluss, wenn sie auf ausgetrocknete Böden fallen, was wiederum Wasserverluste aus der Landschaft und ein erhöhtes Erosionsrisiko zur Folge hat. Trockene Böden und Vegetation erhöhen außerdem die Gefahr von Vegetationsbränden. Nicht zuletzt beeinträchtigen geringe Bodenwassergehalte die Vegetationsentwicklung, mindern also auch Ernteerträge und schädigen Wälder. Zudem ist der Boden selbst ein Ökosystem, das Tieren und Mikroorganismen Lebensraum bietet. Diese können bei tiefreichender Austrocknung der Böden beeinträchtigt werden.

Das Handlungsfeld Boden hat zahlreiche Schnittstellen mit den Handlungsfeldern Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft sowie Stadt- und Siedlungsentwicklung. Daher gibt es aus der Beschreibung der Klimawirkungen zum Handlungsfeld Boden heraus zahlreiche Verweise auf dir Klimawirkungen der genannten Handlungsfelder.

7.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

7.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Bodenerosion durch Wind

Bodenerosion ist eine nach wie vor unterschätzte Problematik. Sie betrifft den Oberboden, in dem sich ein Großteil der Nährstoffe und des Humus befindet und das Bodenleben besonders intensiv ist. Wenn diese Bodenschicht abgetragen wird, geht Bodenfruchtbarkeit verloren. Bodenverluste durch Bodenerosion ziehen daher sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Beeinträchtigungen nach sich. Diese nachteiligen Auswirkungen betreffen dabei nicht nur die erodierten Flächen selbst, sondern auch näher oder weiter entfernte Bereiche, in denen es zur Ablagerung des erodierten Bodenmaterials kommt. Insbesondere der Eintrag von erodiertem Material in Oberflächengewässer provoziert Eutrophierung und eine Verschlämmung der Gewässersohle. Außerdem kann es zur Verschmutzung von Verkehrs- und Siedlungsinfrastruktur kommen, und landwirtschaftliche Kulturen können durch Abrasion oder Überdeckung beeinträchtigt werden.

[192] UBA: Entwicklung des Bodens.
https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kleine-bodenkunde/entwicklung-des-bodens#lange-entwicklung

Zun Winderosion kommt es, wenn Winde in ausreichender Geschwindigkeit auf lückenhafte Vegetation mit geringer Bodenbedeckung und auf leicht verwehbares, trockenes Lockermaterial besonders der Fein- und Mittelsandfraktion treffen. Für die Analyse der Entwicklung erosionsauslösender Winde ist die Datenlage begrenzt. Die mittleren Windgeschwindigkeiten und die mittleren Windspitzen sind nur bedingt aussagekräftig, da sie keine Aussage zur Erreichung der Schwellenwerte erosiver Wirkung treffen. Die Windgeschwindigkeiten und -spitzen sind an den Küstengebieten am höchsten und nehmen in einem Nord-Süd-Gefälle ab. Die Zeitreihen zeigen seit den 1950er Jahren keine statistisch signifikanten Trends. Auch Analysen zum Auftreten von Tagen mit Spitzenwindgeschwindigkeiten (Böen) von mindestens 62 bis 74 km/h liefern keine Hinweise auf eine Zunahme. Sie erlauben auch nur begrenzte Aussagen zur Winderosion, da die betrachteten Windstärken deutlich über den Auslöseschwellen für Winderosion liegen können. Im Jahresdurchschnitt überwiegen in Schleswig-Holstein Winde aus westlichen Richtungen, die bei höherer Luftfeuchtigkeit und mehr Niederschlägen zumeist nicht zu nennenswerten Auswehungen führen. Als erosionsauslösend gelten vor allem die oft deutlich trockeneren Ostwinde. Aus der bisherigen Entwicklung des Windgeschehens in Schleswig-Holstein lässt sich kein generell steigendes Risiko für Winderosion ableiten. Bodentrockenheit begünstigt ebenfalls die Winderosion. Für Schleswig-Holstein zeigte sich in den vergangenen gut 60 Jahren eine Zunahme von Tagen mit einer nutzbaren Feldkapazität (nFK) der Böden unter 30 %. Solch niedrige Werten deuten auf Bodentrockenheit hin. Einen gegenläufigen Effekt auf die Winderosionsanfälligkeit lässt sich aus der klimawandelbedingten Verschiebung der Phänophasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ableiten: Eine früher startende Vegetationsperiode ermöglicht grundsätzlich eine frühere Bodenbedeckung im Jahr und könnte die sensible Phase unzureichender Bodenbedeckung im Frühjahr verkürzen.

Als gegenüber Winderosion besonders exponiert gelten einjährigen Ackerkulturen, da dann in der Fruchtfolge Phasen mit unzureichender oder fehlender Bodenbedeckung auftreten. Die Ackernutzung Schleswig-Holsteins unterlag in den vergangenen zehn Jahren nur geringen Veränderungen, sodass diesbezüglich von einem nennenswerten Einfluss auf die Winderosion nicht auszugehen war. Die Bodenbedeckung ist vor allem beim Anbau von Sommergetreide, Hackfrüchten (Kartoffeln, Zuckerrüben) und Mais in den winderosionssensiblen Phasen des Jahres nur gering. Der Anteil gerade dieser Kulturen an der Ackerfläche ist in Schleswig-Holstein vergleichsweise hoch. Die potenzielle Winderosionsgefährdung wird in Schleswig-Holstein regelmäßig im Zuge der Regelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) auf der Grundlage von Daten zu Oberbodenart, Windverhältnissen und Windhindernissen aktualisiert. Als von der Bodenart besonders anfällig gelten die sandigen Böden des Geestrückens (Vorgeest, Hohe Geest) sowie ackerbaulich genutzte (entwässerte) Moorböden. Die traditionellen Knicks, die erheblich zur Reduzierung der Windgeschwindigkeiten beitragen, sind inzwischen gesetzlich geschützte Biotope. Als nach dieser Analyse am stärksten gefährdet gelten die westlichen und zentralen Landesteile. Die küstennahe Marsch im Westen und das Östliche Hügelland werden deutlich überwiegend als nicht oder nur sehr gering winderosionsgefährdet eingestuft.

Ein systematisches Monitoring zu Winderosionsereignissen gibt es in Schleswig-Holstein nicht. Es gibt aber Einzeluntersuchungen, die nachweisen, dass sich Bodenverluste und Verluste von organischem Kohlenstoff mit den Folgen von Winderosion erklären lassen. Auch der Blick in die Zukunft ist unsicher. Für den Wind gibt es bisher keine eindeutigen Angaben zur künftigen Entwicklung. Bundesweite Projektionen gehen davon aus, dass ab 2050 mehr Starkwindereignisse und starke Böen über der Nordsee und Nordwestdeutschland wahrscheinlich sind, die aber möglicherweise mit stärkeren Niederschlägen einhergehen und unter diesen Umständen keine Winderosion verursachen. Die ebenfalls winderosionsbestimmende Bodentrockenheit könnte nach gutachterlicher Einschätzung vor allem die Geestböden mit schwachem Grundwasseranschluss betreffen. Geht man davon aus, dass auch weiterhin die stärksten Winde im nördlichen Teil von Schleswig-Holstein (und hier direkt an den Küsten) auftreten, könnte es zu einem räumlichen Zusammentreffen der höheren Windgeschwindigkeiten mit einer stärkeren Zunahme von Trockentagen künftig insbesondere in den äußersten nördlichen Landesteilen. Landnutzungsprojektionen des BBSR aus dem Jahr 2020 gehen von einer insgesamt weiter sinkenden Ackerfläche, aber auch einer räumlichen Verlagerung in Schleswig-Holstein aus. Die Verschneidung der aktuell berechneten Winderosionsgefährdung mit der für 2024 projizierten Ackerfläche in Schleswig-Holstein ergibt einen Rückgang der Ackerfläche in Gebieten mit hoher und sehr hoher Erosionsgefährdung. Gleichzeitig könnte aber auch eine Verlagerung von Ackerflächen in stärker erosionsgefährdete Gebiete stattfinden. Ob die vom BBSR projizierten Verlagerungen von Ackerflächen aber tatsächlich stattfinden, ist fraglich, denn das Dauergrünlanderhaltungsgesetz, das seit 2013 für Schleswig-Holstein besteht, beinhaltet ein Umwandlungsverbot für Dauergrünland in Ackerland. Der Fokus der Gefährdungsanalyse und Maßnahmenentwicklung wird auch künftig auf die Geest zu richten sein, wo eine schon heute hohe Winderosionsgefährdung mit einer womöglich steigenden Zahl von Trockentagen zusammenfällt und damit Verhältnisse entstehen, die die Böden gegen stärkere Winde anfälliger macht.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 7.4

7.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Wassermangel im Boden

Dem Boden kommt eine sehr zentrale Rolle im Ökosystem zu. Er ist zum einen Träger der Vegetation, zum anderen schützt er das Grundwasser. Niederschlag und Temperatur sind bestimmend für die Bodenbildung sowie den Wasser- und Stoffhaushalt eines Bodens. Verändern sich mit dem Klimawandel die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse hat dies Folgen für die Böden, unabhängig von ihrer Nutzung. Die Verdunstung aus dem Boden (Evaporation) sowie die Transpiration der Pflanzen bestimmen die Zehrung des Bodenwasservorrats. Steigende Bodentemperaturen führen zu einer Erhöhung der Evapotranspiration, also der realen Verdunstung (Wassermenge, die von einem Pflanzenbestand unter natürlichen Bedingungen an die Atmosphäre abgegeben). Sie hat Wasserverluste aus dem Bodenwasservorrat zur Folge. Eine veränderte Sickerwassermenge wirkt sich auf die Grundwasserneubildung sowie die Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Bodenprofil aus. Ausgetrocknete Böden haben eine verringerte Wasserleitfähigkeit. Starke Niederschläge führen dann zu verstärktem Oberflächenabfluss, was wiederum Wasserverluste aus der Landschaft und ein erhöhtes Erosionsrisiko zur Folge hat. Trockene Böden und Vegetation erhöhen außerdem die Gefahr von Vegetationsbränden. Nicht zuletzt beeinträchtigen geringe Bodenwassergehalte die Vegetationsentwicklung, mindern also auch Ernteerträge und schädigen Wälder. Zudem ist der Boden selbst ein Ökosystem, das Tieren und Mikroorganismen Lebensraum bietet. Diese können bei sehr tiefreichender Austrocknung der Böden beeinträchtigt werden.

Für die Wassergehalte und -vorräte ist insbesondere die klimatische Wasserbilanz (KWB), berechnet als Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung, eine entscheidende Größe: je geringer die Bilanzwerte desto höher das klimabedingte Risiko von Trockenstress im Boden. In Schleswig-Holstein nehmen die positiven Jahresbilanzwerte tendenziell von Westen nach Osten hin ab. Am positivsten fallen die Bilanzen im Bereich der Geest aus. Ganzjährig negative Bilanzwerte gab es in der Vergangenen nur lokal im Bereich von Fehmarn. Im Vergleich der beiden Zeiträume 1961–1990 und 1991–2020 sind die KWB-Werte in ganz Schleswig-Holstein höher geworden. Diese Auswertungen schließen allerdings nicht aus, dass in den betrachteten Zeiträumen auch extreme Einzeljahre auftreten, in denen die klimatische Wasserbilanz zumindest regional in Schleswig-Holstein auch negative Werte angenommen haben. Relevant für die Bodenwassergehalte ist auch die Form des Niederschlags. Vor allem Starkregen, die zu einem erhebliche Teil an der Bodenoberfläche abfließen, können in der Regel nur wenig zur Bildung von Bodenwasservorräten beitragen. Sie verursachen vielmehr Bodenabtrag (siehe die nachstehende Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser“) und tragen dazu bei, dass die Bodenwasserspeicherkapazität im Bodenprofil reduziert wird.

Besonders sensitiv gegenüber Austrocknung sind Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität, also geringer nFK. Während die Böden in den zentralen Landesteilen der Geest geringe nFK-Werte im effektiven Wurzelraum aufweisen, sind die Werte in der Marsch, im östlichen Hügelland und in den Niederungen entsprechend (deutlich) höher. Mit zeitlich hochauflösenden Messungen zur Bodenfeuchte wurde in Schleswig-Holstein erst im Jahr 2017 an ausgewählten Messplätzen begonnen, sodass bisher keine langjährigen und für das Land repräsentativen Datenreihen zur Entwicklung der Bodenwassergehalte und -vorräte vorliegen. Auch für die Waldböden liefern die Messungen der Bodenfeuchte im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings (LEVEL II) nur für eine einzelne Messstelle Daten. Die (modellierten) Daten des Bodenfeuchte-Viewers des DWD zeigen für die Böden Schleswig-Holsteins, dass in den vergangenen gut 60 Jahren die Zahl der Tage unter 30 % nFK, die Trockenstress bedeuten, sowohl insgesamt als auch für die Landnutzungen Acker und Wald zugenommen hat, wobei die Werte in Abhängigkeit von der Witterung zwischen den Jahren sehr stark schwanken. Das dem Bodenfeuchte-Viewers zugrundeliegende Modell berücksichtigt allerdings den Grundwassereinfluss nicht. Durch den kapillaren Aufstieg von Wasser kann sich die Situation daher lokal oder auch regional günstiger darstellen als nach dem Modell.

Für Schleswig-Holstein gibt es bisher keine systematischen Untersuchungen zur Projektion der Bodenfeuchte (es gibt nur Modellierungen zu Sickerwasserraten, die freilich gewisse Rückschlüsse auf die Bodenwassergehalte zulassen, aber keine unmittelbaren Aussagen zum Trockenstress im Boden zulassen). Bundesweite Modellierungen mit dem Modell AMBAV (Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung) des DWD[193] zeigen die deutlichste Zunahmen von Tage mit Bodenfeuchten unter 30 % nFK im (Süd-)Osten Schleswig-Holsteins. Im Herbst kann bis zur Mitte des

[193] Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A., Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021, Dessau-Roßlau: S. 359. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land

Jahrhunderts (2031–2060) die Anzahl dieser Tage um bis zu 10 Tage, bis zum Ende des Jahrhunderts (2071–2100) um bis zu 30 Tage zunehmen. Ursache hierfür sind steigende Lufttemperaturen im Herbst, die die Bodenwasservorräte stärker aufzehren. Für den Frühling/Frühsommer muss diesen Projektionen zufolge neben den östlichen auch in den westlichen Landesteilen bis zum Ende des Jahrhunderts mit einer Zunahme der Tage mit Bodentrockenheit kommen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 7.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator BO-I-1: Bodentrockenheit[194]

Bodenerosion durch Wasser

Wie die Bodenerosion durch Wind (siehe Kap. 2.2.1) führt auch die Bodenerosion durch Wasser zu einem schleichenden Verlust wertvollen Oberbodens und zu einer Schädigung von Ökosystemen und Infrastruktur in Bereichen, in denen das erodierte Bodenmaterial wieder abgelagert wird. Der am stärksten das Ausmaß der Wassererosion bestimmende Klimaparameter ist der Niederschlag. Treffen starke/intensive Regenfälle auf einen nicht (ausreichend) von Vegetation bedeckten Boden, werden Bodenpartikel aus ihrem Gefüge gelöst und hangabwärts transportiert. Bundesweit kommt es infolge des Klimawandels zu häufigeren und intensiveren Starkregenereignissen vor allem in den Monaten April bis Oktober. Statistisch signifikante Trends lassen sich für Schleswig-Holstein aus der Starkregenstatistik des DWD (basierend auf hochaufgelösten Radardaten) bisher für Schleswig-Holstein nicht ersehen, aber die Zeitreihe ab 2001 ist noch kurz und Starkregen gehört zu den Extremereignissen, die für statistische Aussagen auf längerfristige Betrachtungen angewiesen sind. Flächenhafte Datenauswertungen zum Regenerosivitätsfaktor (R-Faktor der zur Abschätzung der Erosion genutzten Bodenabtragsgleichung) zeigen, dass es in Schleswig-Holstein insbesondere in der (nord-)westlichen Landeshälfte Bereiche gibt, in denen die R-Faktorwerte im bundesweiten und vor allem im norddeutschen Vergleich hoch sind. Abschätzungen zur potenziellen Erosionsgefährdung aktualisiert das Landesamt für Umwelt (LfU) jährlich gemäß der relevanten DIN, neuerdings auch mit einem räumlich differenzierten R-Faktor. Die Ergebnisse der aktuellen Auswertungen zeigen die höchsten Erosionsgefährdungen im „Östlichen Hügelland", im Bereich der „Hohen Geest" und in den südlichen „Marschen". Systematische und flächendeckende Erhebungen zu tatsächlichen Bodenerosionsereignissen und zum Ausmaß der Bodenerosion durch Wasser gibt es in Schleswig-Holstein nicht.

Systematische Erhebungen zu Bodenerosionsereignissen in Schleswig-Holstein sind meist nur lokal verfügbar, flächendeckende Erfassungen gibt es nicht. Über einzelne durch Starkregen ausgelöste Ereignisse bis hin zur Gully-Erosion und Beschädigung angrenzender Infrastrukturen sind für das Östliche Hügelland dokumentiert. Zur Projektion der künftigen Bodenerosion durch Wasser liegen für Schleswig-Holstein keine spezifischen Ausarbeitungen vor. Die im Rahmen der KWRA 2021 des Bundes durchgeführte bundesweite Einschätzung des potenziellen mittleren Bodenabtrags durch Wassererosion auf Ackerflächen ergab sich für Schleswig-Holstein im bundesweiten Vergleich ein eher geringes Risiko, das vorzugsweise die östlichen Landesteile betrifft. Allerdings hat das LfU spezifisch für Schleswig-Holstein im Jahresvergleich 2009 und 2021 eine Zunahme der sehr hoch und extrem hoch erosionsgefährdeten Flächen um rund 60 % bzw. rund 35.000 ha abgeschätzt, woraus sich möglicherweise ein auch für die Zukunft weiter steigendes Risikos ableiten lässt. Grundsätzlich gilt, dass Bodenerosion durch Wasser komplex verursacht ist. Mit Blick auf die klimatische Beeinflussung ist vor allem die Aufeinanderfolge spezifischer Witterungsverhältnisse (beispielsweise Starkregen nach Trockenheit) relevant, die sich in Modellen und Projektion kaum oder nur mit Unsicherheiten abbilden lässt. Auch hat der durch die Klimaveränderungen bedingte Wandel in der ackerbaulichen Bewirtschaftung (Fruchtartenwahl, Bodenbearbeitung etc.) Konsequenzen für die raum-zeitliche Ausprägung der Bodenbedeckung.

Mit Blick auf die Bodenerosion und die nach wie vor bestehenden Unsicherheiten bei der Projektion künftiger Entwicklungen ist präventives Handels zwingend erforderlich. In der Landwirtschaft geht es dabei insbesondere um die Sicherstellung eine möglichst kontinuierlichen Bodenbedeckung.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 7.6

[194] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt BO-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/trockenheitsindex.pdf

7.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA aus dem Jahr 2021[195] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 26 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 26: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Veränderung der Sickerwasserbildung	Wichtige Aspekte dieser Klimawirkungen überschneiden sich mit der Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit“ (Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft). Es wird daher im Handlungsfeld Boden keine separate Betrachtung dieser Klimawirkung vorgesehen.
Bodenvernässung	Insbesondere infolge der erwarteten Zunahme der Winterniederschläge könnte es in Schleswig-Holstein auch abseits von Niederungsgebieten verstärkt zu Bodenvernässung kommen. Auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden schränkt Bodenvernässung die Bearbeitbarkeit der Böden ein, da dann unter anderem auch eine erhöhte Gefahr für Bodenverdichtung besteht (siehe Klimawirkung „Bodenschadverdichtung“). Vernässte Böden hemmen die Sauerstoffzufuhr der Pflanzen über die Wurzeln und damit das Pflanzenwachstum. Unter Sauerstoffabschluss können schädliche Stoffe mobilisiert werden. Außerdem kann es verstärkt zu klimarelevanten Lachgasemissionen kommen. Vernässung auf Ackerflächen kann zu Ernteeinbußen führen, und auf vernässten Waldböden verringert sich die Standfestigkeit der Bäume, was die Windwurfgefahr erhöht.[196] Spezifische Untersuchungen zur Bodenvernässung liegen bisher für Schleswig-Holstein nicht vor. Der DWD hat die Anzahl von Tagen mit einer nFK > 100 % für die Kultur Winterweizen monatsweise für den Referenzzeitraum 1971 bis 2000 berechnet. Die deutschlandweiten Daten zeigen, dass vor allem von Oktober bis April vermehrt Tage mit hoher Bodenfeuchte auftreten. Die Projektionen der KWRA 2021 (nur Oktober) zeigen für die Bedingungen des RCP8.5 bis zur Mitte des Jahrhunderts für den südöstlichen Landesteilen eine Zunahme der Anzahl von Tagen mit wassergesättigten Böden. Eine weitere Bearbeitung dieser Klimawirkung wurde für die aktuelle KRA nicht vorgesehen. Die Vernässung in den Niederungsgebieten wird im Rahmen der Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten“ im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft thematisiert.
Bodenschadverdichtung	Schädliche Bodenverdichtung entsteht hauptsächlich beim Befahren verdichtungsempfindlicher und nasser Böden im Zuge der land- oder forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Schadverdichtung führt zu einem verminderten Porenvolumen, behindert das Wurzelwachstum, verschlechtert den Wasser- und Luftaustausch und schädigt in der Folge auch das Bodenleben. Als verdichtungsanfällig gelten in Schleswig-Holstein besonders die ackerbaulich genutzten Böden der Marschen und des östlichen Hügellandes, die hohen Ton-, Schluff- oder Lehmanteile aufweisen. Deutlich weniger verdichtungsgefährdet sind hingegen die überwiegend sandigen und vielfach als Grünland genutzten Geest-Böden, wobei hoch anstehendes Grundwasser oder Stauwasser auch hier die Sensitivität gegenüber Verdichtung erhöht (Verbindungen zur Klimawirkung „Bodenvernässung“). Ein potenzieller Anstieg des Risikos für Schadverdichtung ist voraussichtlich im Norden Schleswig-Holsteins und an der Westküste besonders hoch, denn hier werden die höchsten Niederschlagszunahmen prognostiziert. In der Folge steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es zu wassergesättigten oder gar übersättigten Böden kommt. Längere

[195] Renner et al. 2021, s. Fußnote 193

[196] Renner et al. 2021, s. Fußnote 193: S. 154

Klimawirkung	Erläuterungen
	Feuchtephasen, vor allem in Kombination mit einem früheren Beginn der Vegetationsperiode, kann das Zeitfenster für die Bodenbearbeitung im Frühjahr deutlich verkürzen. Dadurch erhöht sich auch das Risiko, dass die Bodenbearbeitung unter nicht optimalen Bedingungen stattfindet und es dann zu Schadverdichtungen kommt.[197] Für Schleswig-Holstein stellt im Umweltportal Gefährdungskarten zur Bodenverdichtung differenziert für Acker- und Grünlandnutzung und für die Zeitabschnitte Oktober bis April sowie Mai bis September bereit. Die Klimawirkung konnte im Rahmen dieser KRA noch nicht bearbeitet werden, ist aber für Schleswig-Holstein von Relevanz.
Veränderungen der Zusammensetzung der Bodenfauna und der biologischen Aktivität	Die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Veränderungen in der Bodenbiologie sind nach wie vor Gegenstand der Forschung. Die Klimawirkung wurde in der KWRA 2021 dementsprechend auch thematisch eher allgemein und wenig fokussiert beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass eine generelle Aussage darüber, wie sich die Bodenbiologie durch den Klimawandel verändern könnte, gegenwärtig aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht möglich ist. An konzeptionellen Ansätzen zur Verbesserung der Datengrundlagen wird auf Bundesebene gearbeitet. Für eine Klimarisikoanalyse fehlen aber nach wie vor solide Grundlagen. In Schleswig-Holstein gibt es bislang zudem nur wenige Beobachtungsdaten zur Bodenbiologie. Aus Einzelbeobachtungen lassen sich keine generalisierten Risikoableitungen treffen, direkte Zusammenhänge zu klimawandelbedingten Veränderungen lassen sich kaum herstellen. Es wurde daher entschieden, vorerst keine weitere Betrachtung dieser Klimawirkung in der KRA für Schleswig-Holstein vorzusehen.
Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats	Die Kohlenstoffgehalte und -vorräte eines Bodens sind von sehr vielen Faktoren beeinflusst, und die Zusammenhänge mit den Klimawandel sind nicht eindeutig. Es werden teilweise gegenläufige Trends beobachtet. Steigende Jahresmitteltemperaturen führen generell zu einer Erhöhung der mikrobiellen Aktivität im Boden. Zudem verlängert sich möglicherweise die Dauer der Aktivität der Bodenmikroorganismen durch die verlängerte Vegetationsperiode. Vermehrte mikrobielle Aktivität führt zu einem verstärkten Abbau der organischen Bodensubstanz. Der Umfang des damit verbundenen Humusschwunds ist stark abhängig von der Temperatur und dem Feuchtegehalt des Bodens. Zudem können Böden infolge verstärkter Erosion mit dem Abtrag von humosem Oberboden relevante Mengen an Humus verlieren. Gleichzeitig könnte aber den Böden durch wärmebegünstigte Produktivitäts- und damit verbundenen Biomassesteigerungen der Pflanzen auch verstärkt organisches Material zugeführt wird. Möglicherweise kompensieren sich beide Prozesse, aber es kann standortbedingt auch ein Nebeneinander von Humusmehrung und Humuszehrung geben. Im Rahmen einer Studienabschlussarbeit wurden für Schleswig-Holstein Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Humusentwicklung durchgeführt. Die Ergebnisse waren aber nicht eindeutig[198]. Für die (37) Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Schleswig-Holstein lässt sich bisher kein klarer Trend erkennen. Auswertungen des Thünen-Instituts von Daten der Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald deuten hingegen auf einen klimawandelbedingten Humusabbau hin. Da Erhaltung und Aufbau von Humus in Böden von terrestrischen Ökosystemen gemäß § 9 Gesetz zur Energiewende und zum Klimaschutz in Schleswig-Holstein (2017) eine Verpflichtung für die Landesregierung ist, werden Untersuchungen zum Kohlenstoffspeicherpotenzial von Ackerböden in Schleswig-Holstein durchgeführt.

[197] Landesportal Schleswig-Holstein: Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden Schleswig-Holsteins. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/auswirkungenSH

[198] Böhm J. 2008: Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Eigenschaften und Entwicklung der Böden Schleswig-Holsteins. Eine Abschätzung anhand von Prognosen des regionalen Klimamodells WETTREG. Diplomarbeit an Leibniz Universität Hannover, Institut für physische Geographie und Landschaftsökologie. Hannover, 119 S.

Klimawirkung	Erläuterungen
	Für die in Schleswig-Holstein weit verbreiteten Moorböden wird davon ausgegangen, dass sich vor allem bei den (landwirtschaftlich) genutzten Moorböden die Nutzungseinflüsse gravierender auf die Torfzehrung auswirken als der Klimawandel. Diese Moorböden (vor allem in den Geestlandschaften und im Östlichen Hügelland) sind schon heute infolge von Entwässerungsmaßnahmen und Grundwasserabsenkung hinsichtlich ihres Humusgehaltes deutlich verändert. Zunehmende Sommertrockenheit kann die Mineralisation der Torfe weiter vorantreiben. Allerdings könnte eine Zunahme der Winterniederschläge auch Prozesse der Humusakkumulation begünstigen. Im Rahmen des MoMoK-Projekts zum Moorbodenmonitoring des Thünen-Instituts wurden aktuell Messungen an fünf Messstandorten in Schleswig-Holstein unter anderem zur Moorsackung aufgenommen. Es liegen noch keine Ergebnisse vor. Da die Thematik der Kohlenstoffspeicherung in Böden auch im Kontext des Klimaschutzes eine herausragende Rolle spielt, wurde entschieden, die Klimawirkung in der KRA zunächst nicht prioritär zu bearbeiten. Biodiversitätsrelevante Aspekte von Klimawirkungen auf Moore (inkl. Beeinträchtigung torfbildender Pflanzen) werden in der Klimawirkung „Schäden an wassergebundenen Habitaten und Feuchtgebieten" im Handlungsfeld Biologische Vielfalt thematisiert.
Veränderungen der Filter- und Pufferfunktionen von Böden	Die KWRA 2021 thematisiert innerhalb dieser Klimawirkung wiederholt die Themen Erosion und Humusgehalt und bewertet die Klimawirkung mit einem nur geringen Risiko und ohne besonders dringenden Handlungsbedarf. Die Autorinnen und Autoren schlussfolgern zu dieser Klimawirkung, dass durch die komplexen Wechselwirkungen keine eindeutige Entwicklungstendenz für die Veränderung der Bodenfunktionen durch den Klimawandel ableitbar wäre. Aus denselben Gründen wurde auch in Schleswig-Holstein von einer weiteren Betrachtung dieser Klimawirkung abgesehen.
Veränderung der Produktivität von Böden	Die Produktionsfunktion kennzeichnet die Eigenschaften des Bodens als Standort für Nahrungs- und Futterpflanzen sowie für nachwachsende Rohstoffe und den Wald. Es ergeben sich starke Überschneidungen mit Klimawirkungen aus den Handlungsfeldern Landwirtschaft („Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen") und Forstwirtschaft („Einbruch des stehenden Holzvorrats, sinkendes Holzaufkommen, Herausforderungen für den Holzmarkt"). Die letztgenannte Klimawirkung wurde zwar für diese KRA nicht weiter bearbeitet, bei einer perspektivischen Bearbeitung wäre aber die Produktionsfunktion der Waldböden mit zu betrachten. Da die Bodenfruchtbarkeit auch im Zusammen-hang mit der Bodenwasserversorgung steht, besteht zudem eine Schnittstelle mit der Klimawirkung „Wassermangel im Boden" in diesem Handlungsfeld. Da kein Mehrwert von einer separaten Bearbeitung dieser Klimawirkung gesehen wurde, wurde von einer weiteren Bearbeitung in der KRA (auch für deren perspektivische Weiterentwicklung) abgesehen.
Beeinträchtigungen durch Rutschungen und Muren	Gefährdungen durch Rutschungen und Muren sind für das Hoch- und Mittelgebirge relevant. In Schleswig-Holstein werden zwar zumindest in Teilen des Landes einzelne Ereignisse aufgenommen, im Vergleich zu anderen Bundesländern mit höheren Gebirgsanteilen ist diese Klimawirkung aber von nur untergeordneter Bedeutung. Es wurde daher entschieden, für Schleswig-Holstein keine weitere Betrachtung der Klimawirkung in der KRA vorzusehen.

7.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Der Boden ist die Grundlage des Lebens und Wirtschaftens auf der Erde. Folgerichtig sind die meisten bewerteten Klimawirkungen in diesem Handlungsfeld als sozial, ökologisch und wirtschaftlich hoch- bis sehr hochbedeutend bewertet worden (siehe Tabelle 27). Eine hohe bis sehr hohe soziale Bedeutung sahen die Fachleute für die „Bodenerosion durch Wasser". Die Klimawirkungen „Bodenerosion durch Wind", „Wassermangel im Boden", „Bodenvernässung" und „Bodenschadverdichtung" wurden als sozial hochbedeutend bewertet.

Sehr hoch ist die ökologische Bedeutung von Bodenerosion durch Wasser, weil sie die Oberflächengewässer belastet. Insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Flächen können auf diesem Wege übermäßig viele Nähr- und Schadstoffe in die Gewässer eingetragen werden. Ökologisch sehr hochbedeutend sind Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats in Mooren. Dieser Sonderfall wurde im Workshop von der Bewertung ausgenommen. Daher sahen die Fachleute für die Klimawirkung hier nur noch eine geringe ökologische Bedeutung. Dies ist auch die Begründung für die Reduzierung der sozialen Bedeutung dieser Klimawirkung durch die Fachleute im Workshop. Die ökologische Bedeutung der Klimawirkungen „Bodenerosion durch Wind", „Wassermangel im Boden", „Bodenvernässung" und „Bodenschadverdichtung" wurde als hoch bewertet.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Klimawirkungen wurde ebenfalls durchweg als hoch bewertet. Nur für die Klimawirkung „Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats" wurde sie im Bewertungsworkshop zu „gering" geändert, nachdem die Moore als Sonderfall aus der Bewertung ausgeschlossen wurden. Jenseits der Moore sind aktuell keine großen Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats in Schleswig-Holstein zu erwarten.

Der fast durchweg hohen Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Boden entsprechend wurde von den Bewertenden für alle Klimawirkungen Handlungsbedarf seitens der Landesregierung in den kommenden Jahren gesehen (siehe Tabelle 28).

Tabelle 27: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Boden

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Bodenerosion durch Wind	hoch	hoch	hoch	-*	-**
Wassermangel im Boden	hoch	hoch	hoch	-	-
Bodenerosion durch Wasser	hoch	sehr hoch	hoch	-	sehr hohe ökologische Bedeutung aufgrund der Beeinträchtigung der Gewässer
Bodenvernässung	hoch	hoch	hoch	-	-
Bodenschadverdichtung	hoch	hoch	hoch	-	
Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats	hoch	sehr hoch	hoch	-	geringe soziale, ökologische und wirtschaftliche Bedeutung, wenn die Moore ausgenommen werden, da außerhalb dieser keine großen Veränderungen in Schleswig-Holstein zu erwarten sind

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 28: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Bodenerosion durch Wind	ja	-*	-**
Wassermangel im Boden	nein	wird indirekt durch die Maßnahmen zu den anderen Klimawirkungen beeinflusst	Handlungsbedarf gegeben, da sonst Ertragseinbußen drohen
Bodenerosion durch Wasser	ja	-	-
Bodenvernässung	nein	wird indirekt durch die Maßnahmen zu den anderen Klimawirkungen beeinflusst	Handlungsbedarf gegeben
Bodenschadverdichtung	ja	-	-
Veränderungen des Bodenkohlenstoffvorrats	ja	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

7.4 Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind“

7.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Wind formt weltweit natürlicherweise Landschaften, am stärksten in den Trocken- und Halbtrockengebieten der Erde. Aber auch in humiden Gebieten – wie in Mitteleuropa – sind vielerorts die Voraussetzungen für die Verlagerung von Boden durch Wind gegeben. Diese sind: ausreichende Windgeschwindigkeit, lückenhafte Vegetation mit geringer Bodenbedeckung und leicht verwehbares, trockenes Lockermaterial besonders der Fein- und Mittelsandfraktion. Diese Bedingungen sind in Schleswig-Holstein vielfach direkt an den Küsten und im Landesinnern im Bereich der Geest gegeben. Natürlicherweise führte der Wind in Schleswig-Holstein zur Bildung von Küstendünen sowie in der jüngeren Erdgeschichte auch zu Binnendünen. Die Küstendünen können heute noch aktiv sein. Die Dünen im Binnenbereich waren in historischen Rodungsphasen mit Aktivierung der Flugsanddynamik ebenfalls aktiv, sind heute aber weitestgehend festgelegt (unter anderem durch den Aufwuchs von Nadelbäumen). Vegetationsfreie Bereiche mit ungehindertem Sandflug und annähernd natürlicher Prozessdynamik sind daher die Ausnahme.

Wenn heute in Deutschland von Winderosion gesprochen wird, dann bezieht sich dies vor allem auf die vom Menschen verursachte und über das natürliche Ausmaß hinausgehende Bodenverlagerung durch Wind. Sie tritt dort auf, wo Bodenmaterial durch ungenügende Bodenbedeckung auf land- oder möglicherweise auch forstwirtschaftlich genutzten Flächen und durch fehlende Windhindernisse wie Knicks dem Windangriff ausgesetzt ist und auch über größere Distanzen verfrachtet werden kann. Bodenerosion verläuft mehr oder weniger schleichend. In selteneren Fällen werden Winderosionsereignisse in Form von Sand- und Staubstürmen direkt wahrnehmbar.

7.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Winderosion wird in der Regel durch starke Winde verursacht, die auf trockene und nur unzureichend durch Vegetation geschützte Böden treffen. Vor allem im Frühjahr kommt es zu einem gleichzeitigen Auftreten dieser verwehungsfördernden Bedingungen: Dann ist der Wind bei stabilen Ostwindwetterlagen häufig stark, sind die landwirtschaftlich genutzten Böden beim Anbau von Sommerkulturen gerade auch auf potenziell durch Winderosion gefährdeten Flächen oft nur unzureichend bedeckt und oftmals auch trocken.

Für fein- und mittelsandige Böden ist der Erosionswiderstand nicht ausreichend bedeckter Böden bei **Windgeschwindigkeiten** von über 7 m/s in 10 m Höhe überschritten, was ungefähr 4,5 bis 5 m/s an der Bodenoberfläche entspricht. Noch geringer ist die Schwellenwindgeschwindigkeit für stark entwässerte und vermulmte Moorböden, vor allem für Niedermoore[199]: Aufgrund der geringen Dichte der organischen Bodenteilchen setzen unter trockenen Bedingungen Auswehungsprozesse schon bei bodennahen Windgeschwindigkeiten von 2 bis 4 m/s ein.

Die in der Klimaanalyse[200] (siehe dort Abbildung 21) präsentierten Rasterdatensätze des DWD zeigen die räumliche Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeiten in Schleswig-Holstein in 10 m Höhe (1981–2000). Mit Ausnahmen eines nur wenige Kilometer breiten Streifens entlang der Nord- und Ostseeküste, wo das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit Werte von mehr als 6 m/s, stellenweise von mehr als 7 m/s erreicht, treten höhere Windgeschwindigkeitsmittel auch im gesamten nördlichen Landesteil auf. Nach Süden und Südosten hin nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit ab. In weiten Teilen des südlichen Schleswig-Holsteins erreicht sie Werte von weniger als 4,9 m/s und geht im Lauenburgischen auf Mittelwerte von unter 3,9 m/s zurück[201]. Die in der Klimaanalyse dargestellte Entwicklung der jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit an acht ausgewählten DWD-Windmessstationen in Schleswig-Holstein (siehe Klimaanalyse, Abbildung 22)

[199] Niedermoore enthalten oft höhere Anteile mineralischen Feinbodens (Sand, Schluff). Das gilt vor allem für minerotrophe Niedermoore oder entwässerte Niedermoore. Die durch Entwässerung trockenen feinen Partikel können leicht verweht werden. Demgegenüber bestehen Hochmoore überwiegend aus Torfmoosen, deren faserige Struktur als schwerer verwehbar gilt.

[200] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[201] LLUR 2011: Winderosion in Schleswig-Holstein – Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Flintbek: S. 22. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Bestellsysteme/pdf/geologie/winderosion_2011.pdf

zeigt für vier Messstellen keine statistisch signifikanten Trends, an den anderen vier Messstellen sind die Trends (quadratisch) fallend. Bei den mittleren Windspitzen (Mittel der höchsten täglichen Windgeschwindigkeiten eines Jahres), ist – wie bei der mittleren Windgeschwindigkeit – festzustellen, dass die Windgeschwindigkeiten an den Küstengebieten die höchsten sind und in einem Nord-Süd-Gefälle abnehmen. Die Zeitreihen zeigen eine Phase steigender Windspitzen von Anfang der 1970er bis zur Mitte der 1990er Jahre. Die Trends seit den 1950er Jahren sind nicht signifikant (lediglich an einer Station fallend).

Windmessungen sind aufgrund der Abhängigkeit von der Topografie und der Beschaffenheit der Landoberfläche nur für das direkte Umfeld eines Messstandorts repräsentativ und mit Blick auf größere geographische Räume nur eingeschränkt interpretierbar. Um flächenrepräsentativere Aussagen treffen zu können, präsentiert der DWD für den Klimareport Schleswig-Holstein[202] Analysen zum geostrophischen Wind.[203] Die Zeitreihe zeigt seit den 1950er Jahren im Jahresmittel einen leicht abnehmenden Trend mit multidekadischen Schwankungen, also längeren Zeitabschnitten mit höheren oder niedrigeren Windgeschwindigkeiten.

Die mittleren Windgeschwindigkeiten, auch die Mittel der höchsten täglichen Windgeschwindigkeiten (siehe Klimaanalyse, Abbildung 23), sind für die Beurteilung der Winderosionsgefährdung allerdings nur wenig aussagekräftig. Entscheidend sind vielmehr die Überschreitungen der oben genannten Schwellenwerte von Winden mit erosiver Wirkung und deren jahreszeitliche Verteilung. Zudem können lokal (bedingt durch die Geländegestalt) auch innerhalb kleiner Böen Turbulenzen auftreten, die erhebliche Windgeschwindigkeiten erreichen. Im Klimareport Schleswig-Holstein trifft der DWD auch Aussagen zur Entwicklung der Sturmtage. Das sind Tage mit Spitzenwindgeschwindigkeiten (Böen) von mindestens 62 bis74 km/h. Diese Windstärken liegen damit deutlich über den Auslöseschwellen für Winderosion (62 km/h entsprechen 17,2 m/s). Auch diese Analysen liefern keine Hinweise auf eine Zunahme. Insbesondere nach dem Jahr 1996 zeigte sich die Periode 1991–2020 deutlich windärmer als die Perioden zuvor.

Neben der Windgeschwindigkeit ist auch die Windrichtung entscheidend. Im Jahresdurchschnitt überwiegen in Schleswig-Holstein Winde aus westlichen Richtungen. Diese Westwinde sind in der Regel mit höherer Luftfeuchtigkeit und höheren Niederschlägen verbunden. Sie führen daher zumeist nicht zu nennenswerten Auswehungen. Anders stellt sich die Situation bei den oft deutlich trockeneren Ostwinden dar. Sie führen zu einer raschen Austrocknung der Bodenoberfläche und können bei entsprechend hohen Windgeschwindigkeiten Bodenabtrag verursachen. Bei alleiniger Berücksichtigung der erosionsauslösenden Ostwinde reduziert sich die Anzahl von Tagen mit Winderosionsrisiko deutlich. Im Mittel des Zeitraums 1975–2000 kamen nur 25,8 % aller Winde aus östlichen Richtungen und nur 20,9 % der Winde erreichten erosive Windgeschwindigkeiten von über 7 m/s. In den Monaten März bis Mai (mit dem höchsten Bodenerosionsrisiko) ist der Anteil der Winde aus östlichen Richtungen hingegen höher (31,4 % aus östlichen Richtungen gegenüber 41,9 % aus westlichen Richtungen). Das LLUR (2011) hat ermittelt, dass sich bei einer Begrenzung auf die tatsächlich winderosiven Bedingungen (Wirkdauer von mindestens 1 Windstunde, Windgeschwindigkeit über 7 m/s, fehlender Niederschlag, abtrocknende Bodenoberfläche) beispielsweise für die nordwestliche Geest im langjährigen Mittel (1975–2000) 39 potenzielle Winderosionstage zwischen Februar und Ende Mai ergaben.[204]

Aus der bisherigen Entwicklung des Windgeschehens in Schleswig-Holstein lässt sich kein generell steigendes Risiko für Winderosion ableiten. Dies bedeutet jedoch nicht, dass es auch in Zukunft Witterungskonstellationen geben wird, in denen es auch zu größeren Windereignissen kommen kann.

Trockenheit gilt ebenfalls als hochrelevanter fördernder Klimafaktor für die Winderosion, da sich trockene Böden leichter erodieren lassen. Kritisch sind insbesondere die Wintermonate, in denen vor allem die landwirtschaftlich genutzten Böden nur unzureichend vegetationsbedeckt sind, und die Frühjahrsmonate, in denen außerdem häufiger Bodenbewirtschaftungsgänge stattfinden, die den Zusammenhalt der Bodenpartikel stören. Dies betrifft in Schleswig-Holstein gerade Regionen mit erosionsanfälligen Böden, die für den Anbau von Sommerkulturen (insbesondere Mais und Kartoffeln) genutzt

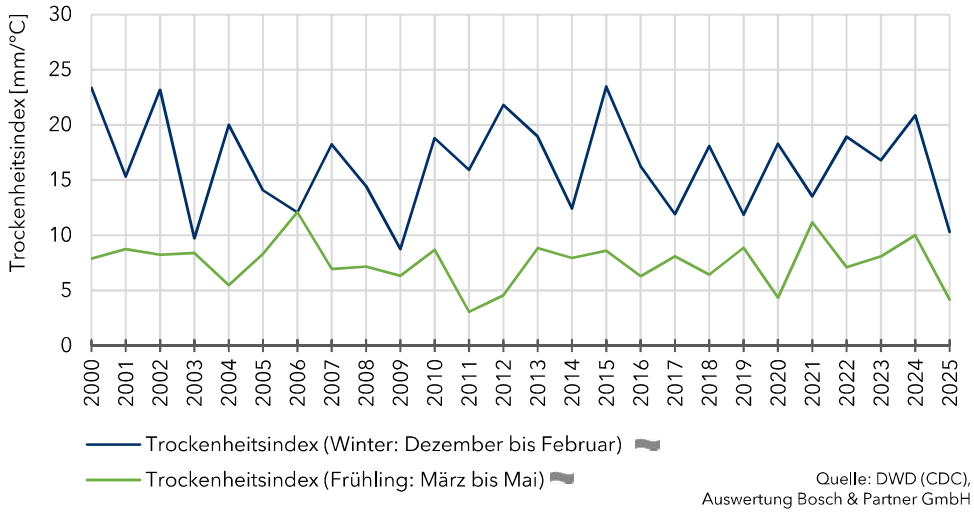
[202] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 30. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

[203] Der geostrophische Wind beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem „wahren" Wind gekoppelt.

[204] LLUR 2011, s. Fußnote 201: S. 23

werden. Die Entwicklung der klimatischen Trockenheit im Winter und Frühjahr zeigt Abbildung 26: anhand des Trockenheitsindex nach de Martonne[205], der als Quotient des Niederschlags und der Mitteltemperatur (+10) berechnet wird.

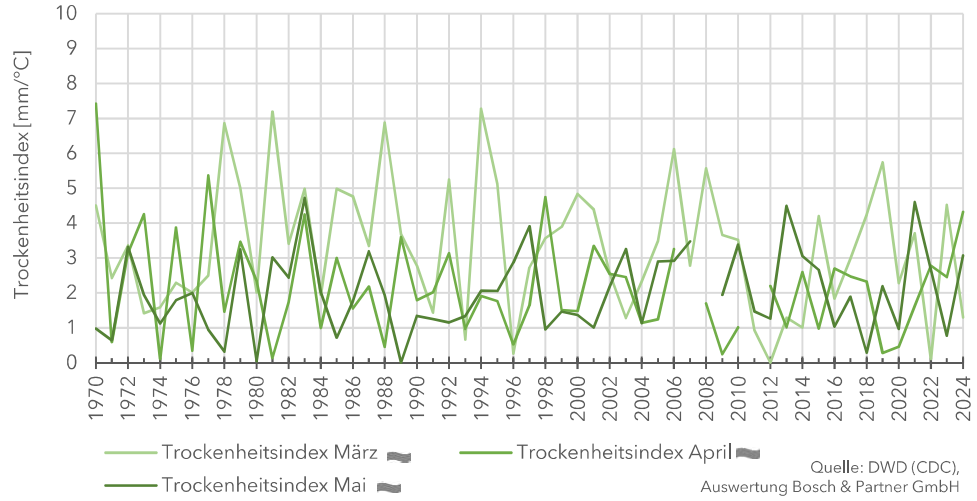
Weder für die Wintermonate Dezember bis Februar noch für das Frühjahr von März bis Mai zeigt die verfügbare Zeitreihe des DWD ab dem Jahr 2000 einen statistisch signifikanten Trend. Es handelt sich um Durchschnittswerte für drei-Monate. Einzelne kritische Witterungskonstellationen (wie das zeitgleiche Auftreten trockener Bedingungen und starker, erosionsauslösender Winde) lassen sich daraus nicht ableiten.



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 26: Saisonale Trockenheit in Schleswig-Holstein

Betrachtet man die Frühlingsmonate, die für die Bodenbestellung und Aussaat besonders relevant sind, separat (für die Einzelmonate liefert der DWD Daten ab 1970, siehe Abbildung 27), ergeben sich ebenfalls keine Trends. Es wird aber deutlich, dass in der Regel der Mai der trockenste Monat ist. Insbesondere nach nicht zu trockenen Vormonaten ist dann die landwirtschaftliche Vegetationsdecke aber annähernd geschlossen.



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 27: Trockenheitsindex in den Monaten März bis Mai

Der von den Witterungsbedingungen abhängige **Feuchtezustand des Bodens** nimmt über die Kohäsion entscheidenden Einfluss auf die Aggregatstabilität und beeinflusst so den aktuellen Erosionswiderstand des Bodens[206]. Für die Winderosion reicht schon eine Austrocknung der obersten wenigen Centimeter aus, was im Frühjahr sehr schnell passieren kann. Für das Klimafolgenmonitoring (siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator BO-I-1 Bodentrockenheit) wurden die (modellierten) Daten des Bodenfeuchte-Viewers des DWD für die Bodentiefe 0 bis 60 cm berücksichtigt. Diese Zeitreihen zeigen für Schleswig-Holstein, dass die Anzahl von Tagen mit einer nutzbaren Feldkapazität der Böden unter 30 % (nFK) in den vergangenen gut 60 Jahren zugenommen hat (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden"). Mit Blick auf die Austrocknung des Oberbodens lassen diese Daten nur eingeschränkte Aussagen zu.

[205] DWD (Hrsg.) 2020: Datensatzbeschreibung zum Jahresmittel der Raster des monatlichen Trockenheitsindex nach de Martonne für Deutschland. https://cdc.dwd.de/sdi/pid/GRD_DEU_P1Y_DI-M/BESCHREIBUNG_GRD_DEU_P1Y_DI-M_de.pdf

[206] LLUR 2011, s. Fußnote 201: S. 22

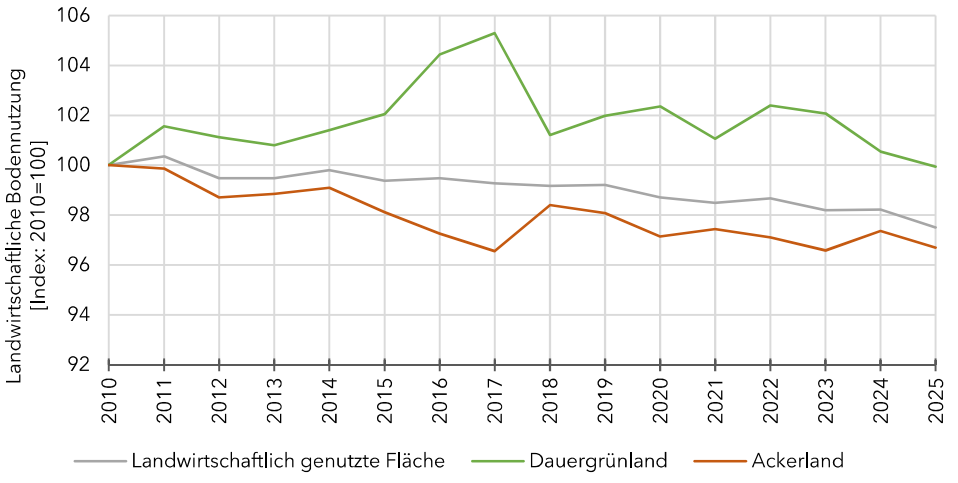
Es gibt auch Hinweise, dass **Starkregen** die Winderosion fördern kann. Dieser Zusammenhang besteht aber nur indirekt: Starkregen kann das Bodengefüge stören und schützende Vegetation beeinträchtigen. So können in späteren Trockenphasen Konstellationen entstehen, die für Winderosion anfälliger sind. Gegenüber den vorab beschriebenen Einflussfaktoren spielt der Starkregen aber vermutlich eine untergeordnete Rolle. Als Folge der mit dem Klimawandel steigenden Temperaturen verändern sich auch die **Phänophasen** der landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, was wiederum Auswirkungen auf die Bodenbedeckung hat. Eine zeitliche Vorverlegung des Beginns der Vegetationsperiode kann möglicherweise früher im Jahr Bodenbedeckung ermöglichen und die besonders sensible Phase unzureichender Bodenbedeckung verkürzen.

7.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

7.4.3.1 Exposition

Als gegenüber Winderosion besonders exponiert gelten grundsätzlich **Ackerflächen**. Vor allem einjährige Ackerkulturen sichern keine dauerhafte Vegetationsbedeckung über das gesamte Jahr. Selbst bei konsequenter Winterbegrünung oder dem Anbau von Winterungen gibt es im Frühjahr und kulturabhängig im (Spät-)Sommer und Herbst Phasen, in denen der Boden nur unzureichend oder gar nicht vegetationsbedeckt ist. Im besonderen Fokus dieser Klimarisikoanalyse sind daher die Ackerflächen in Schleswig-Holstein.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche hat in Schleswig-Holstein in den zurückliegenden 15 Jahren um knapp 25.000 ha abgenommen. Das entspricht einem Rückgang um 2,5 Prozentpunkten (siehe Abbildung 28). Der deutlich überwiegende Teil dieses Rückgangs ging auf Kosten der ackerbaulich genutzten Fläche. Wurden 2010 noch 67,7 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ackerbaulich genutzt, waren es 2025 noch 67,1 %. Gleichzeitig erhöhte sich der Dauergrünlandanteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche von 31,5 % auf 32,3 %. Insgesamt sind die Veränderungen so geringfügig, dass von einem relevanten Einfluss dieser Veränderungen auf die Winderosion nicht auszugehen ist.



Quelle: Statistik Nord (Bodennutzungshaupterhebung, Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 28: Entwicklung der Acker- und Dauergrünlandnutzung in Schleswig-Holstein

7.4.3.2 Sensitivität

Die Sensitivität der Standorte gegenüber Winderosion ist nach der DIN 19706:2013-02 „Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind" neben dem klimatischen Einfluss abhängig von der Bodenart und dem Humusgehalt, der kulturbedingten Bodenbedeckung und der Schutzwirkung von Windhindernissen.

Die **Bodenarten** unterscheiden sich stark im Hinblick auf ihre Anfälligkeit gegenüber Winderosion. Durch den über den Boden streichenden Wind wirken Schub- und Hubkräfte auf die Bodenpartikel. Es kommt zur Ablösung und zum Transport der Bodenpartikel, wenn diese Schub- und Hubkräfte die zwischen den Partikeln wirkenden Interpartikelkräfte und die auf die Bodenpartikel wirkende Schwerkraft übersteigen. Je nach Teilchengröße und -gewicht sind die Schwellen dieser Kräfte, die für Ablösung und Transport erforderlich sind, unterschiedlich. Fein- und Mittelsande zeichnen sich durch die geringsten Schwellenwindgeschwindigkeiten aus. Entsprechend anfällig sind die sandigen Böden des Geestrückens (Vorgeest, Hohe Geest). Demgegenüber bedarf es für die Partikelablösung bei Schluff- und Tonböden deutlich höherer Kräfte. Bei schwach

schluffigen/schwach lehmigen und mittel humosen Sanden bewirken deren Schluff- und Tongehalte eine Reduzierung der Erodierbarkeit von sehr hoch auf mittel. Bei entsprechend geringem Schutz durch Bodenbedeckung und Windhindernissen kann es aber dennoch zur Winderosion kommen. Der Transport des Bodenmaterials kann – je nach Korngröße – rollend, springend oder schwebend erfolgen und erreicht in Abhängigkeit der Transportart auch unterschiedliche Entfernungen vom Austragungsort.

Als ganz besonders gefährdet gelten ackerbaulich genutzte **(entwässerte) Moorböden**, denn trockene Torfe sind leicht und bröselig – die kohlenstoffreiche Substanz verliert Kohäsion und wird erosionsanfällig. Mit 130.000 ha Moorböden gehört Schleswig-Holstein zu den moorreichen Bundesländern. Kohlenstoffreiche Böden (Moorböden und Anmoorböden) nehmen rund 10 % der Landesfläche ein. Die Niedermoore haben mit rund 103.200 ha den größten Flächenanteil an den kohlenstoffreichen Böden und sind in den Geest-Niederungen und im Übergangsbereich zur Marsch verbreitet. Außerdem gibt es Vorkommen in den Tälern und den zahlreichen abflusslosen Hohlformen im östlichen Hügelland.[207]

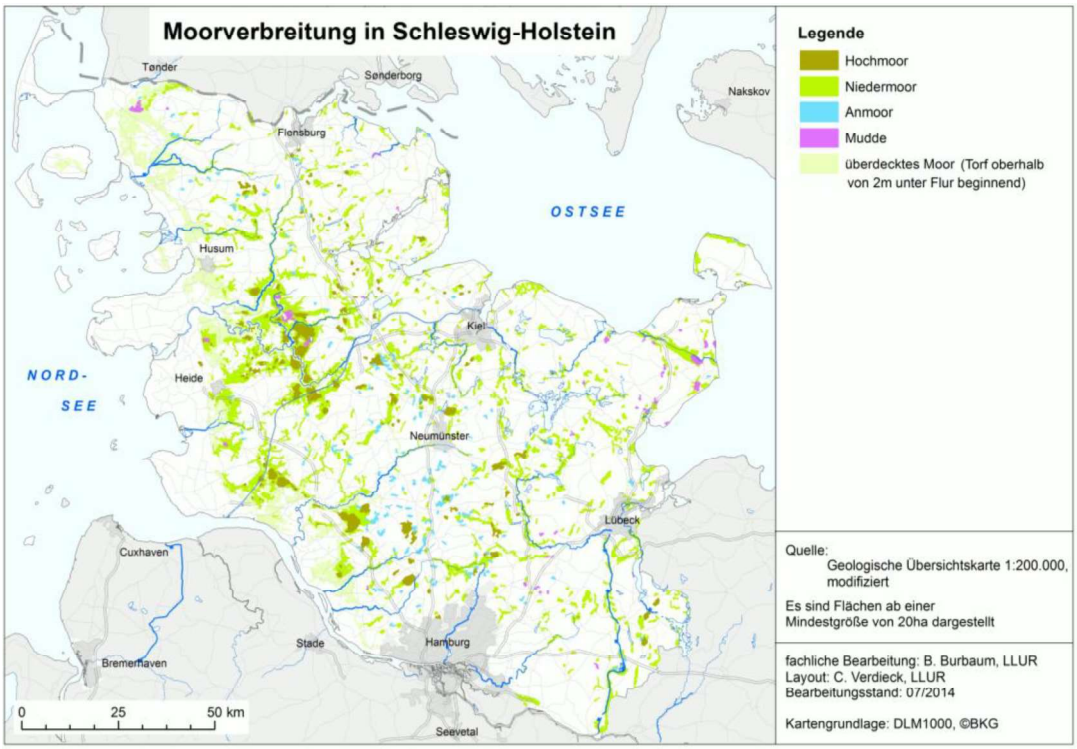


Abbildung 29: Moorverbreitung in Schleswig-Holstein (Quelle: Landesportal – Moorschutz in der Landwirtschaft[208])

In Schleswig-Holstein sind aktuell rund 90 % der Moore mehr oder weniger stark entwässert[209], um eine landwirtschaftliche, teilweise auch forstwirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen. 81 % der Moorflächen in Schleswig-Holstein sind landwirtschaftlich genutzt. Auch wenn auf rund 57 % davon die Grünlandnutzung überwiegt[210], verbleibt dennoch ein relevanter Anteil entwässerter Moore, der bei ackerbaulicher Nutzung in starkem Maße winderosionsanfällig sein kann. Die räumliche Verbreitung von Mooren zeigt Abbildung 29.

[207] Moorschutz in der Landwirtschaft: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landwirtschaft/klimakompetenzzentrum/moor-klimaschutz

[208] LLUR 2014: Karte der Moorverbreitung in Schleswig-Holstein. https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/8cc00cbf-53ba-42ce-83e5-9083ad2cfd75/resource/2e2d4aba-d179-4523-b16c-bd74a34d0db7/download/moorverbreitungsh.png

[209] SHLF: Moorschutz. https://www.forst-sh.de/einblicke/biologischer-klimaschutz/moorschutz/

[210] Moorschutz in der Landwirtschaft, s. Fußnote 207

Die **Bodenbedeckung** ist vor allem beim Anbau von Sommergetreide, Hackfrüchten (Kartoffeln, Zuckerrüben) und Mais (Körnermais sowie Grün-/ Silagemais) in den winderosionssensiblen Phasen des Jahres nur gering. So erfolgt der Saataufgang bei Hackfrüchten und Mais verhältnismäßig spät im Jahr, zudem findet die Bodenbearbeitung (inklusive der Bestellung) im Frühjahr statt, wenn die Böden schon ausgetrocknet sein können. Aufgrund wechselnder Fruchtfolgen ist eine differenzierte Einstufung der ackerbaulich genutzten Böden in Schleswig-Holstein[211] aber nur mit großem Aufwand und im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse nicht möglich.

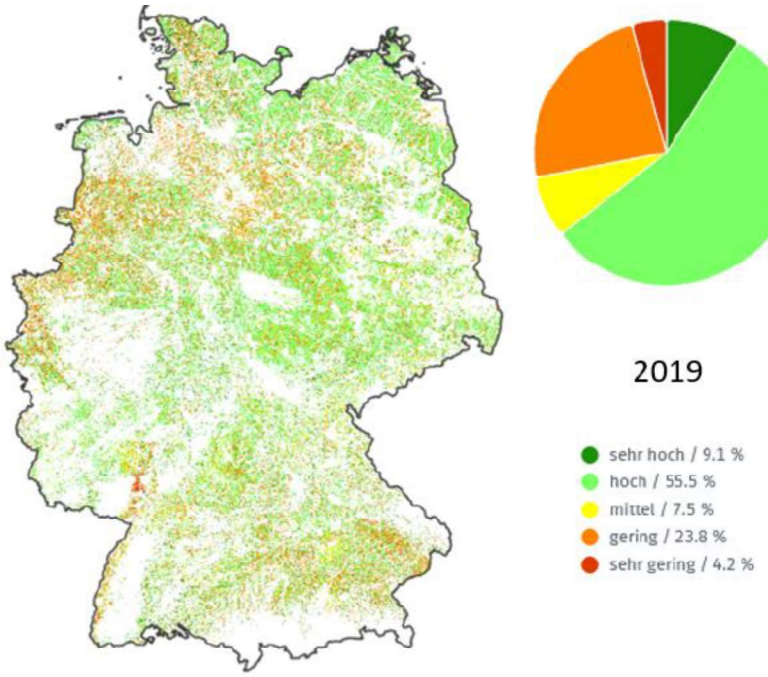


Abbildung 30: Bewertung der Schutzwirkung von Fruchtarten auf Ackerflächen für die Fruchtartenverteilung 2019 (Quelle: Gebel et al. 2025[212])

Gebel at al. 2025[213] haben in einer UBA-Studie die Schutzwirkung von Ackerfruchtarten für die Fruchtartenverteilung verschiedener Jahre (hier dargestellt für 2019) bewertet. Im bundesweiten Vergleich gehört Schleswig-Holstein zu den Gebieten mit einer sehr geringen Schutzwirkung (siehe Abbildung 30). Verantwortlich hierfür sind die vergleichsweise hohen Anteile von Sommerkulturen, insbesondere Silomais, die eine nur geringere Bodenbedeckung über das Jahr hinweg sicherstellen.

Risikomindernde Wirkungen von Bewirtschaftungspraktiken wie pflugloser Bearbeitung, die Bodenaggregate bewahren und durch die Erhaltung von Poren und Wurzelkanälen für eine bessere Infiltration von Wasser sorgen, oder Zwischenfruchtanbau, der eine bessere Bodenbedeckung über das gesamte Jahr hinweg sicherstellt, kann räumlich und zeitlich nicht differenziert berücksichtigt werden, da diese Daten nicht verfügbar sind.

Eine windoffene Agrar- und Landschaftsstruktur ohne ausreichende **Windhindernisse** begünstigt die erosive Wirkung des Windes, denn Windhindernisse schützen die vor- und nachgelagerten Flächen (Luv und Lee, siehe Abbildung 31). Wo also windbremsende Strukturen fehlen – und dies betrifft besonders die vermoorten Senken der Geest – , sind die Angriffsmöglichkeiten für den Wind besonders hoch. Windhindernisse sind alle Landschaftselemente, die über eine relevante Höhe und ausreichende Dichte verfügen, um den zu Wind beeinflussen. Windhindernisse können linienhafte Strukturen sein (wie Windschutzhecken und Alleen) oder flächenhafte Elemente (wie Wälder, Parks oder auch Ortschaften). Informationen über die Verteilung von Windhindernisse liefern InVeKoS- und ATKIS-Daten sowie die Daten der Biotopkartierung. Inzwischen wurden auch fernerkundungsgestützte Methoden erprobt, um die Dichte und Anordnung von Heckenstrukturen zu erfassen[214].

[211] "Crop Type Maps" stellt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt seit 2017 in großer räumlicher Auflösung für Deutschland zur Verfügung: https://geoservice.dlr.de/web/datasets/croptypes_de

[212] Gebel M., Uhlig M., Bürger S., Halbfaß S. 2025: Erosionsgefährdung von Böden durch Wind – Aktualisierung der bundesweiten Betrachtung. UBA-Texte 47/2025, Dessau-Roßlau: 54
https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erosionsgefaehrdung-von-boeden-durch-wind

[213] Gebel et al. 2025, s. Fußnote 212

[214] Muro J., Blickensdörfer L., Don A., Köber A., Asam S., Schwieder M., Erasmi S. 2025: Hedgerow mapping with high resolution satellite imagery to support policy initiatives at national level. Remote Sensing of Environment, Volume 328, 114870.
https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn069821.pdf

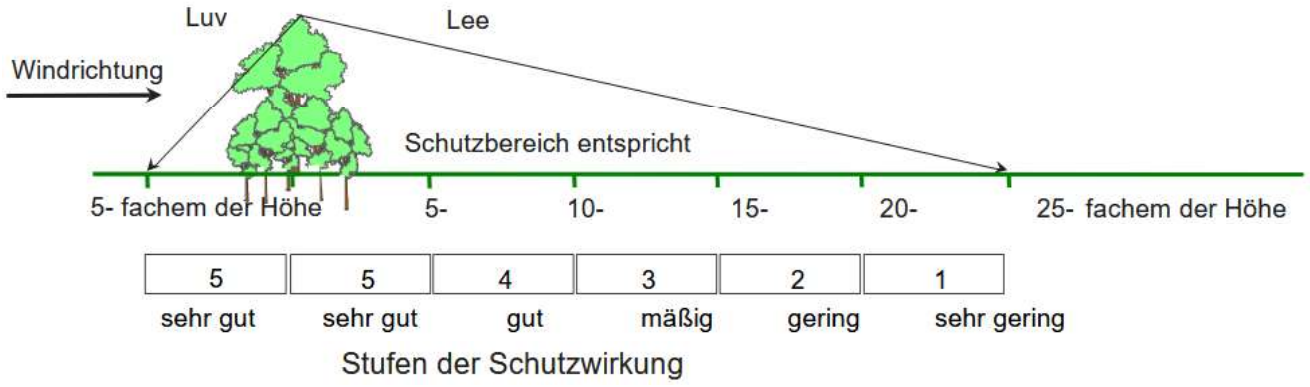


Abbildung 31: Schutzwirkung von Windhindernissen nach DIN 19706 (Quelle: Schäfer et al. 2017[215])

In Schleswig-Holstein spielen die Knicks (Wallhecken) eine besonders Rolle für die Reduzierung der Windgeschindigkeiten. Es gibt innerhalb des Landes traditionelle Knicklandschaften. Aktuell umfasst das Knicknetz Schleswig-Holsteins eine Länge von rund 55.000 Kilometern und nimmt dabei rund 1 % der Landesfläche ein[216]. Nach dem 2. Weltkrieg 1945 waren es noch 80.000 km[217]. Entstanden ist die schleswig-holsteinisches Knicklandschaft ursprünglich als Folge des sogenannten „Verkoppelungsgesetz" von 1770. Mit diesem Gesetz wurde das Land parzelliert und einzelnen Bauern für die individuelle Nutzung zugeteilt. Diese wurden gleichzeitig verpflichtet, ihre Äcker mit Wallhecken von den benachbarten Parzellen abzugrenzen und so ihr Land auch vor Winderosion, Wild und benachbarten Weidetieren zu schützen. Nach dem zweiten Weltkrieg sind im Rahmen des „Programms Nord"[218] ab 1953 tausende Kilometer neuer Knicks entstanden. Nach dem operativen Auslaufen des Programms Ende der 1970er Jahre sind wieder zahlreiche Knicks verlorengegangen, vor allem in den vermoorten Niederungen. Seit 2016 sind die maßgeblichen und aktuellen Knickschutzvorschriften direkt im Landesnaturschutzgesetz festgeschrieben. Knicks sind demnach gesetzlich geschützte Biotope und dürfen nicht entfernt werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Knicks als Windschutzstrukturen auch in Zukunft erhalten bleiben.

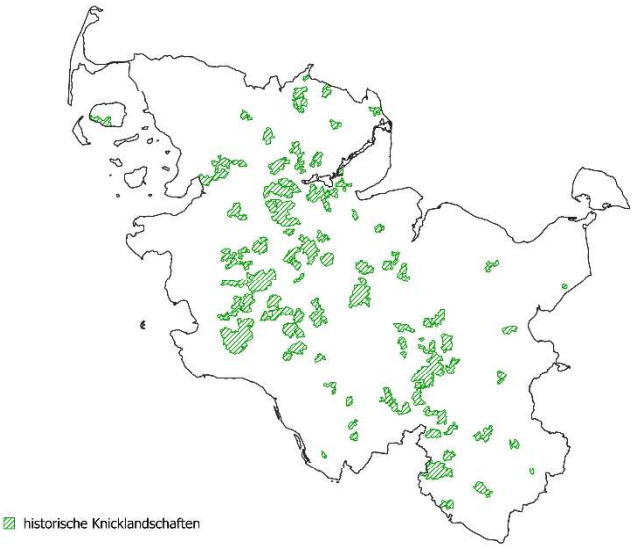


Abbildung 32: Historische Knicklandschaften (Quelle: Umweltportal Schleswig-Holstein)

Abbildung 32 zeigt die Lage historischer Knicklandschaften in Schleswig-Holstein. Es wird deutlich, dass sich diese stark auf den Bereich der Geest konzentrieren und dort nach wie vor sehr wesentlich zum Schutz der sandigen Böden beitragen.

[215] Schäfer W., Sbresny J., Thiermann A. 2017: Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wind gemäß § 6 Abs. 1 der Agrarzahlungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. Hannover: S. 7 https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/62522/Ermittlung_der_potenziellen_Winderosionsgefaehrdung_auf_Feldblockebene.pdf

[216] Informationen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein: https://www.lksh.de/landwirtschaft/umwelt-und-gewaesserschutz/naturschutz/knickpflege

[217] LLUR (Hrsg.) 2022: Die Inventur der Natur. Ergebnisse der landesweiten Biotopkartierung 2014 bis 2020. Flintbek: S. 24 https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/Fachinhalte/Biotope/BiotopkartierungInventurNatur.pdf

[218] Das „Programm Nord" war ein regionales Strukturförderprogramm des Landes Schleswig-Holstein aus dem Jahr 1953, das insgesamt 25 Jahre lang lief. Es sollte gezielt die wirtschaftliche Entwicklung, die Infrastruktur und die Landwirtschaft in den rückständigen nördlichen Landesteilen fördern und das Süd-Nord-Gefälle aufheben. Unter anderem war es Ziel, die fast baum- und strauchlos Geest besser vor Winderosion zu schützen. Es wurden knapp 10.000 km Knicks entlang der im Rahmen der Flurbereinigung neugeschnittenen größeren Flurstücke gepflanzt und rund 4.500 Hektar Wald angelegt. Das Programm hinterließ umfangreiche Landschaftsveränderungen. Finanziell unterstützt wurden es wesentlich vom Bund, seit 1965 auch von der damaligen Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG). https://geschichte-s-h.de/sh-von-a-bis-z/p/programm-nord/?utm_source=copilot.com

Für Schleswig-Holstein wird regelmäßig im Zuge der GAP-Regelungen (GLÖZ 5 im Rahmen der Konditionalität) die potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind auf der Grundlage von Daten zur Oberbodenart, zu den Windverhältnissen und den Windhindernissen ermittelt. Die aktuelle Landnutzung ist in der Analyse nicht berücksichtigt, weil Vorgaben zur Nutzung je nach potenzieller Erosionsgefährdung auf der Maßnahmenseite normiert sind (§ 16 GAPKondV). Die jährliche Aktualisierung findet statt, weil sich Feldblockgrenzen verändern oder auch Knicks verschoben oder neu angelegt werden können. Abbildung 33 zeigt die Ergebnisse der aktuellen Analyse. Es wird deutlich, dass sich die stärkste Gefährdung auf die westlichen und zentralen Landesteile konzentriert. Die küstennahe Marsch im Westen und das Östliche Hügelland können deutlich überwiegend als nicht oder nur sehr gering winderosionsgefährdet eingestuft werden.

Feldblöcke, die einer sehr hohen Gefährdung unterliegen, fallen in die Kulisse des Dauergrünlanderhaltungsgesetzes von 2013 (DGLG). Für diese Flächen gilt nach des DGLG ein Umwandlungsverbot für Dauergrünland in Ackerland (bereits bestehende Ackerflächen können aber erhalten werden).

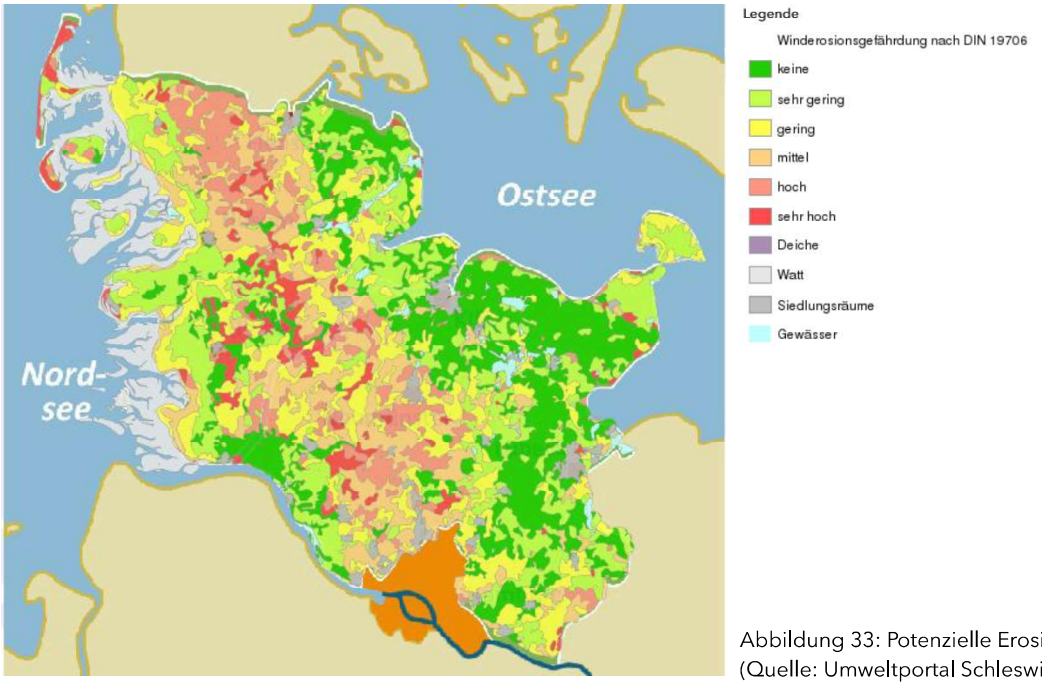


Abbildung 33: Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind (Quelle: Umweltportal Schleswig-Holstein[219])

7.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

7.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Bodenerosion verursacht Schäden sowohl an Orten des Bodenabtrags als auch in den Gebieten, in die der verwehte Boden eingetragen wird. Am Abtragungsort geht feines nährstoffreiches und humoses Bodenmaterial verloren, das durch seine hohe Nährstoff- und Wasserhaltekapazität wesentlich zur Ertragsfähigkeit der Böden beiträgt. Durch den Abtrag kann es außerdem zu einer Schädigung der Bodenstruktur und einer Förderung von Oberbodenversauerung kommen. Am Ort der Ablagerung können landwirtschaftliche Nutzpflanzen überdeckt werden. Zudem kann es zu Abrasion bzw. Windschliff an Pflanzen sowie zu Infektionen durch das Einwehen von an Bodenpartikeln anhaftenden Krankheitserreger kommen. Einträge von Sedimenten, Nähr- und Schadstoffen in sensible Ökosysteme (hierzu gehören auch Gewässer) können zur Eutrophierung und Schadstoffanreicherung führen. Sand- und Staubstürme verursachen Sichtbeeinträchtigungen für den Verkehr, Staubeinträge in Gebäude zu Schäden an den Gebäuden selbst oder an technischen Anlagen.

Systematische Untersuchungen des Bodenabtrags durch Wind gibt es in Schleswig-Holstein nicht, es liegen aber Ergebnisse einzelner Feldmessungen vor. 2017 haben Nerger et al. (2017[220]) auf Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) in Norddeutschland, in Schleswig-Holstein im Bereich der Geest, den langfristigen Kohlenstoffverlust quantifiziert, der ursächlich

[219] Umweltportal: https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuid=73f57fb5-9c85-4bb5-a8ea-aca679325230

[220] Nerger R., Funk R., Cordsen E., Fohrer N. 2017: Application of a modeling approach to designate soil and soil organic carbon loss to wind erosion on long-term monitoring sites (BDF) in Northern Germany. Aeolian Research Volume 25, April 2017: 135–147. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.03.006

mit Winderosion in Zusammenhang steht. Die Untersuchungen machten deutlich, dass sich Bodenverluste und Verluste von organischem Kohlenstoff (C_{org}) mit den Folgen von Winderosion erklären lassen. Über zehn Jahre wurde auf den norddeutschen Beobachtungsflächen ein absoluter Verlust von 49 kg Kohlenstoff / m^2 modelliert. Diese Menge zeigt eine hohe Übereinstimmung mit den tatsächlich gemessenen Kohlenstoffverlusten.

Beobachtungen größerer Winderosionsereignisse wurden in der Broschüre „Winderosion in Schleswig-Holstein" aus dem Jahr 2011[221] beschrieben, sie werden aber bislang nicht systematisch dokumentiert. Darin wird von zahlreichen Winderosionsereignissen berichtet, die in Schleswig-Holstein seit Ende der 1960er Jahre in unregelmäßiger Folge mit einer großen Spannweite von leichteren bis extremen Verwehungsfällen auftraten.[222] Am 1. April 2011 kam es, in Schleswig-Holstein, zu großräumigen Sandverwehungen auf Ackerflächen. Besonders auf der Geest waren außergewöhnlich starke Bodenverwehungen auf frisch bearbeiteten und mit Mais bestellten Flächen zu beobachten. Die Bodenverwehungen verursachten lokale Sichtbehinderungen im Verkehr (beispielsweise auf der A7 zwischen Jagel und Schuby) und machten Wege unpassierbar. Zu einer ähnlichen Situation kam es am 24. Mai desselben Jahres im Autobahnabschnitt zwischen Kiel und Rendsburg, wo Staubwolken die Sichtweiten auf unter 50 m einschränkten[223]. Da in Schleswig-Holstein einige wichtige Verkehrsachsen durch Landschaften mit für Winderosion anfälligen sandigen Böden verlaufen, hat die Gefährdung des Straßenverkehrs in den letzten Jahren an Aufmerksamkeit gewonnen (siehe auch Klimawirkung „Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs"). Als besonders exponiert gelten die durch die Geest verlaufenden Autobahnen A7 und A 23. Hier hat der Geologische Dienst des damaligen LLUR im Jahr 2022 eine Gefährdungsanalyse veröffentlicht[224], und es werden an den identifizierten Hotspots der potenziellen Gefährdung lokale Schutzmaßnahmen eingeleitet.

7.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Die vorab dargestellten Einflussfaktoren auf die Winderosion machen deutlich, dass Winderosion ein multifaktoriell beeinflusster Prozesse ist. Komplexe Konstellationen aus Witterungsverhältnissen, Windexposition der Flächen, Bewirtschaftung und Stand der Vegetationsentwicklung bestimmen, in welchem Umfang Winderosion stattfindet. Mit Blick auf diese vergleichsweise hohe Komplexität lässt sich das Klimarisiko im Rahmen dieser Analyse nur stark vereinfacht abschätzen. Tabelle 29 gibt eine Übersicht über die in der Klimarisikoanalyse berücksichtigten Faktoren.

Tabelle 29: Übersicht über die für die Klimarisikoanalyse ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisikoanalyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	Trockentage < 1 mm Niederschlag Projektion 2031–2060, RCP8.5, 85. Perzentil	8 Kategorien, Anzahl der Tage 220 bis 2060 in 5er-Schritten	DWD
Exposition	Ackerfläche	Ackernutzung in 2045: umgewandelte Ackerfläche, neu projizierte Ackerfläche	Landnutzungsszenarien als Grundlage für KWRA 2021 (https://gis.uba.de/maps/resources/apps/lns/index.html?lang=de)
Sensitivität	Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind	6 Kategorien nach DIN 19706	Aktuelle Einstufung (vgl. Abbildung 33)

7.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Wie in Kap. 7.4.2 dargestellt können mehrere Klimafaktoren Einfluss auf die Winderosion nehmen. Für den zentralen Einflussfaktor Wind (Windhäufigkeit, Windstärke, Windrichtung) liefern die Klimaszenarien bisher keine eindeutigen Angaben

[221] LLUR 2011: Winderosion in Schleswig-Holstein. Kenntnisse und Erfahrungen über Bodenverwehungen und Windschutz. Flintbek, 109 S. https://www.yumpu.com/de/document/read/9057040/winderosion-in-schleswig-holstein-landesamt-fur-landwirtschaft-/110

[222] Sie fanden so auch häufig in Zeitungsartikeln Erwähnung (beispielsweise „Sandsturm fegte über Einfeld" im Holsteinischen Courier, 20.04.2007oder „Wind trägt Sand durchs Land" in den Kieler Nachrichten, 13.04.2011, Autor F. Behling).

[223] „Ackerkrume geht fliegen" in Bauernblatt, 04.06.2011 (Autor: U. Herms)

[224] LLUR, Geologischer Dienst 2022: Informationen zu Verkehrsgefährdungen durch Sand- und Staubverwehungen in Schleswig-Holstein (Stand: 20.10.2022). 9 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/Downloads/berichtVerkehrsgefaehrdungen.pdf

zur künftigen Entwicklung. Gemäß dem Klimaausblick von GERICS[225] lassen sich für die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit unter Annahme des Klimaszenarios RCP8.5 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971–2000 für das Ende des Jahrhunderts im Flächenmittel Schleswig-Holsteins keine Änderungen projizieren. Die Spannbreite der Veränderungen – es ist in etwa ebenso viel Zunahme wie Abnahme möglich – weist auf deutliche Unsicherheiten in der Projektion hin (siehe Tabelle 30). Die Projektionen des DWD zu Starkwindereignissen werden bezogen auf das Tagesmittel der Windgeschwindigkeit (95. Perzentil der mittleren Tageswindgeschwindigkeit 10 m über Grund) berechnet und lassen daher auch keine Aussage zur Überschreitung der für die Winderosion kritischen Schwellenwerte zu.

Tabelle 30: Projektion der Windgeschwindigkeit für Schleswig-Holstein (Quelle: Pfeifer et al. 2021[17])

RCP 8.5	2036-2065			2070-2099		
Projizierte Klimaänderung [m/s]	Minimum	Median	Maximum	Minimum	Median	Maximum
Windgeschwindigkeit	-0,17	-0,03	0,16	-0,20	-0,02	0,18

Nach Pinto & Reyers (2017[226]) könnte sich der nordatlantische „storm track" nach Osten in Richtung Europa verschieben und über Nordwestdeutschland zu häufigeren Starkwindereignissen führen. Die umfangreiche Literaturanalyse von Pinto et al. (2024)[227] ergab, dass der größte Teil der Studien, die Aussagen zur Sturmaktivität treffen, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts von einer Zunahme der Intensität und Anzahl von Stürmen über Mitteleuropa und der Nordsee ausgehen. „Studien mit globalen und regionalen Modellen mit Fokus auf Deutschland stimmen darin überein, dass es durch die Zunahme starker Zyklonen zu einer Häufung von Starkwindereignissen kommt" (ebd.: 90). Der Sechste Sachstandsbericht des IPCC (IPCC AR6) schlussfolgert, dass es für Erwärmungsszenarien von 2 °C und mehr eine leichte Zunahme sowohl der Häufigkeit als auch der Stärke von Zyklonen, Stürmen, und Starkwinden über Nord-, West-, und Mitteleuropa geben wird, wobei sich die Stärke dieser Zunahme in den verschiedenen Klimamodellen deutlich unterscheiden kann (ebd.: 90). Pinto et al. (ebd. 91) schlussfolgern aus ihren Analysen, dass ab 2050 mehr Starkwindereignisse und starke Böen über der Nordsee und Nordwestdeutschland wahrscheinlich sind. Eine Zunahme ist vor allem im Winter zu erwarten, während es im Sommer eher zu einer Abnahme kommen wird (siehe Abbildung 34).

Es ist aber möglich, dass ebendiese Starkwindereignisse auch mit stärkeren Niederschlägen einhergehen und unter diesen Umständen keine Winderosion verursachen. Aufgrund dieser Unsicherheiten muss der Wind als zentraler die Winderosion bestimmende Klimafaktor bei den folgenden Betrachtungen unberücksichtigt bleiben. Für diese Klimarisikoanalyse wird aufgrund der beschriebenen Unsicherheiten eine für die Zukunft konstante Windintensität angenommen. Das bedeutet zugleich, dass die aktuelle im Umweltportal publizierte Karte zur potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind (siehe Abbildung 33) der Projektion zugrunde gelegt werden kann, also eine Stabilität der in diese Analyse eingehenden Parameter für die Zukunft angenommen wird.

[225] Pfeifer S., Rechid D., Bathiany S. 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.). https://gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

[226] Pinto J. G., Reyers M. 2017: Winde und Zyklonen. In: Brasseur G. P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland – Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: S. 67–75. 8585. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_8

[227] Pinto J. G, Feser F., Ludwig P., Reyers M. 2024: Der Klimawandel: Auswirkungen auf Winde und Zyklonen. In: Brasseur G.P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: S. 85-94. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_8

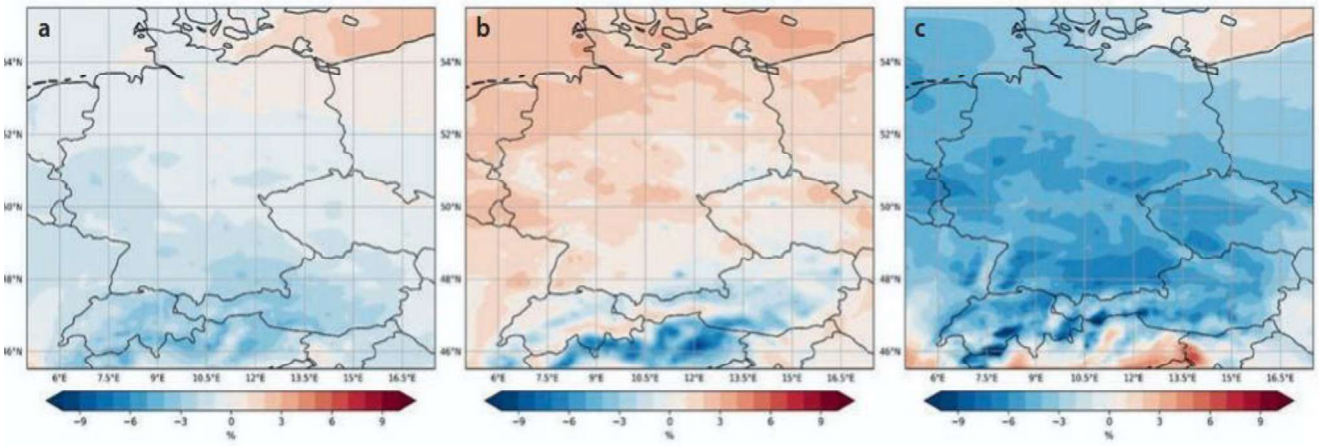


Abbildung 34: Veränderungen des Windes in 10 m Höhe bis 2071–2100 im Vergleich zu 1971–2000 (RCP8.5) (Quelle: Pinto et al 2024[228])

Als die weiteren relevanten klimabezogenen Faktor lässt sich die Trockenheit besser projizieren als der Wind. Projektionen des DWD zur Entwicklung der Trockentage zeigen bis zur Mitte des Jahrhunderts unter Annahme des RCP8.5 eine vergleichsweise große Bandbreite möglicher Entwicklungen (siehe Abbildung 35). Es kann dabei sowohl zu einer Abnahme als auch einer Zunahme der Anzahl von Trockentagen kommen. Der West-Ost-Gradient bildet sich in allen Fällen deutlich ab: Im Westen wird es weniger trocken (beim 15. Perzentil) bzw. die Zunahme trockener Tage im Jahr ist geringer (beim 85. Perzentil) als im Osten. Die Projektionen des DWD erlauben allerdings keine jahreszeitliche Differenzierung, das heißt, es ist unklar, wann im Jahresverlauf es zu den stärksten Veränderungen kommt. Festzustellen ist jedoch, dass die Bereiche, in denen es vor allem bei Betrachtung des 85. Perzentils zu einer starken Zunahme der Trockentage (im Osten Schleswig-Holsteins, siehe Abbildung 35) kommen kann, nur wenige Überschneidungen mit den (aktuell) winderosionsgefährdeten Flächen haben (siehe Abbildung 33) haben. Ein anderes Bild zeigt sich bei Überlagerung der (aktuell) winderosionsgefährdeten Flächen mit der absoluten Anzahl der für die Zukunft projizierten Trockentage (siehe Abbildung 35). In den besonders erosionsgefährdeten Gebieten der Geest könnte es bis zur Mitte des Jahrhunderts 235 bis 240 Trockentage geben. Vor allem für die südlichen Teil der Geest bedeutet dies nochmal eine deutliche Erhöhung.

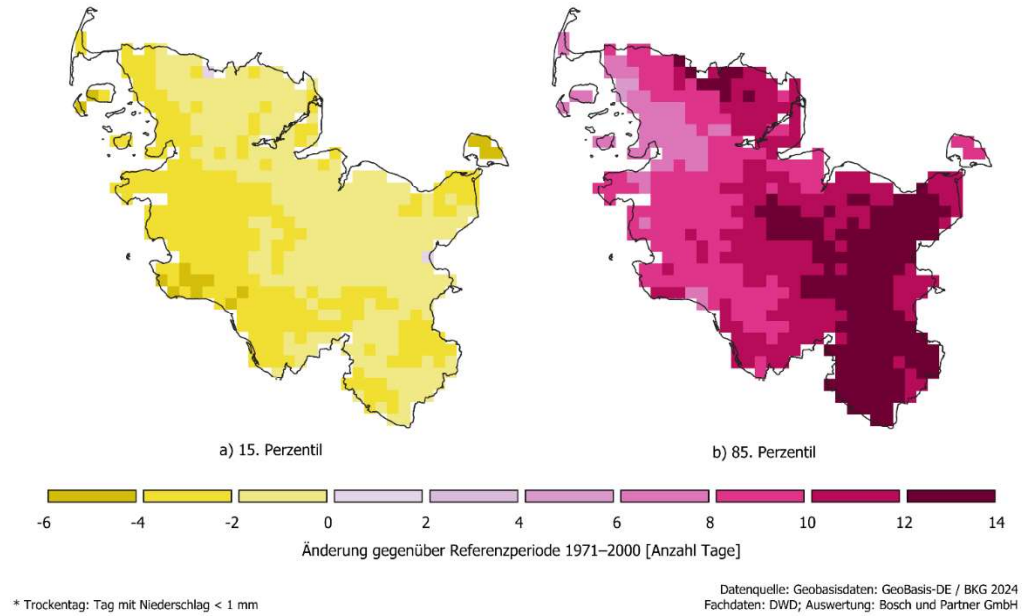


Abbildung 35: Projektionen zur Veränderung der Trockentage (2031–2060, RCP8.5)

Zur Bodenfeuchte wurden im Rahmen der KWRA 2021[229] Projektionen durchgeführt (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden"). Im Frühling/Frühsommer (März bis Juni) kann es bis zum Ende des Jahrhunderts zu einer Zunahme der Tage

[228] Pinto et al. 2024, s. Fußnote 227

[229] Renner et al. 2021, s. Fußnote 193

mit Bodenfeuchten unter 30 % nFK (bis zu 10 Tage) kommen, bis zur Mitte des Jahrhunderts sind keine nennenswerten Veränderungen zu erwarten. Nach gutachterlicher Einschätzung wird es zu den stärksten Veränderungen der Bodenfeuchte in den Geestböden mit schwachem Grundwasseranschluss kommen. Hier wird beobachtet, dass bereits jetzt immer früher im Jahr die Wassernachlieferung aus dem Grundwasser abreißt und die Oberböden in der Folge trockener werden.

Geht man davon aus, dass auch weiterhin die stärksten Winde im nördlichen Teil von Schleswig-Holstein (und hier direkt an den Küsten) auftreten (siehe Klimaanalyse, Abbildung 21) und die Windprojektionen keine Regionalisierung innerhalb Schleswig-Holsteins zulassen (siehe Abbildung 34), dann wird es zu einem räumlichen Zusammentreffen der höheren Windgeschwindigkeiten mit einer stärkeren Zunahme von Trockentagen insbesondere im äußersten Norden des Landes kommen.

7.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Der Fokus bei der Ermittlung der künftigen Erosionsgefährdung durch Wind liegt in dieser Klimarisikoanalyse auf den Ackerflächen als Nutzungsart. Für die KWRA 2021 hat das BBSR unter Zugrundelegung dreier Szenarien Projektionen zur Landnutzung bis zur Mitte des Jahrhunderts (genauer 2045) erarbeiten lassen. Genutzt wird für die Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein das Trendszenario. Es schreibt die Entwicklungen der Vergangenheit in die Zukunft fort. Es geht von einer konstanten jährlichen Nettozuwanderung von 200.000 Personen und einem geringen und sich zunehmend abschwächenden Wirtschaftswachstum aus. Die Ziele zum Klimaschutz und zur Energiewende werden verspätet erreicht, und das Flächenverbrauchsziel von 30 ha / Tag wird verfehlt (bis 2045 Absenkung auf 40 ha / Tag).[230] Aus der Projektion ergibt sich bis 2045 eine Neuentstehung von Ackernutzung auf 32.351 ha Fläche, die 2020 noch anders genutzt war. Gleichzeitig kommt es zur Aufgabe der Ackernutzung (und Umwandlung in andere Nutzungsformen) auf einer Fläche von 109.351 ha, die 2020 noch als Acker genutzt war. Der Nettoverlust von Ackerfläche beläuft sich nach dieser Rechnung auf 770 km².[231] Die Zunahmen von Ackernutzung konzentrieren sich vor allem auf die westlichen Landesteile unter Einschluss der Geest. In Schleswig-Holstein gibt es seit 2013 das Dauergrünlanderhaltungsgesetz. Dies verändert die Annahmen, unter denen die Projektion des BBSR zustande gekommen ist. Wenn in der Modellierung der historische Zustand der Grünlandabnahme extrapoliert wird, kann dies dazu führen, dass auch für die Zukunft von einem Grünlandverlust ausgegangen wird, was aber mit den aktuellen Rahmenbedingungen nicht mehr übereinstimmt. Es stellt sich damit zwangsläufig die Frage, durch welche Flächenumnutzungen zusätzliche Ackerflächen zustande kommen sollen. Für eine Fortschreibung dieser Klimarisikoanalyse wären die Modellierungsaussagen des BBSR daher zumindest für Schleswig-Holstein infrage zu stellen. Da aktuell aber keine anderen Landnutzungsprojektionen vorliegen, wird vorübergehend mit diesen Annahmen weitergearbeitet. Alle nun folgenden Darstellungen sind vor dem beschriebenen Hintergrund aber großer Vorsicht zu betrachten und zu interpretieren. Für die Klimarisikoanalyse werden nur die Zunahmen zusammenhängender Ackerflächen von größer 15 ha berücksichtigt, da die Auswertung und Darstellung ansonsten zu kleinteilig würden.

Mit Blick auf die künftige Sensitivität ist es möglich, dass die zunehmende Trockenheit Landwirtinnen und Landwirte unter anderem dazu veranlasst, weniger Sommerkulturen und mehr Winterkulturen anzubauen, um die Winterfeuchtigkeit besser nutzen, möglicherweise schlechtere Auflaufbedingungen aufgrund von Frühjahrstrockenheit umgehen und auch Dürre- und Hitzeperioden im Sommer ausweichen zu können. Zudem könnte es zu einer Umwandlung von Acker in Grünland kommen (was aber wiederum von der Entwicklung der Tierbestände abhängt). Generell sind Landnutzungsprojektionen mit großen Unsicherheiten verbunden.

7.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Bei Überlagerung der gemäß der Projektion zur Landnutzung neu hinzukommenden Ackerfläche mit den projizierten Trockentagen wird deutlich, dass es neue Ackerflächen in allen Kategorien der Häufigkeit von Trockentagen geben kann (siehe Abbildung 36). Allerdings ist die Zunahme von Ackerflächen in Räumen mit einer projizierten hohen Anzahl jährlicher Trockentage (im Osten Schleswig-Holsteins) deutlich geringer als im zentralen und westlichen Schleswig-Holstein, wo die Anzahl von Trockentagen auch in Zukunft geringer sein wird als im Osten. Aus dieser Verschneidung lassen sich nicht

[230] Behmer J. 2020: Siedlungsflächenprojektion 2045 – Teilbericht der Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021. Climate Change 08/2020, Dessau Roßlau, 52 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/siedlungsflaechenprojektion-2045

[231] Diese Berechnung ist mit Unsicherheiten behaftet: Zu den Unsicherheiten der Projektion selbst kommen Unsicherheiten der Flächenberechnung: Für die Verschneidung musste die Rasterdarstellung der Projektion zur Landnutzung vektorisiert und dann mit den Vektordaten zur Erosionsgefährdung verschnitten werden, wodurch Unschärfen in der Flächenaussage entstehen.

zwangsläufig Wasserversorgungsengpässe für die (neuen) ackerbaulich genutzten Flächen ableiten. Mögliche Beeinträchtigungen hängen in starkem Maße von den angebauten landwirtschaftlichen Kulturen ab.

Zudem ermöglicht die Projektion der Trockentage nur eine ganzjährige Betrachtung. Trockenstress wirkt sich aber auf die landwirtschaftlichen Kulturen je nach Entwicklungsphase sehr unterschiedlich aus. Nicht zuletzt gelten die oben genannten Unsicherheiten für die Projektion der neu entstehenden Ackerflächen (generell kann eine auch regional oder lokal begrenzte Zunahme der Ackerfläche angezweifelt werden). Ungeachtet dieser Unsicherheiten bedeutet das Ergebnis dieser Projektion aber, dass bei der Fruchtartenwahl auf womöglich neu entstehenden Ackerflächen ein besonderes Augenmerk auf die künftig absehbare Entwicklung der Trockentage zu richten wäre.

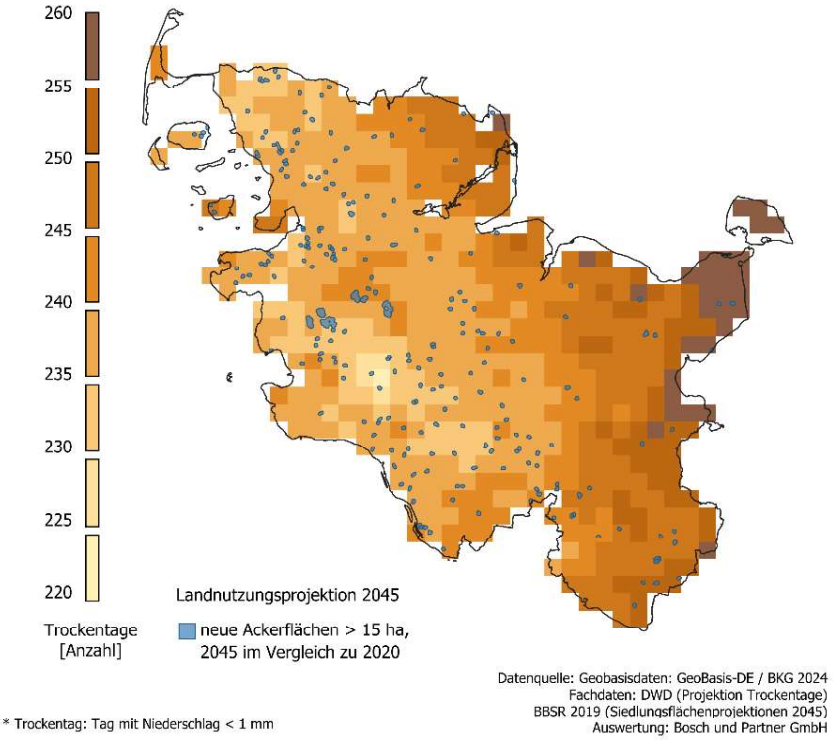


Abbildung 36 Überlagerung der Projektionen zur Anzahl der Trockentage (unter 1 mm Niederschlag) mit Projektionen zur Entwicklung der Ackerfläche (2031-2060, RCP8.5, 85. Perzentil)

Die Verschneidung der aktuell berechneten Winderosionsgefährdung (siehe Abbildung 33) mit der für 2045 projizierten Ackerfläche in Schleswig-Holstein ergibt einen Rückgang der Ackerfläche in Gebieten mit hoher und sehr hoher Erosionsgefährdung: Während heute 87.306 ha Ackerflächen (entsprechend rund 5,5 % der Landesfläche) in diesen Hochrisikogebieten liegen, sollen es 2045 nur noch 83.088 ha sein. Dies entspricht einem Rückgang um 42 km². Diese Veränderungen sind aufgrund ihrer Kleinteiligkeit auf einer landesweiten Karte aber nicht darstellbar.

Eine Verschneidung der neu entstehenden Ackerflächen mit der aktuell berechneten Winderosionsgefährdung macht im Ergebnis (siehe Abbildung 37) deutlich, dass Zunahmen auch auf Flächen stattfinden könnten, die heute einer hohen oder auch sehr hohen potenziellen Winderosionsgefährdung unterliegen. Sollte es tatsächlich auf diesen Flächen zu einer Umwandlung der Nutzung hin zu Ackerland kommen, wäre der Anbau erosionsfördernder Kulturen zu vermeiden. Es gilt auch für diese Verschneidung, dass generell an einer auch regional oder lokal begrenzten Zunahme der Ackerfläche Zweifel bestehen, da beim bestehenden Dauergrünlanderhaltungsgesetz eine Umwandlung von Grünland in Ackerfläche in der Regel ausgeschlossen ist.

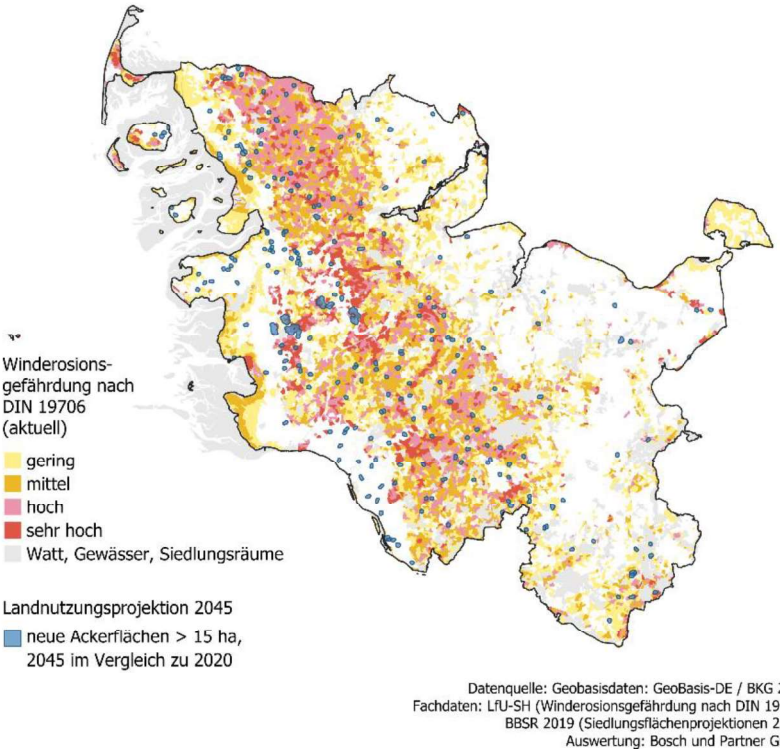


Abbildung 37: Überlagerung der aktuellen Winderosionsgefährdung mit Projektionen zur Entwicklung der Ackerfläche

Für alle hier analysierten Klimarisken ist zu berücksichtigen, dass Landnutzungsänderungen und Kulturpflanzenwechsel in der Landwirtschaft nur schwer vorhersehbar sind und sich für deren konkrete Verortung noch größere Unsicherheiten ergeben. Die Analysen erlauben aber die schlussfolgernden Hinweise, dass bei einer über die Landesfläche annähernden Gleichverteilung der Windrisiken und einer Zunahme der Trockentage die Winderosion zunehmen könnte. Dies gilt in besonderer Weise für die Geest, wo eine schon heute hohe Winderosionsgefährdung mit einer steigenden Zahl von Trockentagen zusammenfällt und damit Verhältnisse hervorbringt, die die Böden gegen stärkere Winde anfälliger macht.

7.5 Klimawirkung „Wassermangel im Boden“

7.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Dem Boden kommt eine sehr zentrale Rolle im Ökosystem zu. Er ist zum einen Träger der Vegetation, zum anderen schützt er das Grundwasser. Niederschlag und Temperatur sind bestimmend für die Bodenbildung sowie den Wasser- und Stoffhaushalt eines Bodens. Verändern sich mit dem Klimawandel die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse hat dies Folgen für die Böden, unabhängig von ihrer Nutzung. Die Verdunstung aus dem Boden (Evaporation) sowie die Transpiration der Pflanzen bestimmen die Zehrung des Bodenwasservorrats. Steigende Bodentemperaturen führen zu einer Erhöhung der Evapotranspiration, also der realen Verdunstung (Wassermenge, die von einem Pflanzenbestand unter natürlichen Bedingungen an die Atmosphäre abgegeben). Sie hat Wasserverluste aus dem Bodenwasservorrat zur Folge. Eine veränderte Sickerwassermenge wirkt sich auf die Grundwasserneubildung sowie die Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Bodenprofil aus. Ausgetrocknete Böden haben eine verringerte Wasserleitfähigkeit. Starke Niederschläge führen dann zu verstärktem Oberflächenabfluss, was wiederum Wasserverluste aus der Landschaft und ein erhöhtes Erosionsrisiko zur Folge hat. Trockene Böden und Vegetation erhöhen außerdem die Gefahr von Vegetationsbränden. Nicht zuletzt beeinträchtigen geringe Bodenwassergehalte die Vegetationsentwicklung, mindern also auch Ernteerträge und schädigen Wälder. Zudem ist der Boden selbst ein Ökosystem, das Tieren und Mikroorganismen Lebensraum bietet. Diese können bei sehr tiefreichender Austrocknung der Böden beeinträchtigt werden.

7.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

7.5.2.1 Klimasignale

Die **klimatische Wasserbilanz** (KWB) ist eine wichtige Steuerungsgröße für die Entwicklung der Bodenwasservorräte. Sie wird als Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung[232] ermittelt. Je geringer die Werte ausfallen, desto höher ist das klimabedingte Risiko von Trockenstress im Boden. In Schleswig-Holstein nehmen die positiven Jahresbilanzwerte tendenziell von Westen nach Osten ab (siehe Abbildung 38).

Am positivsten fallen die Bilanzen im Bereich der Geest aus. Hier sind die Jahresniederschläge vergleichsweise hoch (siehe Klimaanalyse[233], Abbildung 11). Auch nach Osten hin bleibt die KWB positiv, lediglich auf Fehmarn gab es im Zeitraum 1961–1990 auch großflächiger ganzjährig betrachtet negative Bilanzwerte. In den Sommermonaten werden die Bilanzwerte in der Regel negativ. Dies gilt mit Ausnahme der Bereiche nahe der Nordseeküste, die zu den wenigen innerhalb Deutschlands gehören, in denen es Regionen gibt, in denen die KWB auch im Sommer positiv bleiben kann. Im Vergleich der beiden Zeiträume 1961–1990 und 1991–2020 sind die KWB-Werte in ganz Schleswig-Holstein höher geworden. Zu berücksichtigen ist, dass bei der Betrachtung von 10- oder gar 30-Jahreszeiträumen extreme Jahre ausgemittelt werden. So dürfte die KWB in den extrem trockenen Jahren 2018 und folgende zumindest regional in Schleswig-Holstein negative Werte angenommen haben. Der DWD bietet für die KWB allerdings nur Auswertungen für ausgewählte Mehrjahreszeiträume (10 und 30 Jahre) an, sodass sich speziell zur Situation während der genannten Trockenperiode keine flächendeckenden Aussagen für Schleswig-Holstein treffen lassen.

[232] Die potenzielle Verdunstung entspricht nach DWD der Wassermenge, die von einer ausreichend feuchten Grasfläche an die Atmosphäre abgegeben wird. Das bedeutet, die tatsächliche Vegetationsbedeckung wird nicht berücksichtigt. https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/vd_erlaeuterungen.pdf

[233] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

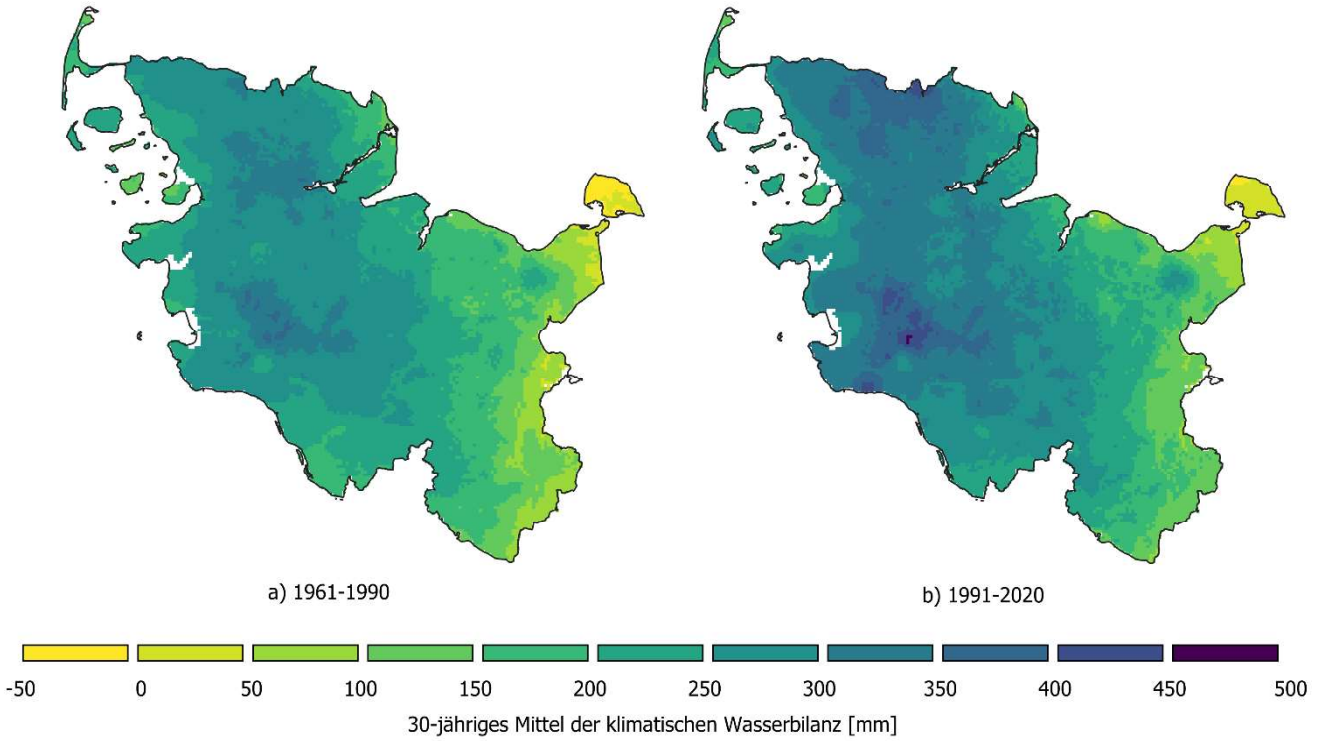


Abbildung 38: Ganzjährige klimatische Wasserbilanz (Quelle: DWD, Auswertung: durch Bosch & Partner GmbH)

Die Niederschlagssumme geht in die Berechnung der KWB ein. Die Summe trifft aber keine Aussage zur zeitlichen Verteilung und Form des gefallenen Niederschlags. Für die Auffüllung der Bodenwasservorräte sind jedoch die Zeitpunkte des Niederschlags und insbesondere auch die **Intensität der Niederschläge** entscheidend.

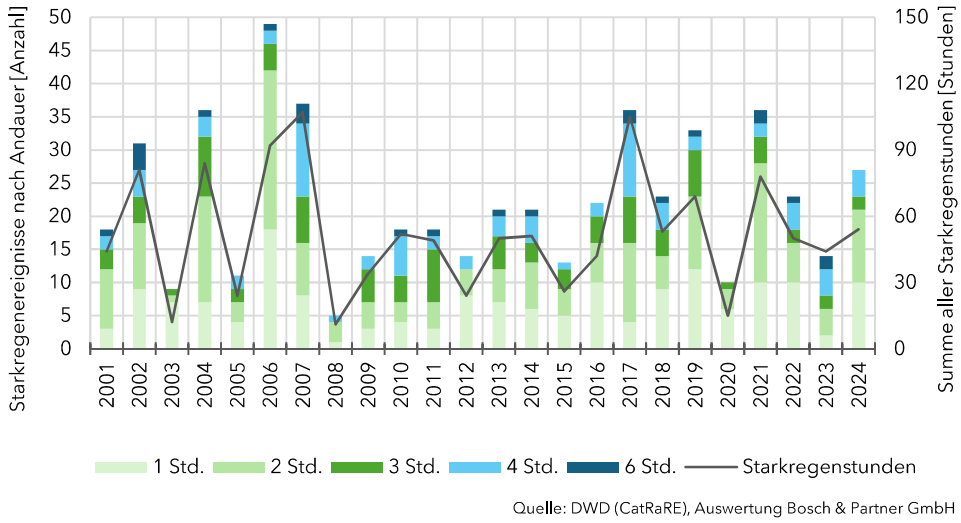


Abbildung 39: Starkregenereignisse in Schleswig-Holstein (Starkregen bis 6 Stunden Dauer)

Schwellenwerte der Niederschlagssumme für die Dauerstufen:

25 l/m² in 1 Stunde
27 l/m² in 2 Stunden
29 l/m² in 3 Stunden
31 l/m² in 4 Stunden
35 l/m² in 6 Stunden[234]

Eine Entwicklung hin zu häufigerem Auftreten von starken Niederschlagsereignissen hat einen großen Einfluss auf das Infiltrationsvermögen der Böden und demzufolge auch auf die Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Oftmals treten Starkniederschläge im Wechsel mit Trockenperioden auf, treffen also auf ausgetrocknete Böden mit verringerter Infiltration, fließen dann oberirdisch ab und kommen dem Bodenwasservorrat nicht zugute. Seit 2001 erfasst der DWD Starkregenereignisse mithilfe von Radardaten (RADKLIM-Daten) und führt diese in den Katalogen der Starkregenereignisse (CatRaRE[235]) als Grundlage für die Analyse des Starkregengeschehens. Aus der Auswertung des CatRaRE für Starkregenereignisse mit

[234] DWD (Hrsg.) o. J.: Event selection in CatRaRe. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/event_catalogues/germany/precipitation/CatRaRE_v2025.01/CatRaRE_EventDetection.pdf

[235] CatRaRE-Starkregenkataloge des DWD: https://www.dwd.de/DE/leistungen/catrare/catrare.html

einer Dauer von 1 bis 6 Stunden Dauer resultieren bis September 2024 für Schleswig-Holstein 539 Starkregenereignisse; diese sind im ganzen Land aufgetreten[236]. Die Anzahl der Ereignisse und ihre Andauer sowie die Gesamtsumme aller Starkregenstunden eines Jahres zeigen von Jahr zu Jahr starke Schwankungen (siehe Abbildung 39). Ein statistisch signifikanter Trend ergibt sich für diese Zeitreihe nicht. Die Auswertung trifft keine Aussage über die Intensität der jeweiligen Ereignisse.

7.5.2.2 Exposition

Gegenüber Wassermangel sind generell alle terrestrischen und entwässerten **Böden** exponiert, unabhängig von ihrer Nutzung (sofern sie nicht komplett versiegelt sind). Eine Ausnahme können grundwassernahe Standorte sein.

7.5.2.3 Sensitivität

Die Verdunstung aus dem Boden (Evaporation) sowie die Transpiration durch die Pflanzen bestimmen die Zehrung des Bodenwasservorrats. Mit den steigenden Lufttemperaturen (siehe Klimafolgenmonitoring „Jahresmitteltemperatur – Abweichung vom langjährigen Mittel") werden auch die Bodentemperaturen weiter steigen. Höhere Bodentemperaturen begünstigen die **Evapotranspiration**, also sowohl die Evaporation von nicht bewachsenen Bodenoberflächen (und Wasserflächen) als auch die Transpiration von Pflanzen. Letztere ist erheblich von der **Vegetationsbedeckung** abhängig. Mit höherer Temperatur steigt grundsätzlich die Aktivität der Pflanze, allerdings begrenzt diese bei zu hoher Temperatur und Problemen mit der Wassernachlieferung aus dem Boden ihre Transpiration durch Stomataschließung. Grundsätzlich gilt, dass aufgrund des „Stomatawiderstands" auf bewachsenen Böden der Wasserverbrauch geringer ist als in unbewachsenen Böden. Das bedeutet, dass (permanent) mit Vegetation bedeckte Böden grundsätzlich das Bodenwasser schützen, da sie den Boden gegenüber direkter Sonneneinstrahlung abschirmen und damit die Evaporation mindern. Zudem fördert eine permanente Bodenbedeckung grundsätzlich auch die Humusbildung, die wiederum die Wasserspeicherkapazität erhöht.

Der Bodenwasserspeicher wird außerhalb der Vegetationsperiode, also in den Herbst- und Wintermonaten, aufgefüllt, denn dann ist die Zehrung durch Pflanzenaufnahme und Verdunstung gering. Wird der Bodenwasservorrat in diesen Monaten nicht ausreichend durch Niederschläge aufgefüllt, wird dieser zum Beginn der Vegetationsperiode und mit dem einsetzende Pflanzenwachstum schnell aufgezehrt. Erhöhte Sonneneinstrahlung und steigende Temperaturen zu Beginn und während der Wachstumsphase können die Evapotranspiration erhöhen und damit die Wasserzehrung und den Wassermangel im Boden weiter verstärken. Dies hat direkte Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum und mikrobielle Umsetzungsprozesse im Boden.

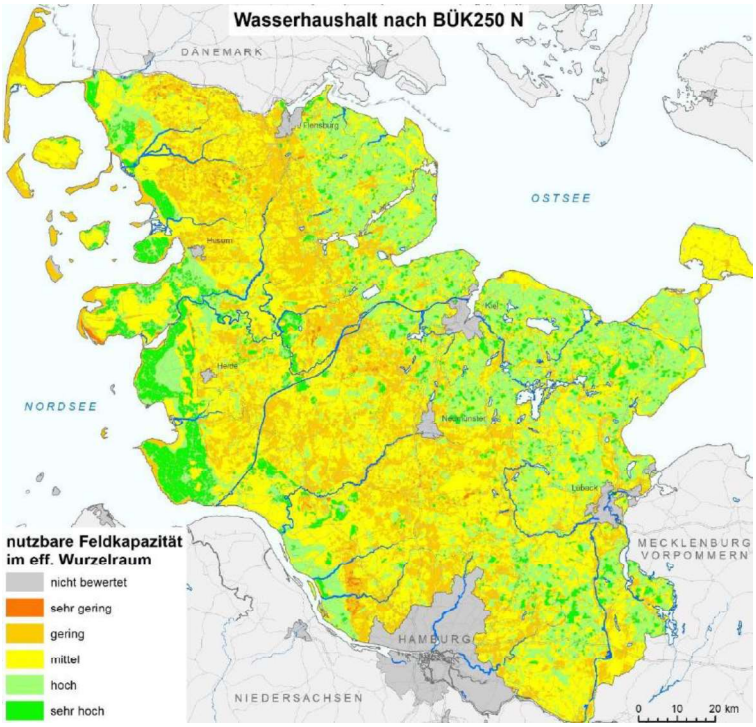
Für die Bodenfeuchte und ihre Entwicklung sind neben der Vegetationsbedeckung die Bodenart und deren Wasserspeicherkapazität entscheidend. Vor allem leichte Böden mit hohen Sandanteilen zeichnen sich durch ein geringes Wasserspeichervermögen aus und reagieren daher schnell auf wechselnde Feuchtebedingungen. Das für Pflanzen nutzbare Wasser in Böden wird mit der nutzbaren Feldkapazität (nFK)[237] beschrieben. Die **nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum** bezeichnet das pflanzenverfügbar gespeicherte Bodenwasser bis zu einer Tiefe, in der es unter ackerbaulicher Nutzung von einjährigen Pflanzen ausgeschöpft werden kann[238]. Böden mit hohen nFK-Werten im effektiven Wurzelraum sind für die Wasserversorgung grundsätzlich günstiger, weil sie gegenüber Dürre widerstandsfähigere Standorte bieten; dies gilt für landwirtschaftlich genutzte Böden wie für den Wald.

In Schleswig-Holstein gibt es drei prägende Bodenlandschaften: In der Marsch, d. h. in den Küstenbereichen sowie der Elbe- und Eidermarsch dominieren tiefgründige mineralische und fruchtbare Böden. In der Geest (in der Vorgeest und Hohen Geest) herrschen sandige, nährstoffarme, teilweise podsolierte Böden vor. Im östlichen Hügelland (Jungmoräenlandschaft), dem größten der Hauptnaturräume Schleswig-Holsteins, ist das am weitesten verbreitete hochglaziale, oberflächennah anstehende Bodenausgangsgestein der Geschiebemergel. Hier herrschen lehmige Parabraunerden vor. Die in

[236] MEKUN 2025: Starkregen – was geht mich das an? Wissenswertes und Hinweise zum Selbstschutz. Kiel, 23 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/wasserstarkSH/starkregen/downloads/broschuereStarkregen.pdf

[237] DWD 2026: Erläuterungen zur nutzbaren Feldkapazität. https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/basis_einheiten_nfk_doku.html

[238] Die nutzbare Feldkapazität umfasst die Wassermenge, die ein wassergesättigter Boden nach etwa drei Tagen maximal gegen die Schwerkraft zurückhalten kann (abzüglich des sogenannten Totwassers, das aufgrund seiner festen Bindung Boden für Pflanzenwurzeln nicht erschließbar ist). Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen ist die Berechnungs- und Bezugstiefe für die Angabe zur nutzbaren Feldkapazität die effektive Durchwurzelungstiefe (We), s. https://www.gd.nrw.de/wms_html/BK5_WMS/PDF/Methoden/BK5_NFKL.pdf



Schleswig-Holstein ebenfalls weit verbreiteten Moore (überwiegend Niedermoore) befinden sich in Senken und Niederungen.

Die Karte der nFK im effektiven Wurzelraum (siehe Abbildung 40) spiegelt die Verteilung der Bodentypen wider: In den Böden der zentralen Landesteilen der Geest sind die Werte der nFK im effektiven Wurzelraum gering. In der Marsch, im östlichen Hügelland und in den Niederungen sind sie entsprechend (deutlich) höher.

Abbildung 40: Nutzbare Feldkapazität auf Grundlage der BUEK250N (Quelle: Umweltportal Schleswig-Holstein)

Das Wasserhaushaltsmodell mGROWA wird in mehreren Bundesländern, darunter auch Schleswig-Holstein, zur Simulation und Projektion des Wasserhaushalts auf Landes- und Flussgebietsebene für die (grund-)wasserwirtschaftliche Planung, zur Ermittlung der Nährstoffbelastung unter anderem in großen Flusseinzugsgebieten, zur Abschätzung des potenziellen Bewässerungsbedarfs in der Landwirtschaft und zur Abschätzung aktueller und zukünftiger Grundwasserdürren eingesetzt[239]. Das Modell leistet eine rasterbasierte Simulation des Bodenwasserhaushalts (Evapotranspiration, Sickerwasserbewegung, Abflussbildung etc.) in hoher zeitlicher (Tage) und räumlicher Auflösung (z. B. 100 m x 100 m) sowie eine rasterdifferenzierte Trennung des Abflusses in Direktabflusskomponenten und Grundwasserneubildung. Aufgrund seiner hohen zeitlichen Auflösung sind auch belastbare Aussagen zur saisonalen Variabilität der Wasserhaushaltsgrößen möglich. Auch die tatsächliche Evapotranspiration, die den Bodenwassergehalt mitbestimmt ist Teil der Modellierung.

Für Schleswig-Holstein stehen Modellergebnisse zur mittleren jährlichen tatsächliche Evapotranspiration (1991-2020) mit einer Auflösung von 100 m x 100 m zur Verfügung (siehe Abbildung 41). Mit Werten von mehr als 600 mm/Jahr trat die höchste tatsächliche Evapotranspiration in dieser Periode 1991-2020 in der Marschregion an der Westküste Schleswig-Holsteins auf. Dies liegt vor allem an der Grundwasserbeeinflussung der Marschböden, die den kapillaren Aufstieg und damit die direkte Evapotranspiration aus dem Grundwasser fördert. Für die übrigen Landesteile ergibt sich ein kleinteiliger Flickenteppich mit einer tatsächlichen Evapotranspiration zwischen 400 und 600 mm/Jahr. Klare regionale Muster sind nicht erkennbar. Offensichtlich überlagern sich die Evaporation fördernde und diese hemmende Standortbedingungen vielerorts. So übertrifft das Wasserspeichervermögen der Böden im Östlichen Hügelland zwar das in der Geest, dafür sind im Östlichen Hügelland aber die Niederschlagshöhen geringer. Die Bereiche, die sich kleinräumig mit einer tatsächlichen Evapotranspiration von unter 400 mm/Jahr abzeichnen sind ausschließlich Gebiete mit einem hohen Anteil an versiegelter Fläche (städtische Gebiete).[240] Die Darstellung und ihre Interpretation zeigen gleichzeitig, dass unmittelbare Rückschlüsse von der Evaporation auf den Bodenwassergehalt nicht möglich sind, vor allem nicht auf grundwasserbeeinflussten Böden.

[239] Kurzbeschreibung von mGROWA (Forschungszentrum Jülich): https://www.fz-juelich.de/de/ibg/ibg-3/forschung/modellierung-terrestrischer-systeme/modellierung-und-management-von-einzugsgebieten/wasserhaushalt-und-klimawandel

[240] McNamara I., Tetzlaff B., Wolters T., Wendland F. 2024: Modellierung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildung für Schleswig-Holstein. Endbericht. Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Energie & Umwelt Band 626: S: 52 https://juser.fz-juelich.de/record/1024073/files/Energie_Umwelt_626.pdf

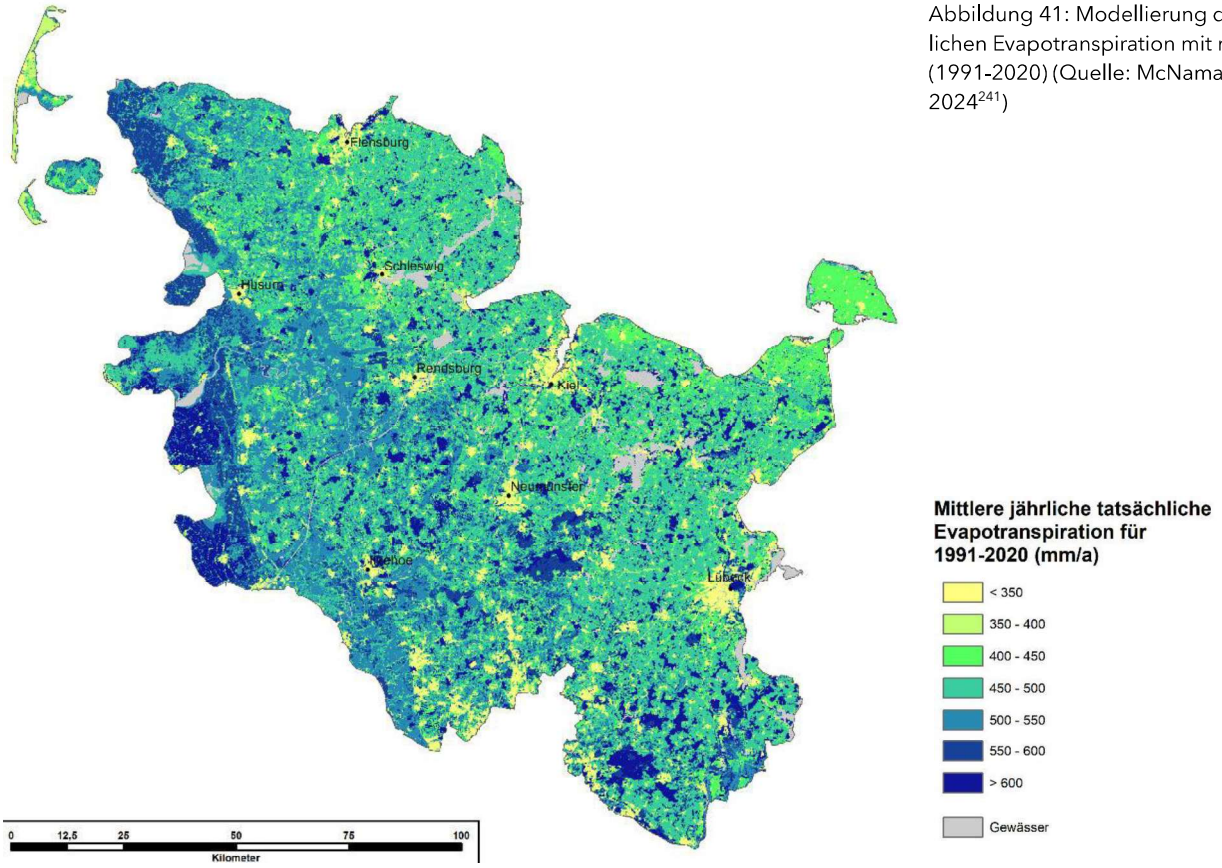


Abbildung 41: Modellierung der tatsächlichen Evapotranspiration mit mGROWA (1991-2020) (Quelle: McNamara et al. 2024[241])

7.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

7.5.3.1 Monitoring

Messungen zur Bodenfeuchte werden in Schleswig-Holstein auf drei der 37 in Schleswig-Holstein betriebenen BDF durchgeführt (zwei auf Ackerflächen und eine auf Grünland). Allerdings wurde erst im Jahr 2017 mit der Einrichtung von Messplätzen zur Erfassung zeitlich hochaufgelöster Daten (stündliche Messungen) der Bodenwassergehalte und der Wasserspannung in Tiefen von 60 cm und 110 cm unter der Geländeoberfläche begonnen. In der Regel trocknen in der gemäßigten Klimazone während einer Trockenphase nur die oberen Dezimeter des Bodens aus. Bei besonders lang anhaltenden Trockenperioden kann es aber auch zu einer tiefgründigeren Austrocknung kommen, die nur mittelfristig wieder aufgefüllt werden kann. Für das Dürrejahr 2018 liegen lediglich von einem sandigen Ackerstandort in der Vorgeest Daten vor. Die Bodenwassergehalte waren auf diesem Standort in beiden Tiefen stark abgesunken. Neben der Intensität der Austrocknung war im Dürrejahr 2018 die Dauer der geringen Bodenwassergehalte deutlich länger als in den Vergleichsjahren. Zu einer ähnlichen Diagnose kamen Untersuchungen der Universität Köln auf einer Sukzessionsfläche mit einem hohen Wasserhaltevermögen aus lehmig-schluffigen Marschenablagerungen (Speicherkoog), die in den Jahren 2010 bis 2021 in verschiedenen Bodentiefen durchgeführt wurden. Die verminderten Niederschläge führten auch auf dieser Fläche zu verringerten Bodenwassergehalten.[242]

In Waldböden werden Messungen der Bodenfeuchte lediglich im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings (LEVEL II) durchgeführt. In Schleswig-Holstein wird im Rahmen des LEVEL II-Programms eine Messstelle (Bornhöved) betrieben. Für die Waldflächen Schleswig-Holsteins repräsentative Aussagen lassen sich damit nicht treffen.

[241] McNamara et al. 2024, s. Fußnote 240

[242] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 30. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

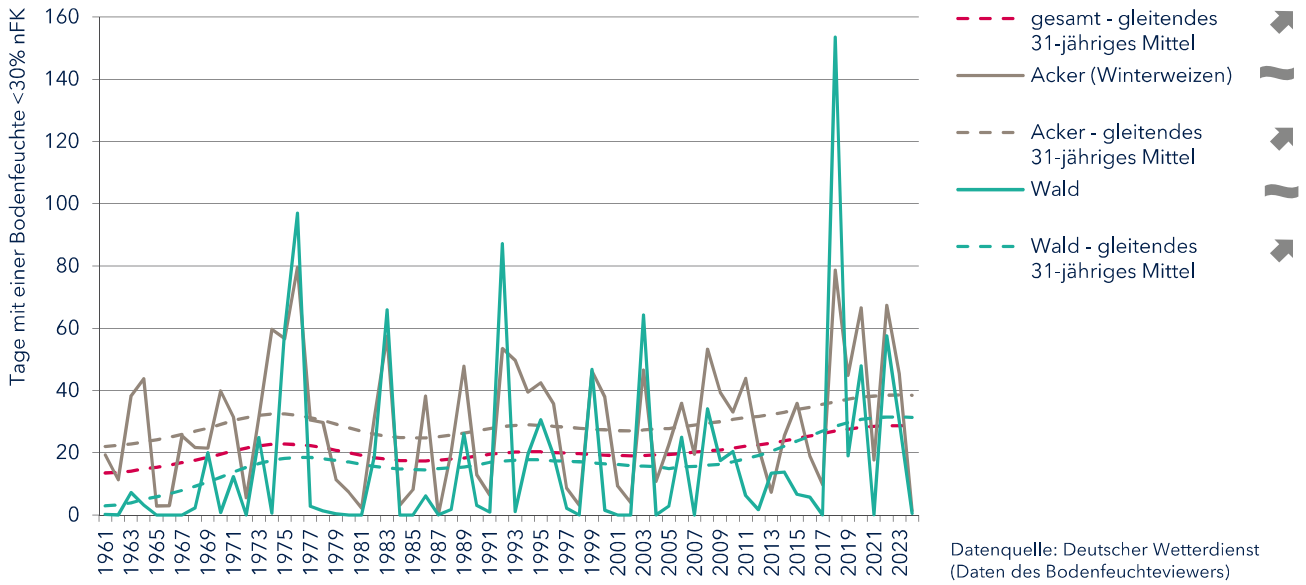


Abbildung 42: Tage mit Bodenfeuchte unter 30 % nFK in Schleswig-Holstein (0-60 cm Bodentiefe) (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator BO-I-1[243])

Gemäß den (modellierten) Daten des Bodenfeuchte-Viewers des DWD hat in den Böden Schleswig-Holsteins die Zahl der Tage unter 30 % nFK in den vergangenen gut 60 Jahren zugenommen und zwar sowohl insgesamt als auch für die Landnutzungen Acker und Wald (siehe Abbildung 3). Die Werte schwanken in Abhängigkeit von der Witterung zwischen den Jahren sehr stark. Statistisch signifikante Trends lassen sich nur für die 31-jährigen gleitenden Mittel ermitteln. Die Anzahl der Trockentage liegt für Böden unter Ackernutzung im Durchschnitt höher als für Waldböden. Ein entscheidender Grund dürfte dabei der bessere Bodenschutz sowie die höhere Infiltrationsleistung auch bei Starkregenereignissen sein (vor allem auf trockenen Ackerböden ist der Oberflächenabfluss deutlich höher als im Wald und auf Grünland). In einzelnen, besonders warmen und trockenen Jahren wie 2018 zeigen Waldböden allerdings eine besonders hohe Zahl an Trockentagen. Die hohe Verdunstungsleistung der Waldbestände bei der sehr trockenen und warmen Witterung zehrt den Bodenwasservorrat in diesen Jahren besonders stark aus.

Einschränkend gilt für aus dem Bodenfeuchte-Viewer basierende Aussagen, dass den Modellierungen stark vereinfachte Musterprofile der Böden zugrunde liegen. Mit Blick auf die lokal und regional tatsächlich anzutreffenden Bodenprofile können sich infolgedessen Abweichungen der Modellannahmen von den Verhältnissen vor Ort ergeben. Da das dem Bodenfeuchte-Viewers zugrunde liegende Modell auch den Grundwassereinfluss nicht berücksichtigt, können sich in den tieferen Bodenschichten, die stärker vom Grundwasser beeinflusst sind, ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den berechneten und den tatsächlichen Bodenfeuchtegehalten ergeben. In Bodentiefen von über 100 cm kommt es zur Nachlieferung von Wasser durch den kapillaren Aufstieg, was dazu führt, dass die Messwerte höhere Bodenfeuchtewerte anzeigen als das Modell[244].

7.5.3.1.1 Klimarisikoanalyse

Die Klimaprojektion zur klimatischen Wasserbilanz für Schleswig-Holstein (basierend auf dem RCP8.5) zeigt bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) ein große Spannbreite der Entwicklung (siehe Abbildung 43). Insgesamt überwiegen aber selbst beim 15. Perzentil sehr deutlich die Rasterzellen mit positiveren Bilanzwerten. Beim 85. Perzentil fallen die Zunahmen vor allem in den westlichen Landesteilen sehr deutlich aus. Diese in der Tendenz höheren Bilanzwerte begründen sich vor allem in der projizierten Entwicklung der Niederschläge (siehe Klimaanalyse, Abbildung 17). Diese sollen landesweit zunehmen[245]. Diese positiver werdende klimatischen Wasserbilanz bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass den Böden auch mehr Wasser zur Verfügung steht und Niederschläge in einer Form fallen, in denen das Wasser gut von den Böden aufgenommen werden kann.

[243] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt BO-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/trockenheitsindex.pdf

[244] DWD 2023, s. Fußnote 242: S. 30

[245] Zu vergleichbaren Aussagen kommen auch Pfeifer S., Rechid D., Bathiany S. 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.).
https://gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

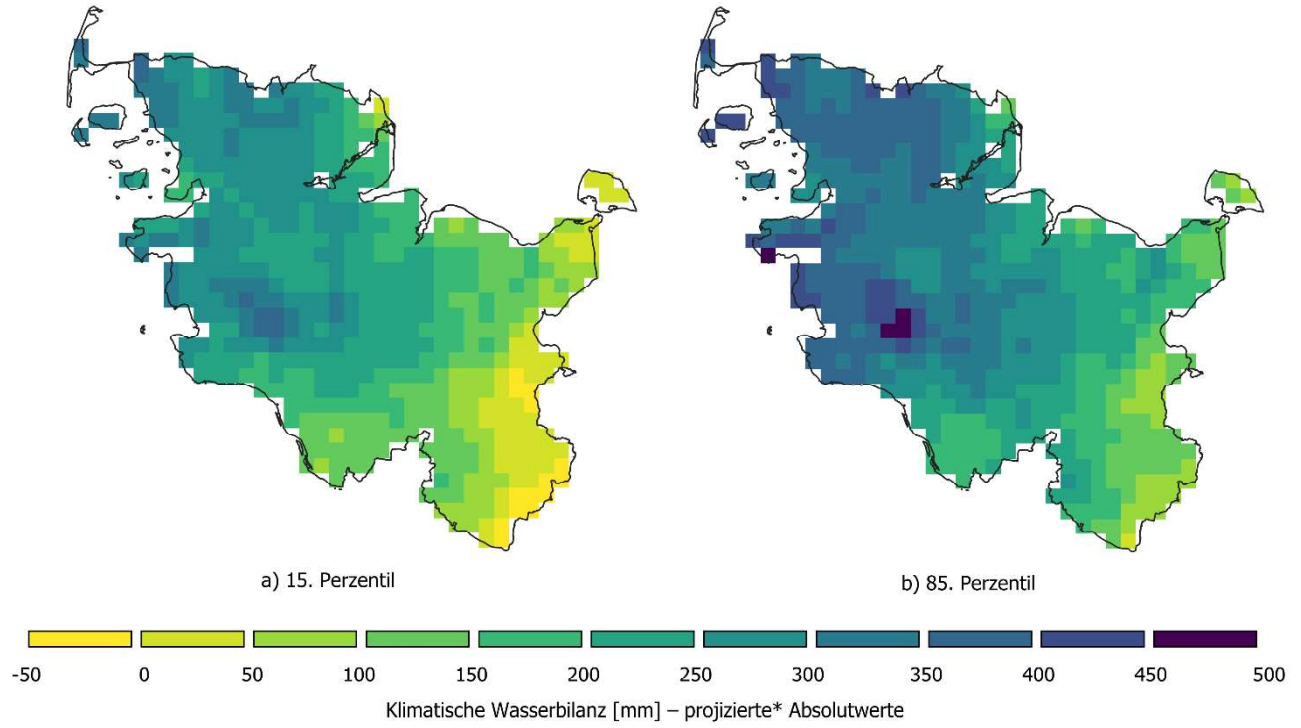


Abbildung 43: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz – Projektion bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, RCP8.5)

Zur Projektion der Bodenfeuchte liegen für Schleswig-Holstein keine systematischen Untersuchungen vor. Im Rahmen der bundesweiten KWRA 2021 wurden die Klimawirkung „Abiotischer Stress (Pflanzen)" und „Wassermangel im Boden" bearbeitet.[246] Die erstgenannte Klimawirkung wurde mit Blick auf den Winterweizen operationalisiert und modelliert den Trockenstress mithilfe des Modells AMBAV des DWD. Mit AMBAV lässt sich auf Basis von Wetter- und Bodendaten sowie Annahmen zum phänologischen Entwicklungsstand von Pflanzen tagesgenau unter anderem der Bodenwassergehalt in Prozent der nFK unter Berücksichtigung der Wasserentzüge durch die Verdunstung aus dem Boden berechnen. Ermittelt wurde für alle Pixel mit mehr als 20 % Ackerfläche die Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten unter 30 % und unter 50 % der nFK. Es erfolgte eine differenzierte Berechnung für den Herbst (September bis November, wenn der Weizen aufläuft) und Frühling bis Sommer (März bis Juni, wenn der Weizen wächst, zur Blüte kommt und ausreift).

Mit der Weiterentwicklung zu AMBAV 2.0 wird das Modell für eine bessere räumliche Repräsentanz in einem Raster in 1 km x 1 km Auflösung über Deutschland betrieben. Bei der Berechnung werden die typischen regionalen Böden auf Grundlage der nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte BÜK 1000N der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) berücksichtigt (Richter et al. 2007, zit. nach DWD 2024). Für jede der Rasterzellen werden unter Verwendung des jeweils überwiegend vorliegenden Bodens und unter Berücksichtigung der erfassten, ebenfalls als Raster vorliegenden Niederschlagsdaten mithilfe des AMBAV-Modells tägliche Werte für die Bodenfeuchte in einer vertikalen 10 cm Auflösung bis zu 2 m Tiefe für jede 1 km x 1 km Rasterfläche modelliert.

Für den Herbst wurden die deutlichsten Zunahmen im (Süd-)Osten Schleswig-Holsteins projiziert. Hier kann die Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten unter 30 % nFK im Herbst bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031–2060) um bis zu 10 Tage, bis zum Ende des Jahrhunderts (2071–2100) um bis zu 30 Tage zunehmen. Für die Anzahl der Tage mit Bodenfeuchten unter 50 % nFK ergeben die Projektionen bis zur Mitte des Jahrhunderts für den Herbst keine relevanten Veränderungen. Bis zum Ende des Jahrhunderts kann es – auch hier insbesondere in den südöstlichen Landesteilen – zu einem Anstieg um 20 Tage kommen. Ein Grund hierfür sind die steigenden Lufttemperaturen im Herbst (siehe Klimafolgenmonitoring „Jahreszeitliche Temperatur"), die eine stärkere Zehrung der Bodenwasservorräte verursachen. Im Frühling/Frühsommer kann es neben den östlichen auch in den westlichen Landesteilen bis zum Ende des Jahrhunderts zu einer Zunahme der Tage mit Bodenfeuchten unter 30 % nFK (bis zu 10 Tage) kommen, bis zur Mitte des Jahrhunderts sind keine nennenswerten

[246] Renner et al. 2021, s. Fußnote 193

Veränderungen zu erwarten. Die Tage mit Bodenfeuchten unter 50 % nFK werden sich bis zur Mitte des Jahrhunderts kaum ändern, bis zum Ende des Jahrhunderts könnten sie in den östlichen Landesteilen im Herbst um bis zu 20 Tage zunehmen.[247]

Die Bearbeitung der Klimawirkung „Wassermangel im Boden" in der KWRA 2021 fokussierte auf die effektive Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode (Mai bis August) und trifft Aussagen zu allen Landnutzungen. Die effektive Wasserbilanz (in mm) wird als Differenz von Wasserdargebot und potenzieller Evapotranspiration ermittelt. Für das Wasserdargebot sind neben den Niederschlägen auch die im Boden vorhandenen und entziehbaren Wassermengen (beschrieben durch die nFK im effektiven Wurzelraum) sowie gegebenenfalls der kapillare Aufstieg relevant. Als bodenkundliche Grundlage diente die nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1:1.000.000. Es handelt sich also um eine kleinmaßstäbliche Betrachtung. Sie zeigt bis zur Mitte des Jahrhunderts in ganz Schleswig-Holstein im Mittel der Vegetationsperiode in den westlichen Landesteilen eher eine Zunahme der Bilanzwerte, in den östlichen eher eine Abnahme. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte es in den überwiegenden Landesteilen zu einer Reduzierung der effektiven Wasserbilanz kommen, lediglich in den der Nordsee näheren Bereiche könnte es auch zu einer Zunahme kommen.

[247] Renner et al., s. Fußnote 229: 205–207

7.6 Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser“

7.6.1 Die Klimawirkung im Überblick

Böden sind eine kostbare Ressource. Sie sind häufig das Ergebnis jahrtausendelanger Bodenbildungsprozesse. So kann die Entwicklung einer ein Zentimeter mächtigen, humosen Bodenschicht 100 bis 300 Jahren dauern[248]. Bodenverluste durch Bodenerosion können daher sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Beeinträchtigungen bis hin zu schädlichen Bodenveränderungen nach sich ziehen. Dies kann sowohl die Erosionsfläche betreffen, von der das Bodenmaterial abgetragen wurde, als auch außerhalb der Erosionsfläche gelegene Bereiche, auf denen es zur Ablagerung des erodierten Bodenmaterials kommt. Insbesondere beim Eintrag von erodiertem Material in Oberflächengewässer kann es zu Eutrophierung und Verschlämmung der Gewässersohle kommen, nicht zuletzt können durch Verschmutzung von Verkehrs- und Siedlungsinfrastruktur wirtschaftliche Schäden entstehen.

7.6.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

7.6.2.1 Klimasignale

Der am stärksten das Ausmaß der Wassererosion bestimmende Klimaparameter ist der **Niederschlag**. Treffen starke / intensive Regenfälle auf einen nicht (ausreichend) von Vegetation bedeckten Boden, können Bodenpartikel aus ihrem Gefüge gelöst und der Schwerkraft folgend hangabwärts transportiert werden. Der Klimawandel führt zu einem sich verändernden Niederschlagsregime und beeinflusst das Starkregengeschehen. Bundesweit besteht die Tendenz, dass **Starkregenereignisse** insbesondere in den Monaten April bis Oktober häufiger auftreten und intensiver ausfallen.

Seit 2001 erfasst der DWD Starkregenereignisse mithilfe von hochaufgelösten Radardaten (RADKLIM-Daten[249]) und führt diese in den Katalogen der Starkregenereignisse (CatRaRE[250]) als Grundlage für die Analyse des Starkregengeschehens. Aus der Auswertung des CatRaRE für Starkregenereignisse bis 6 Stunden Dauer resultieren bis September 2024 für Schleswig-Holstein 539 Starkregenereignisse, die über das ganze Land verteilt auftraten. Die Anzahl der Ereignisse und ihre Andauer sowie die Gesamtsumme aller Starkregenstunden eines Jahres zeigen von Jahr zu Jahr starke Schwankungen (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden“). Einen statistisch signifikanten Trend gibt es aber für Schleswig-Holstein bisher nicht. Auch die weiter zurückreichende Datenreihe zur Anzahl von Tagen mit starkem Niederschlag von mindestens 20 mm im gesamten Tagesverlauf (ein Parameter, der nicht mit Starkregen gleichzusetzen ist, siehe Klimafolgenmonitoring „Durchschnittliche Anzahl von Tagen mit starkem Niederschlag“) zeigt für Schleswig-Holstein im Zeitraum 1951–2023 keine statistisch gesicherte Zunahme, statt dessen aber starke Schwankungen zwischen den Jahren.

Zur Abschätzung der Erosionsgefährdung durch Wasser kommt die „Allgemeine Bodenabtragsgleichung“ (ABAG[251]) zum Einsatz. Die darin berücksichtigten Faktoren sind die Regenerosivität, die Bodenerodierbarkeit, die Hangneigung und Hanglänge, die Bodenbedeckung und -bearbeitung und der Erosionsschutz (Querbewirtschaftung). Der Einfluss von Starkregen auf die Erosion wird dabei über den Regenerosivitätsfakor (R-Faktor) beschrieben. Dieser wird nach DIN 19708 (2022-08, „Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG“) ermittelt und lässt sich aus den obengenannten RADKLIM-Daten berechnen.

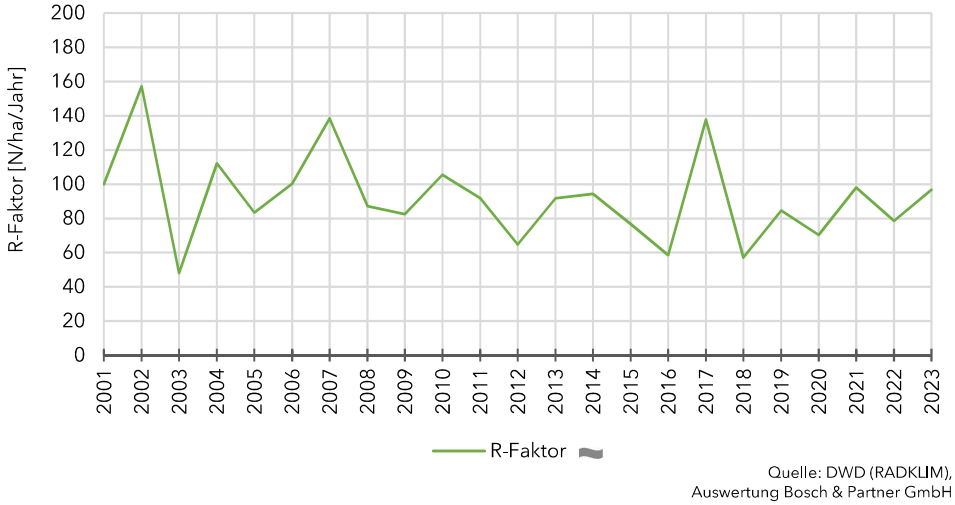
Abbildung 44 zeigt die landesweite Entwicklung für Schleswig-Holstein seit Verfügbarkeit der Daten. Je höher der R-Faktor-Wert ist, umso höher ist die Niederschlagsenergie, die zu einem verstärkten Bodenabtrag führen kann.

[248] UBA: Entwicklung des Bodens. https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/kleine-bodenkunde/entwicklung-des-bodens#lange-entwicklung

[249] Radarklimatologie des DWD: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/help/landing_pages/doi_landing-page_RADKLIM_RW_V2017.002-de.html

[250] CatRaRE-Starkregenkataloge des DWD: https://www.dwd.de/DE/leistungen/catrare/catrare.html

[251] Schwertmann U., Vogl W., Kainz M. 1987: Bodenerosion durch Wasser. Stuttgart.



Quelle: DWD (RADKLIM), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 44: Entwicklung des R-Faktors für Schleswig-Holstein

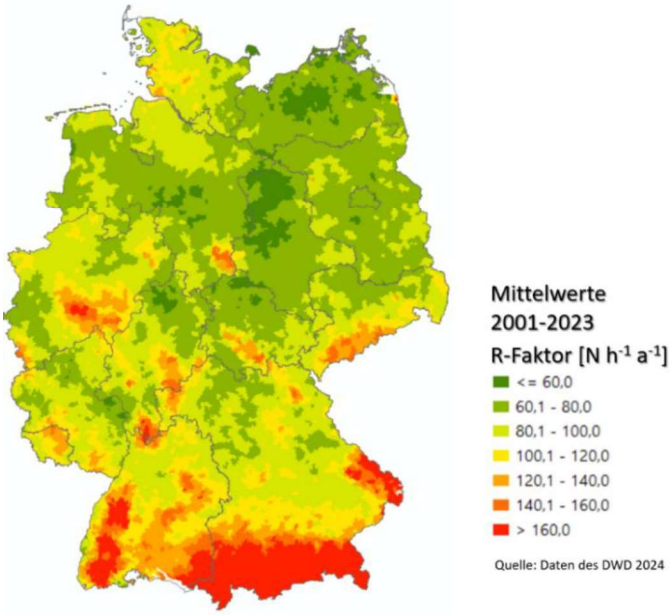


Abbildung 45: R-Faktor im bundesweiten Vergleich (Quelle: DWD)

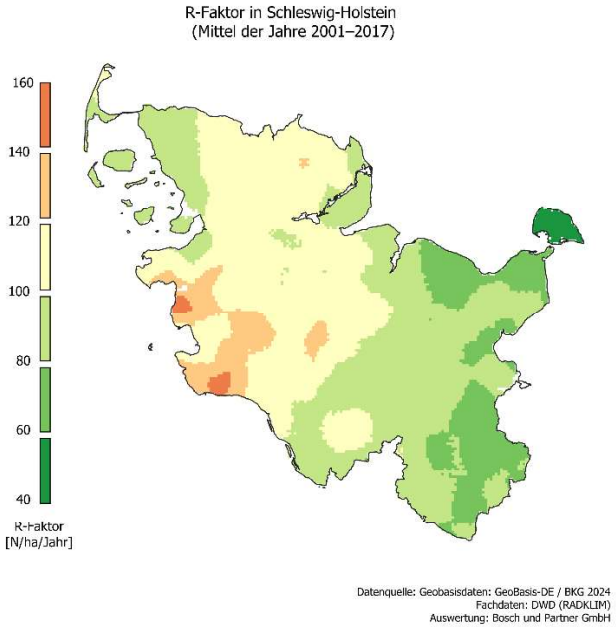


Abbildung 46: R-Faktor für Schleswig-Holstein

Die räumliche Ausprägung des R-Faktors zeigen Abbildung 45 und Abbildung 46. Die bundesweite Darstellung macht deutlich, dass bei Betrachtung der mittleren Regenerosivität in den Jahren 2001–2023 insbesondere die Mittel- und Hochgebirgsregionen hohe R-Faktorwerte zeigen. In Schleswig-Holstein gibt es insbesondere in der westlichen Landeshälfte Bereiche, in denen die R-Faktorwerte im bundesweiten und vor allem im norddeutschen Vergleich hoch sind.

Gemäß dem Klimaausblick von GERICS[252] nehmen stärkere Niederschläge (von mindestens 20 mm pro Tag) unter Annahme des Klimaszenarios RCP8.5 in Schleswig-Holstein zu. Das bedeutet, dass das klimabedingte Risiko für Bodenerosion durch Wasser zunimmt. Infolge der mit dem Klimawandel einhergehenden Temperaturerhöhung verändern sich außerdem die Phänophasen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen und damit auch die Bodenbedeckung. Kritische Situationen können vor allem entstehen, wenn nach einer länger anhaltender Trockenperiode die Böden nur lückig vegetationsbedeckt sind und dann Starkregen fällt.[253] Laut den GERICS-Projektionen soll die Anzahl der Trockentage (Tage mit weniger als 1 mm Niederschlag) bis 2036–2065 in Schleswig-Holstein im Median nicht zunehmen, allerdings ist unter der Bedingung des

[252] Pfeifer S., Rechid D., Bathiany S. 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.). https://gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

[253] Auerswald K., Menzel A. 2021. Change in erosion potential of crops due to climate change. Agricultural Forest Meteorology 300, 108338. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108338

RCP8.5 die Spannbreite der möglichen Entwicklungen hoch: Sie reicht von einer Abnahme um 14 Trockentage bis zu einer Zunahme um 16 Tage.

7.6.2.2 Exposition

Bodenerosion ist hauptsächlich ein Problem **ackerbaulich genutzter Flächen**, da hier die Böden nicht ganzjährig vegetationsbedeckt sind. Die ackerbauliche Fruchtfolge sichert keine dauerhafte Vegetationsbedeckung über das gesamte Jahr. Es gibt innerhalb des Jahres fruchtfolgenabhängig immer wieder Phasen, in denen der Boden nur unzureichend oder nicht vegetationsbedeckt ist. Als besonders erosionsfördernd gilt die Maiskultur. Mais wird verhältnismäßig spät und in weiten Reihen gesät. Es vergeht viel Zeit bis zum Bestandsschluss. Silomais spielt im Ackerbau in Schleswig-Holstein eine bedeutende Rolle. 2024 rangierte er mit einer Flächenausdehnung von 159,3 tausend ha an zweiter Stelle (nach dem Winterweizen, siehe Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen"). Dauergrünland schützt den Boden hingegen aufgrund der kontinuierliche Bodenbedeckung und der intensiven Durchwurzelung deutlich besser.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche hat in Schleswig-Holstein in den zurückliegenden 15 Jahren um 2,5 Prozentpunkte abgenommen (siehe Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind"). Der deutlich überwiegende Teil des Rückgangs (rund 22.300 ha) ging auf Kosten der ackerbaulich genutzten Fläche. Das Grünland nahm zwischenzeitlich in der Fläche zu, reduzierte sich dann bis 2025 aber auch um 192 ha gegenüber 2010. Mit Blick auf das Acker-Grünland-Verhältnis hat sich die Exposition gegenüber Erosion also reduziert, allerdings ist das Ausmaß der Flächenveränderung sehr gering.

Wälder leisten, vor allem wenn der Unterwuchs dicht und die Bodenbedeckung gewährleistet ist, einen vollständigen Erosionsschutz.

7.6.2.3 Sensitivität

Die Erosionsanfälligkeit eines Standorts ist neben der **Bodenbedeckung** wesentlich auch von der **Hangneigung** und der **Bodenart** abhängig. Die Hangneigungen in Schleswig-Holstein sind generell gering. Im Schleswig-Holsteinischen Hügelland im Osten des Landes sind die Höhenunterschiede am größten. Die Marsch im Westen ist hingegen fast völlig flach. Auch in der Geest ist das Relief nur leicht wellig. Verhältnismäßig erosionsanfällig sind vor allem die Lehmböden, die sowohl in größeren Gebieten im Östlichen Hügelland als auch in einigen Gebiete in der Hohen Geest auftreten. Generell gelten Lehmböden aber (im Vergleich zu schluffigen Böden) als weniger erosionsgefährdet.

Die Abschätzung der potenziellen Erosionsgefährdung führt das LfU jährlich nach DIN 19708 durch. Dabei werden die **Bodenerodierbarkeit**, die Hangneigung und der **Regenerosivitätsfaktor** berücksichtigt. Die aktuelle Landnutzung und Bewirtschaftungsform bleiben hingegen unberücksichtigt. Bisher wurde für die Berechnungen landesweit ein pauschaler R-Faktorwert von 50 angenommen. Der R-Faktor muss neuerdings aber nach DIN 19708 (2022-08) berechnet werden. Dabei müssen gebietsspezifische R-Faktoren zur Anwendung kommen. Für Schleswig-Holstein wurden verschiedene Berechnungsvarianten erprobt und miteinander verglichen[254]. Abbildung 47 zeigt die potenzielle Wassererosionsgefährdung nach der neuen Berechnung basierend auf der räumlichen Aggregation des R-Faktors im Maßstab 1:250.000. Bei der räumlichen Aggregation werden Landschaftselemente wie Knicks oder kleine Gehölze, Deiche und nicht beihilfefähige Flächen (beispielsweise Teiche oder auch Freiflächen-Photovoltaikanlagen, die in der Regel sehr kleinteilig sind) nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen die höchsten potenziellen Wassererosionsgefährdungen im „Östlichen Hügelland" und der „Hohen Geest". In den übrigen Teilen der Geest ist die potenzielle Wassererosionsgefährdung hingegen eher gering. Die Hotspots hoher potenzieller Gefährdung liegen im Bereich der Holsteinischen Schweiz, das heißt dem hügeligen, seenreichen Gebiet im Osten Schleswig-Holsteins zwischen Kieler Förde und Lübecker Bucht.

[254] Elsner D.-C. (LLUR) 2022: Wassererosionsgefährdung in Schleswig-Holstein nach DIN 19708. Vergleich des bisher angewendeten Verfahren nach DIN 19708 (2005-02) mit künftig möglichen Verfahren nach DIN 19708 (2017-08) und fachliche Empfehlung. 9 S. Internes, unveröffentlichtes Papier.

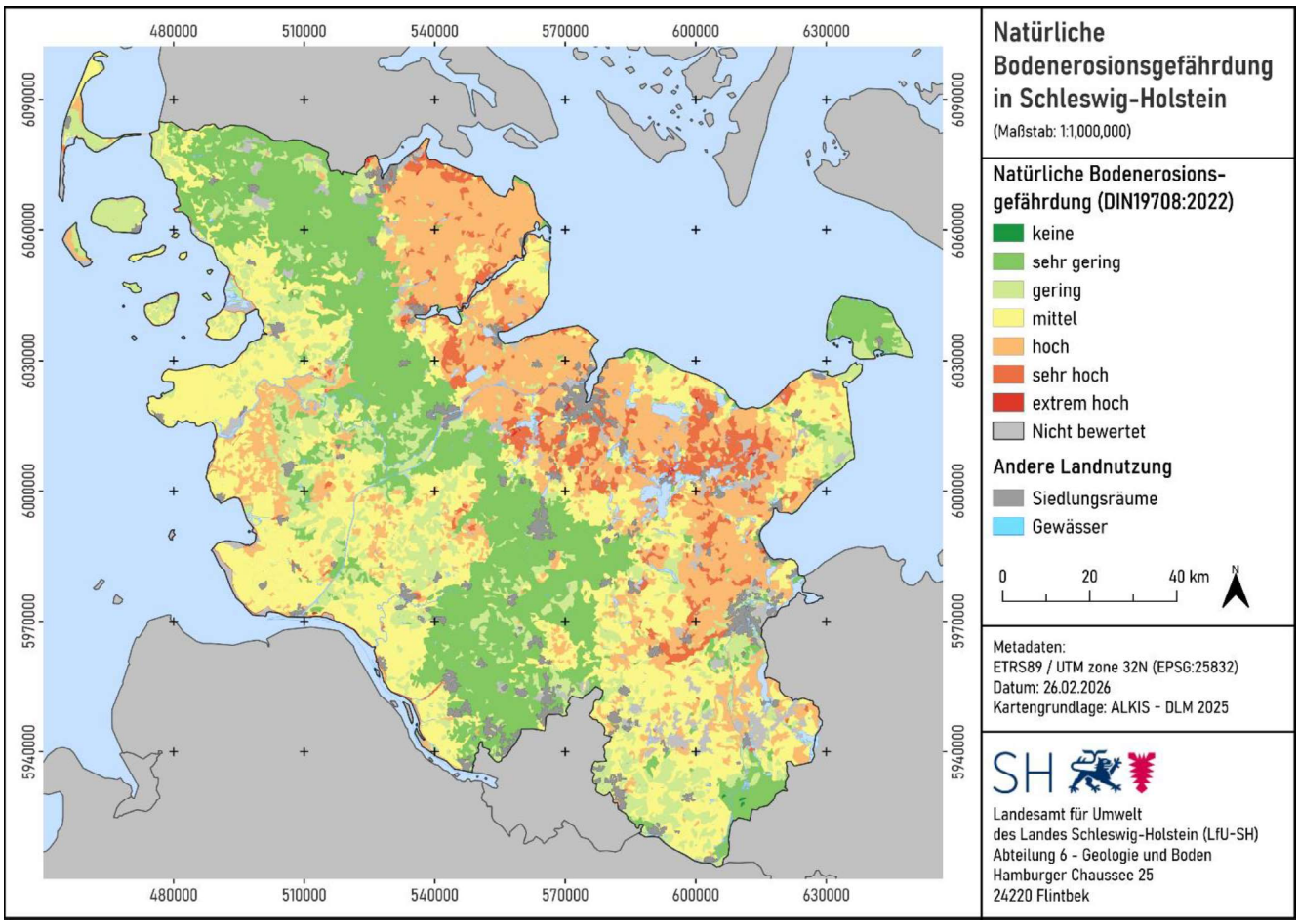


Abbildung 47: Natürliche Bodenerosionsgefährdung durch Wasser (nach DIN 197908:2022)

7.6.3 Ausprägung der Klimawirkung

7.6.3.1 Monitoring

Systematische Erhebungen zu Bodenerosionsereignissen sowie zum Ausmaß der Bodenerosion in Schleswig-Holstein sind bislang selten und meist nur lokal verfügbar; flächendeckende Erfassungen gibt es nicht. Auf Grundlage eines Bodenerosionsmonitorings der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) im Östlichen Hügelland (westlich des Plöner Sees) für den Zeitraum 2017–2024[255] zeigt sich, dass insbesondere Starkregenereignisse im Herbst ein hohes Risiko darstellen. Das größte im Rahmen der Messreihe erfasste Bodenerosionsereignis ereignete sich im Herbst 2017, als auf eine niederschlagsreiche Periode ein Starkregenereignis mit 61 mm in etwa 33 Stunden folgte (Wiederkehrwahrscheinlichkeit ca. 8,5 Jahre). Unabhängig davon wurde im selben Zeitraum durch das LfU das bislang größte dokumentierte Bodenerosionsereignis in Schleswig-Holstein am Kellersee (Östliches Hügelland) erfasst, das zeitlich mit der Messperiode des CAU-Bodenerosionsmonitorings zusammenfiel, jedoch unabhängig davon dokumentiert wurde. Hier kam es auf einer Ackerfläche mit Stoppelbrache nach Mais zu einer ausgeprägten Grabenerosion (Gully) mit einem Abtragsvolumen von rund 1.000 m³ auf einer Fläche von etwa 21 m². Infolgedessen wurden angrenzende Infrastrukturen beschädigt und Sedimente in den Kellersee eingetragen. Das Ereignis stellte eine schädliche Bodenveränderung gemäß BBodSchV dar und machte verpflichtende Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.

7.6.3.2 Klimarisikoanalyse

Zur künftigen Entwicklung der Bodenerosion durch Wasser liegen für Schleswig-Holstein keine spezifischen Ausarbeitungen vor. Im Rahmen der KWRA des Bundes aus dem Jahr 2021 wurde eine bundesweite Einschätzung des potenziellen

[255] unter anderem Saggau P. 2022: Integrating soil compaction effects into process-based water erosion modelling. Addressing the role of tramlines for sediment and water transport in agricultural landscapes. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel, 175 S. https://macau.uni-kiel.de/receive/macau_mods_00002849

mittleren Bodenabtrags durch Wassererosion auf Ackerflächen in Tonnen pro ha und Jahr unter Annahme des RCP8.5 vorgenommen. Auch in diese Berechnung flossen der Bodenerodierbarkeitsfaktor, der Hangneigungsfaktor und der Regenerosivitätsfaktor ein. Als für die Zukunft dynamisch wurde aber nur der R-Faktor angenommen. Der Bodenerodierbarkeitsfaktor und Hangneigungsfaktor wurden konstant gehalten. Im Ergebnis ergab sich aus dieser Analyse ein deutlich höheres Risiko für die Mittelgebirge in der Mitte und im Süden Deutschlands, für den Norden wird von geringeren Risiken ausgegangen. [256] Für Schleswig-Holstein hat das LfU allerdings in einem Vergleich der Zentraljahre 2009 und 2021 eine Zunahme der sehr hoch und extrem hoch erosionsgefährdeten Flächen um rund 60 % bzw. rund 35.000 ha abgeschätzt, was auch auf ein in Zukunft möglicherweise steigendes Risiko hindeuten könnte. Andere Abschätzungen haben ein nur geringes Risiko ermittelt, das zudem vorzugsweise die östlichen Landesteile betrifft. Grundsätzlich gilt, dass Bodenerosion durch Wasser aus einem komplexen Zusammenspiel mehrerer Faktoren entsteht. Mit Blick auf die klimatische Beeinflussung ist vor allem die Aufeinanderfolge spezifischer Witterungsverhältnisse (beispielsweise Starkregen nach Trockenheit) relevant, die allerdings in den hier vorgestellten und diskutierten Auswertungen und Modellierungen nicht berücksichtigt werden konnten. Auch die durch den Klimawandel mit verursachten Veränderungen der ackerbaulichen Bewirtschaftung (Fruchtartenwahl, Bewirtschaftungsänderungen in der Konsequenz phänologischer Veränderungen) können die Bodenbedeckungsgrade in Zukunft raum-zeitlich stark verändern, was Auswirkungen auf das Erosionsgeschehen hätte. Die Projektionen sind damit noch unsicher. Ein Abwarten sicherer Projektionen ginge mit einem hohen Risiko für gravierende Schäden an ackerbaulich genutzten Flächen einher. Dies gilt nicht nur für Flächen, die bereits heute als sehr hoch bis extrem hoch erosionsgefährdet gelten. Vorsorgendes Handeln ist daher von besonderer Bedeutung. In der Landwirtschaft betrifft dies insbesondere die Sorge für eine möglichst kontinuierliche Bodenbedeckung.

[256] Renner et al. 2021, s. Fußnote 193: S. 359

8 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Landwirtschaft

8.1 Relevanz des Handlungsfelds

Schleswig-Holstein ist ein Agrarland: Rund 62 % der Fläche unterliegen landwirtschaftlicher Nutzung. Die Landwirtschaft ist damit auch ein bedeutender Wirtschaftszweig. Den aktuell verfügbaren Daten der Agrarstrukturerhebung zufolge gab es 2023 in Schleswig-Holstein insgesamt 11.630 landwirtschaftliche Betriebe, die eine Fläche von knapp 980.000 ha bewirtschaftet haben[257]. Die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe geht in Schleswig-Holstein wie in ganz Deutschland zurück. Dieser Rückgang betrifft vor allem die Betriebe der Rinder- und Schweinehaltung. Der Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Fläche vollzieht sich hingegen weniger deutlich, was darauf hindeutet, dass sich auch in Schleswig-Holstein ein Konzentrationsprozess vollzieht, der zu größeren Betrieben führt. In der schleswig-holsteinischen Landwirtschaft wurde im Jahr 2022 ein Produktionswert in Höhe von 5.059 Millionen € erwirtschaftet, ein Drittel davon allein durch die Erzeugung von Milch, gefolgt von Getreide mit 15 % sowie Futter- und Energiepflanzen mit 10 %. Im Jahr 2023 hatten rund 58 % aller Landwirtschaftsbetriebe ihren betriebswirtschaftlichen Schwerpunkt in der Tierhaltung. Der starke Fokus auf die Tierhaltung äußert sich auch in der Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche. Auf rund zwei Drittel wird Ackerbau betrieben, wobei Silomais die Kultur mit dem höchsten Flächenanteil ist. Die zweitwichtigste Bodennutzungsart ist Dauergrünland.[258] Die Ackernutzung hat ihren räumlichen Schwerpunkt im Naturraum Östliches Hügelland, während sich die Grünlandnutzung stark auf die Marschlandschaften konzentriert. Aber auch in der sandigen und damit weniger fruchtbaren Geest wird Ackerbau betrieben. Roggen, Hafer, Kartoffeln und Silomais sind hier die Hauptkulturen.

Auch wenn der gesamte Sektor „Land- und Forstwirtschaft, Fischerei“ im Jahr 2024 nur 1,4 %[259] des Bruttoinlandsprodukts in Schleswig-Holstein erwirtschaftete, ist er wirtschaftlich, ökologisch und gesellschaftlich/landeskulturell von großer Bedeutung. Die Landwirtschaft begründet regionale Wertschöpfungsketten, ist wesentlich für die Beschäftigung im ländlichen Raum, prägt mit ihrem überwiegenden Anteil an der Flächennutzung das Landschaftsbild und nimmt entscheidenden Einfluss auf die Biologische Vielfalt im Offenland.

Die landwirtschaftliche Produktion steht in unmittelbarer Abhängigkeit von Wetter und Witterung, und der Klimawandel ist ein wesentlicher Faktor, der über die Zukunft der Landwirtschaft entscheidet. Die Landwirtschaftsbetriebe sind in Schleswig-Holstein mit einer Vielzahl unterschiedlicher Klimawandelfolgen konfrontiert, die ihren wirtschaftlichen Erfolg beeinflussen. Trockenheit und Winderosion verursachen vor allem in der Geest Bewirtschaftungsprobleme, führen aber auch im Östlichen Hügelland zu Ernteeinbußen. Die Marsch unterliegt den Einflüssen des steigenden Meeresspiegels, der zu Überflutungen landwirtschaftlicher Flächen führen kann. Auch Extremwetterereignisse wie Stürme können landwirtschaftliche Kulturen stark beeinträchtigen. Nicht zuletzt leiden auch die Nutztiere, die an das eher nordisch-kühle Klima angepasst sind, unter der zunehmenden Hitze.

[257] Statistik Nord 2024: Strukturwandel schreitet weiter voran; besonders viehhaltende Betriebe betroffen. Statistik informiert Nr. 6/2024. https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/landwirtschaft/bodenmarkt/dokumentenansicht/agrarstruktur-in-schleswig-holstein-2023-65437

[258] MLLEV (Hrsg.) 2025: Landwirtschaft in Schleswig-Holstein – ein Porträt in Zahlen. Kiel, 9 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/landwirtschaft/agrarstatistik, https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/landwirtschaft/agrarstatistik/ZahlenFakten/PDF/landwirtschaft_in_zahlen_2025.pdf

[259] Statistik Nord (Hrsg.) 2025: Statistik informiert ... Nr. 58/2025. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/SI25_058.pdf

8.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

8.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen

Der Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode und einzelne Wetterereignisse sind für die Höhe und Qualität der Erträge entscheidend. Ertragsbestimmend sind sowohl die Mitteltemperaturen, die Temperatursummen, die Dauer der Vegetationsperiode, die Niederschlagshöhe und deren jahreszeitliche Verteilung als auch Extremereignisse wie Hitze, Stark- und Dauerregen, Hagel und Frost. Während die Vegetationsperiode seit den 1950er Jahren in Schleswig-Holstein immer länger wird, die CO_2-Gehalte in der Atmosphäre steigen und sich damit die Anbaubedingungen grundsätzlich verbessern, nehmen gleichzeitig Hitze und (Boden-)Trockenheit zu. Vor allem auf den Standorten mit geringer natürlicher Ertragsfähigkeit wie der Vorgeest, wo sich die Böden durch ein geringes Wasser- und Nährstoffrückhaltevermögen auszeichnen, können diese Klima- und Witterungsveränderungen zu Ertragseinschränkungen führen.

Die Ertragsentwicklung ist neben den klimatischen Rahmenbedingungen aber sehr wesentlich auch von weiteren Faktoren abhängig. So haben Züchtungsfortschritte und Weiterentwicklungen in der Agrartechnik (Pflege- und Erntetechniken, Düngung, Pflanzenschutz) in den letzten Jahren und Jahrzehnten zu einer Steigerung der Produktivität in der Landwirtschaft geführt. Gleichzeitig spielen die Entwicklung der Produktpreise sowie die Preise für Betriebsmittel wie Dünger und Pflanzenschutzmittel eine wichtige Rolle, denn sie bestimmen über die Bewirtschaftungsintensität. In den letzten 20 Jahren ist unter anderem beim Winter- und Sommerweizen sowie der Winter- und Sommergerste eine Stagnation der Erträge erkennbar. Beim Silomais wird hingegen nach wie vor eine Ertragssteigerung beobachtet, was sich vermutlich unter anderem auf höhere Wärmesummen zurückführen lässt. Man geht davon aus, dass die Witterungseinflüsse inzwischen eine zunehmend bedeutende Rolle für die Ertragshöhen und -qualitäten spielen. Deutlicher als bei der Entwicklung der absoluten Ertragshöhen bildet sich der Einfluss der Witterung bei den zwischenjährlichen Ertragsschwankungen ab. Während sich die Betriebe auf längerfristige Klimaveränderungen mit der Fruchtarten- und Sortenwahl sowie den betrieblichen Abläufen vorbereiten und sich züchterischen und technische Fortschritte zunutze machen können, sind Reaktionen auf überraschende Witterungskonstellationen nur in eingeschränktem Umfang möglich. Starke interannuelle Ernteunterschiede erschweren die betriebliche Planung und erhöhen die Produktionsrisiken. Zuletzt brachte das Jahr 2018 unter anderem beim Winterweizen und Silomais massive Ertragseinbußen gegenüber dem Durchschnitt der vorausgegangen Jahre. Die hohen Temperaturen und das enorme Niederschlagsdefizit währende der Vegetationsperiode haben beide Kulturen stark beeinträchtigt.

Bundesweit wurden mithilfe des Agrar-Ökosystem-Modell MONICA modellbasierte, räumlich differenzierte Simulationen zur Ertragsveränderungen bei den wichtigsten deutschen Ackerkulturen bis zur Mitte des Jahrhunderts erarbeitet. Die (prozessbasierten) Modellierungen mit MONICA analysieren die Ertragsveränderungen zwischen den zwei Zeitscheiben 1971–2000 und 2031–2060 für die drei RCP-Szenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5).[260] Da Ertragsmodellierungen sehr komplex sind, basieren die Aussagen zu dieser Klimawirkung für Schleswig-Holstein auf dieser bundesweiten Simulation. Im deutschlandweiten Vergleich werden für den Winterweizenanbau für alle drei RCP-Szenarien die höchsten Ertragsrückgänge in Schleswig-Holstein projiziert. Aktuell werden beim Winterweizen an der und im Hinterland der Ostseeküste Schleswig-Holsteins vorwiegend hohe Erträge erzielt, sodass sich eine Zunahme ertragsreduzierender Ereignisse (wie Trockenheit und Hitze) besonders stark bemerkbar macht. Beim Silomais, der im Bereich der Geest Ertragsrückgänge zeigt, dürfte die geringe Wasserhaltekapazität der Geestböden ein entscheidender Faktor sein. Zu deutschlandweit vergleichbaren Ertragsrückgängen kommt es beim Silomais unter anderem auch im nordwestlichen Niedersachsen, nördlichen Nordrhein-Westfalen. Der Winterraps zeigt sich wie in ganz Deutschland auch in Schleswig-Holstein bis zur Mitte des Jahrhunderts annähernd stabil in den Erträgen. Trotz aller Unsicherheiten bei den Ertragsmodellierungen wird deutlich, dass gerade in Schleswig-Holstein ein Augenmerk auf die Ertragsentwicklung zu richten ist, da bei wichtigen Hauptkulturen mit Ertragsrückgängen zu rechnen ist. Anpassungsmaßnahmen sind daher zwingend erforderlich.

[260] Söder M., Berg-Mohnicke M., Bittner M., Ernst S., Feike T., Frühauf C. et al. 2022: Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Thünen Working Paper 198, 230 S. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065147.pdf

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 8.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator LW-I-2: Ertragsschwankungen – Ackerkulturen[261]
Indikator LW-I-3: Ertragsschwankungen – Baumobst[262]

8.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus

Der Klimawandel führt insbesondere im tendenziell kühleren Klima im deutschen Norden zu neuen Gunsträumen für landwirtschaftliche und gärtnerische Kulturen oder macht einen wirtschaftlichen Anbau von wärmebedürftigen Kulturen überhaupt erst möglich. Für andere im mitteleuropäischen Raum typische Kulturen hingegen können die klimatischen Veränderungen perspektivisch zum Problem werden und die Wirtschaftlichkeit des Anbaus womöglich infrage stellen. Kulturpflanzenwechsel sind für landwirtschaftliche und gärtnerische Betriebe eine Herausforderung, und ungenügendes Erfahrungswissen beim Anbau kann das Anbaurisiko erhöhen. Die Hemmnisse für betriebliche Umstellungen sind daher vergleichsweise hoch. Vor allem bei Dauerkulturen sind die Investitionen für gesamtbetriebliche Neuerungen hoch.

Für den Anbau wärmebedürftiger Ackerkulturen sind vor allem die Wärmesummen, ausreichend hohe Mitteltemperaturen und eine lange Vegetationsperiode relevant. Mit der sich beobachtbar verlängernden Vegetationsperiode verbessern sich in Schleswig-Holstein grundsätzlich die Bedingungen. Auch im Obstbau ermöglichen höhere Wärmesummen den Anbau für Fruchtarten, die bisher im Norden Deutschland nicht angebaut werden konnten. Gleichzeitig können Spätfröste zum Produktionsrisiko werden, das sie auch zum Totalausfall der Ernte führen können. Ein statistisch signifikanter Trend zu vermehrten Spätfrösten ist in Schleswig-Holstein zwar nicht beobachtbar, aber einzelne Jahre mit ertragsmindernden Frösten treten immer wieder auf.

Zur Ausweitung der Anbaufläche wärmeliebender Ackerkulturen wie (Körner-)mais, Sonnenblume, Sojabohne oder auch Hartweizen (Durum) liefert die Agrarstatistik in Schleswig-Holstein bisher nur ein beschränktes Datenangebot. Die Anbaufläche für den besonders wärmeliebenden Körnermais hat sich seit 2010 erhöht, allerdings spielt sich dieser Flächenzuwachs auf einem sehr geringen Niveau ab und konzentriert sich stark auf die südöstlichen Landesteile. Anbaueignungskarten des Julius-Kühn-Instituts (JKI) für die besonders wärmebedürftige Sojabohne weisen in Schleswig-Holstein „gute" Bedingungen bisher nur entlang der Elbe aus, „ausreichend" wären die Verhältnisse auch in anderen Landesteilen. Zur Entwicklung der Anbaufläche wärmeliebender Obstbaumarten und -sorten liefert die Erntestatistik keine Daten. Allerdings ist bekannt, dass auch die Kultivierung wärmliebender Obstarten wie von Aprikosen inzwischen Einzug in Schleswig-Holstein hält. Projektionen für die Zukunft sind schwierig, da Wahl und Abgrenzung der Anbaugebiete für Kulturpflanzen von einer Vielzahl von Umweltfaktoren, die in komplexer Weise zusammenwirken, bestimmt werden. Die mögliche Ausweitung des Anbaus wärmeliebender Kulturen wird wesentlich von der Entwicklung der Wasserverfügbarkeit abhängen. Zudem wird die Ausdehnung der Anbaugebiete stark von rechtlichen, politischen und marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt sein.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 8.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator LW-I-1: Dauer der Vegetationsperiode[263]

[261] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/ackerkulturen.pdf

[262] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-3:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/baumobst.pdf

[263] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/vegetationsperiode.pdf

8.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA aus dem Jahr 2021[264] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 31 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 31: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Abiotischer Stress Pflanzen (insbesondere Trockenheit) Agrophänologische Phasen und Wachstumsperiode	Für beide Klimawirkungen gibt es relevante Überschneidungen mit anderen Klimawirkungen sowohl im Handlungsfeld Boden („Wassermangel im Boden") als auch im Handlungsfeld Landwirtschaft („Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen", „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus"). Von einer separaten Betrachtungen der beiden Klimawirkung wurde daher abgesehen. Wichtige thematische Aspekte werden im Kontext der oben genannten Klimawirkungen angesprochen.
Qualität der Ernteprodukte	Bereits die KWRA 2021 stellte fest, dass vereinfachte Rückschlüsse von Klimaveränderungen auf die Entwicklung der Qualität von Ernteprodukten aufgrund der Diversität der Kulturpflanzen und der sehr unterschiedlichen Reaktionen in den jeweiligen Entwicklungsstadien kaum möglich sind. Es fehlt bisher auch an systematisch erhobenen Daten oder Modellen für die Projektion. Es gibt allerdings auch für Schleswig-Holstein Hinweise, dass der Klimawandel Auswirkungen auf die Qualität von Ernteprodukten zeigt. So wurde im Zusammenhang mit der Erntebilanz 2024 berichtet, dass die Fallzahlen zur Beurteilung der Backfähigkeit des Getreides beim Weizen meist noch ausreichten, es aber an Protein fehlte (die nötigen Proteingehalte von 12 % für Backweizen wurden nur selten erreicht)[265]. Beim Weizen führt große Hitze und Trockenheit zu einer verkürzten Kornfüllungsphase, was das Protein-Stärke-Verhältnis beeinflusst. Für den Silomais wurde im Dürrejahr 2018 teilweise ein reduzierte Stärkegehalt in den Kolben und ein damit verringerter Futterwert konstatiert. Stark verstrohte Maispflanzen erschwerten zudem die Verdichtung in den Maissilos. Eine systematische Klimarisikoanalyse zu dieser Klimawirkung ist auf Grundlage der verfügbaren Daten und Modelle nicht möglich. Aspekte werden im Kontext der Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen" angesprochen. Als prioritär wird derzeit eine Weiterentwicklung des Klimafolgen-monitorings erachtet, um möglicherweise perspektivisch einen Monitoringindikator zu Ertragsqualitäten berichten zu können.
Veränderung der Verbreitungsmuster von Schaderregern und Pflanzenkrankheiten	Vorkommen und Ausbreitung von Schaderregern sind für Landwirtschaft und Gartenbau hoch relevant, da Kontrolle und Bekämpfung mit hohem personellen und finanziellen Aufwand verbunden sind und im schlimmsten Fall zu gravierenden Ernteeinbußen in Menge und Qualität führen können. Der Schaderregerbefall ist von sehr vielen Faktoren abhängig. Insbesondere spielen neben der Witterung auch die Bewirtschaftung und die Sortenwahl eine entscheidende Rolle. Auch Sortenneuentwicklungen bei den Fruchtarten und das unerwartete Auftreten neuer, bisher regional oder lokal nicht verbreiteter Schaderreger können die

[264] Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A., Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021, Dessau-Roßlau: S. 359. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land

[265] Schmidt M., Schneider L., Hack H., Ingus 2025: Genug Protein im Weizen? Einfluss der Witterungsfaktoren unterschätzt. https://www.bauernblatt.com/genug-protein-im-weizen/

Klimawirkung	Erläuterungen
	Befallssituation beeinflussen. Es ist schwierig bis unmöglich, einen künftigen Befall zu projizieren, vor allem generalisierende Aussagen sind außerordentlich schwierig. Kurzfristige Befallsprognosen, die im Pflanzenschutz als Beratungsinstrumente in der Landwirtschaft und im Gartenbau eingesetzt werden, sind auf die jeweilige spezifische Witterungssituation und die aktuelle Entwicklungsphase der möglicherweise betroffenen Kulturen ausgerichtet. Aus derzeitiger Sicht erscheint es unmöglich, künftige Witterungskonstellationen so zu projizieren, dass sich daraus Rückschlüsse auf den möglichen Schaderregerbefall ziehen lassen, dies gilt insbesondere für pilzliche Erreger (bei den Insekten könnte es möglicherweise etwas einfacher sein, da hier die Temperatur eine sehr bedeutsame Rolle spielt). Aufgrund der beschriebenen Unsicherheiten und der komplexen Beeinflussung des Schaderregerauftretens wurde entschieden, aktuell von einer Bearbeitung der Klimawirkung abzusehen. Einzelne Aspekte werden im Rahmen der Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus" angesprochen, da das Vorkommen bestimmter Schaderreger gerade bei den Sonderkulturen entscheidend für die Auswahl der Anbaugebiete sein kann. Angestrebt wird, zunächst an einem Indikator für das Klimafolgenmonitoring zu arbeiten und hierfür Daten aus der Schaderregerkontrolle bzw. dem Schaderregermonitoring zu nutzen[266].
Hitzestress für Nutztiere und Leistungseinbußen	Trotz des nordisch-kühlen Klimas ist Hitzestress für Nutztiere auch in Schleswig-Holstein ein Thema. Hitzestress hat nachteilige Auswirkungen auf die Produktion, das Immunsystem und das Verhalten von Nutztieren. Tiere, die in klimatisierten (zwangsbelüfteten) Ställen gehalten werden, sind möglicherweise weniger betroffen als Tiere, die in Offenställen leben oder Weidegang haben und bei unzureichender Beschattung Hitze und Strahlung ungeschützt ausgesetzt sind. Systematisch erhobene statistische Daten zu hitzebedingten Produktionseinbußen oder gar Mortalitäten von Nutztieren sind landesweit nicht verfügbar, weshalb es schwierig bis unmöglich ist, diese Effekte im kausalen Zusammenhang zu veränderten Klima- und Witterungsbedingungen abzubilden. Insbesondere für die Schweinehaltung gewinnen mögliche Einflüsse durch Hitze an Bedeutung, da mit der Tierhaltungskennzeichnung die Tierhaltungsstufen 3 „Außenklima" (Tiere müssen Kontakt mit dem Außenklima haben) und 4 „Premium" (Tiere haben tatsächlichen Auslauf im Freien) für die Vermarktung attraktiver werden. Werden Stallanlagen zur Erreichung dieser Standards umgebaut, muss das Lüftungs- und Temperaturregime ganz neu gedacht werden, da klimawandelbedingte Veränderungen von Lufttemperatur und -feuchte dann eine bedeutsame Rolle spielen. Aufgrund der unzureichenden Datenlage wurde entschieden, aktuell von einer weiteren Bearbeitung der Klimawirkung abzusehen, diese Klimawirkungen aber im Blick zu behalten.
Stress für Nutztiere durch Viren, Bakterien, Pilze und Parasiten	Klimaveränderungen gelten als Mitverursacher von Tierseuchen wie der Afrikanischen Schweinepest und der Geflügelpest sowie von einer Ausbreitung gefährlicher Schädlinge wie der Australischen Hornisse oder von Gnitzen, die die Blauzungenkrankheit übertragen. So konnte das Friedrich-Loeffler-Institut in seiner Risikobewertung zur Verschleppung der Blauzungenkrankheit[267] nachweisen, dass sich im Zuge des Klimawandels die Vektoraktivitätszeiträume aufgrund der höheren Temperatur verlängern und sich das damit verbundene Übertragungsrisiko im Frühjahr und Herbst erhöhen kann.

[266] Zudem bietet das Geoportal des JKI im Atlas der potenziellen Befallsgefährdung für 33 wichtige Schadorganismen im Ackerbau digitale Karten und Web-Services an (https://geoportal.julius-kuehn.de/#/map/public/5e1f04bfe9208e35a71e24a8). Die Karten wurden bereits 1999 in analoger Form erstellt, sind aber trotz veränderter Anbaustruktur für Fragen der Klimafolgen für Kulturpflanzen nach wie vor von Interesse.

[267] FLI – Friedrich-Loeffler-Institut (Hrsg.) 2024: Qualitative Risikobewertung zur Verschleppung der Blauzungenkrankheit. Greifswald – Insel Riems, 33 S. https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00058523/BTV_Risikobewertung_2024-04-12-bf.pdf

Klimawirkung	Erläuterungen
	Viele dieser Schädlinge und Schaderreger sind inzwischen omnipräsent und können theoretisch jederzeit Ausbrüche verursachen. Die jeweiligen Konstellationen, die zu den Ausbrüchen führen, lassen sich häufig nicht ergründen. Dies erschwert auch die Projektion des künftigen Risikos oder gar von künftigen Ausbrüchen. Auch im Falle dieser Klimawirkung wurde entschieden, aktuell auf eine vertiefende Betrachtung der Klimawirkung zu verzichten, aber ggf. für das Klimafolgenmonitoring perspektivisch einen Monitoringindikator anzudenken (möglicherweise gestützt auf Daten der Tierseuchenkasse, da es für mehrere Tierkrankheiten Meldepflichten gibt). In der HIT-Datenbank (Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere) werden alle Rinder individuell über ihre Ohrmarken erfasst. Es wird tagesgenau erhoben, ob sie verstorben oder geschlachtet worden sind (für Schweine und Hühner gibt es eine solche individuelle Erfassung nicht). Vergleichbar den Berechnungen zur Übersterblichkeit des Menschen bei Hitze ließen sich möglicherweise auch die Daten aus HIT mit meteorologischen Daten überlagern. Dies setzt allerdings umfangreichere methodische Überlegungen voraus.

8.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft sind bereits spürbar und können, unter anderem durch eine abnehmende Ertragssicherheit, in naher Zukunft für landwirtschaftliche Betriebe existenzgefährdend werden. Dementsprechend haben die Fachleute die wirtschaftliche Bedeutung der drei bewerteten Klimawirkungen „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen", „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus" sowie „Hitzestress für Nutztiere und Leistungseinbußen" als hoch bewertet (siehe Tabelle 32). Im Blick hatten sie dabei auch die Sicherheit der Lebensmittelversorgung der Bevölkerung. Diese ist zudem der Grund die Bewertung der sozialen Bedeutung als durchweg hoch. Als ökologisch hochbedeutend sahen die Bewertenden die Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten, weil sie zur Verdrängung alter Sorten führen kann.

Für viele landwirtschaftliche Betriebe erfordert der fortschreitende Klimawandel erhebliche Anpassungen der bisherigen landwirtschaftlichen Praxis. Der häufig sehr hohe Grad der betrieblichen Spezialisierung macht einzelne Betriebe besonders sensitiv und verhindert zudem eine kurzfristige Änderung grundlegender Elemente des Betriebskonzepts. Die Diversifizierung der Landwirtschaft hin zu klimaangepassten Bewirtschaftungsverfahren stellt daher einen längerfristigen Prozess dar. Handlungsbedarf wurde von den Fachleuten folgerichtig bei allen bewerteten Klimawirkungen gesehen (siehe Tabelle 33). Mögliche Handlungsoptionen sind unter anderem eine Initiierung von Wissenstransfer bezüglich des Anbaus neuer Kulturen oder die Anpassung von Zuchtprogrammen.

Tabelle 32: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Landwirtschaft

Klimawirkung	Bedeutung (schriftliche Bewertung)			Begründung	Ergebnis des Workshops
	sozial	ökologisch	wirtschaftlich		
Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen	uneinheitlich (gering bis hoch)	gering	hoch	hohe wirtschaftliche Bedeutung, weil veränderte Niederschlagsverteilungen und Hitzeperioden durch verminderte Nährstoffaufnahme und -transport in der Pflanze zu Ertragsverlusten führen, gleichzeitig Staunässe und Ertragsausfälle durch extreme Niederschläge geringe ökologische Bedeutung, weil Fokus der Klimawirkung auf ökonomische Parameter	hohe soziale Bedeutung
Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus	uneinheitlich (gering bis hoch)	hoch	uneinheitlich (gering bis hoch)	geringe soziale und wirtschaftliche Bedeutung, weil die Veränderung von Anbaueignungen sowohl positive als auch negative Effekte haben kann (möglicherweise mehr Fruchtfolgeglieder und ausgeweitete Fruchtfolgen, sofern ausreichend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stehen) hohe soziale und wirtschaftliche Bedeutung mit Blick auf die Nahrungsmittelversorgung hohe ökologische Bedeutung wegen Verdrängung alter Sorten	hohe soziale Bedeutung, weil Zusammenhang zu Ernährungssicherheit (mehr Schädlinge, Ausfälle, Gemüseanbau) geringe ökologische Bedeutung (1 Votum), weil sowohl positive als auch negative Wirkungen möglich sind hohe wirtschaftliche Bedeutung mit Blick auf die Lebensmittelversorgung und die Unterstützung/Förderung der Betriebe bei der Anpassung
Hitzestress für Nutztiere und Leistungseinbußen	uneinheitlich (gering bis hoch)	gering	uneinheitlich (gering bis hoch)	hohe wirtschaftliche Bedeutung, weil metabolischer Stress und Leistungseinbußen durch zunehmende Lufttemperatur und Einstrahlung, ggf. zunehmende Photosensitivität im Offenland hohe ökologische Bedeutung möglich, weil Teile der Nutztierhaltung für die Erhaltung bestimmter ökologischer Lebensräume erforderlich sind (Strukturvielfalt in der Fläche)	hohe soziale Bedeutung mit Blick auf die Versorgungssicherheit hohe wirtschaftliche Bedeutung, weil eine Anpassung von Zucht und Technik notwendig ist

Tabelle 33: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen	ja	-*	-**
Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus	uneinheitlich	Begründung für nein: Kurzfristig (innerhalb der nächsten fünf Jahre) ist nicht mit drastischen Veränderungen in der Agrarstruktur zu rechnen.	Handlungsbedarf gegeben zur Erhaltung der bestehenden Betriebe (unter anderem Wissenstransfer für den Anbau neuer Kulturen), Gefährdung durch fehlenden Pflanzenschutz und fehlende Fachkräfte
Hitzestress für Nutztiere und Leistungseinbußen	uneinheitlich	-	Handlungsbedarf gegeben (Zuchtprogramm anpassen, Technik weiterentwickeln)

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

8.4 Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen“

8.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Schleswig-Holstein ist ein Agrarland, rund 62 % der Fläche unterliegen landwirtschaftlicher Nutzung. Die Landwirtschaft ist damit auch ein bedeutender Wirtschaftszweig. Die landwirtschaftliche Produktion steht in unmittelbarer Abhängigkeit von Wetter und Witterung. Der Klimawandel ist damit ein wesentlicher Faktor, der über die Zukunft der Landwirtschaft entscheidet. Die Landwirtschaftsbetriebe sind in Schleswig-Holstein mit einer Vielzahl unterschiedlicher Klimawandelfolgen konfrontiert, die ihren wirtschaftlichen Erfolg beeinflussen. Mit Blick auf die Pflanzenproduktion sind die Geestlandschaften beispielsweise besonders anfällig für Trockenheit und Winderosion, weil hier sandige Böden mit geringer Wasserhaltekapazität vorherrschend sind. Die Marsch hingegen unterliegt den Einflüssen des steigenden Meeresspiegels, der zu Überflutungen landwirtschaftlicher Flächen führen kann. Es ist unbestritten, dass Ertragshöhe und -qualität künftig in erheblichem Maße von den projizierten Klimaveränderungen abhängen werden.

Im Rahmen des vom Ministerium für Landwirtschaft, ländliche Räume, Europa und Verbraucherschutz (MLLEV) durchgeführten Projekts „Klimaangepasste Landwirtschaft in Schleswig-Holstein“ wurden die Betroffenheiten der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein untersucht und die daraus ableitbaren Anpassungsmaßnahmen beschrieben. Das abschließende Gutachten[268] lieferte wichtige Bausteine für die Darstellung dieser Klimawirkung.

8.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Der Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode und einzelne Wetterereignisse sind für die Höhe und Qualität der Erträge entscheidend. Wichtige ertragsbestimmende Klimaparameter sind:

- Mitteltemperaturen, Temperatursummen und die Dauer der Vegetationsperiode:
  Steigende Mitteltemperaturen, höhere Temperatursummen und eine längere Vegetationsperiode können sich – sofern ausreichend Wasser zur Verfügung steht – positiv auf die Erträge auswirken. Vor allem im eher kühleren Norden profitieren die Kulturpflanzen von der zunehmenden Erwärmung. Es können auch bislang nicht für die Region geeignete Arten kultiviert werden (siehe Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus“).
- Niederschlagshöhe und insbesondere deren jahreszeitliche Verteilung:
  Die ausreichende Wasserversorgung der Kulturpflanzen ist essenziell für deren Wachstum. Am günstigsten sind leichte und kontinuierliche Niederschläge, da diese dann von den Böden und Nutzpflanzen aufgenommen werden können und nicht oberflächlich abfließen und womöglich fruchtbaren Oberboden mit sich reißen (siehe Klimawirkung „Bodenerosion durch Wasser“). Ob Niederschläge für die Pflanzenentwicklung nutzbar sind, hängt stark vom Zeitpunkt des Niederschlags ab. Die jeweiligen Kulturpflanzen haben dabei in den unterschiedlichen Phasen ihrer Entwicklung sehr unterschiedliche Ansprüche. Grundsätzlich können erhöhte Winterniederschläge zu einer Vernässung der Böden führen und damit die Aussaat im Frühjahr verzögern und/oder erschweren. Gleichzeitig können trockene Sommerperioden zu Trockenstress führen, das Risiko von Ernteausfällen steigern und die Bewässerungsanforderungen erhöhen.
- Extremereignisse wie Hitze, Starkregen und Dauerregen, Hagel sowie Frostereignisse:
  Zu Extremereignissen wie Sturm, Hagel oder Starkregen kommt es in der Regel nur regional oder sogar nur lokal begrenzt, sodass diese Ereignisse auch „nur“ regional begrenzte Ernteschäden verursachen. Demgegenüber treten Dürre, Hitze und Frostereignisse meist im überregionalen Maßstab auf und können große Schäden verursachen.

Aussagen zu den konkreten Folgen der Klimaveränderungen auf den Pflanzenbau lassen sich nur kulturartenspezifisch treffen. **Hitze** und **Trockenheit** wirken sich beispielsweise beim Weizen je nach Entwicklungsstadium sehr unterschiedlich

[268] Fohrer N., Ulrich U., Koch A.A., Schulz B. 2025: Klimaanpassungsmaßnahmen für die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein – Gutachten: 86 S. und Anhang. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landwirtschaft/Downloads/Gutachten_KLA-SH.pdf

aus. Fehlt es beispielsweise in der Phase des Ährenschiebens an Wasser, fallen die Erträge deutlich geringer aus. Hitze wirkt sich vor allem in der Kornfüllungsphase nachteilig aus. Für alle Kulturen gilt, dass während der Erntezeit Wärme und Trockenheit günstig sind. Aber die Erntezeiten der Kulturen sind sehr unterschiedlich. So wird der Winterweizen üblicherweise Ende Juli bis Mitte August geerntet. Für Silomais kann Regen im August hingegen noch die Stärkeeinlagerung fördern und das Kolbengewicht erhöhen, was sich positiv auf den Gesamtertrag auswirkt. Für Grünland wirkt sich eine ausreichende Wasserversorgung verbunden mit Wärme ganzjährig günstig auf die Ertragsentwicklung aus.

Die **Jahresniederschlag**ssumme hat in Schleswig-Holstein seit Ende des 19. Jahrhunderts zugenommen: In der 30-Jahresperiode 1881–1910 fielen durchschnittlich 714 mm Niederschlag, 1961–1990 waren es etwa 789 mm, 1991-2020 sogar 812 mm (siehe Klimaanalyse[269], Abbildung 9). Auch in Schleswig-Holstein deutet sich – wie bundesweit – eine Verlagerung der Niederschläge vom Sommer in den Winter an. Kommt es im Sommer zunehmend zu Starkregen, sind diese Niederschläge für die Pflanzen deutlich weniger nutzbar. Auch in trockenen Sommern kann es gehäuft zu Starkregenereignissen kommen. Für die meisten Kulturen ist aber Trockenheit im Frühjahr und Frühsommer problematisch, da die Pflanzen dann im Wachstum und Biomasseaufbau sind. Sowohl für den meteorologischen Frühling als auch den Sommer zeigt der **Trockenheitsindex** nach de Martonne, der aus dem Quotient des Niederschlags und der Mitteltemperatur (+10) errechnet wird, in der seit dem Jahr 2000 verfügbaren Zeitreihe keinen statistisch signifikanten Trend (siehe Abbildung 48). Auch bei Einzelbetrachtung der Frühjahrsmonate März bis April, siehe Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind") ergibt sich kein signifikanter Trend. Allerdings wird deutlich, dass in der Regel der Mai der trockenste Monat ist. In dieser Phase ist Wassermangel insofern kritisch, als sich dann beispielsweise der Mais in der Blattentwicklung befindet, die Kartoffel das Stadium des Knollenansatzes und der frühen Knollenbildung durchläuft und sich beim Winterraps die Schotenfüllung vollzieht. Wachstum und Fruchtbildung sind auf ausreichende Wasserverfügbarkeit angewiesen. Wassermangel in den beschriebenen Phasen hat Ernteeinbußen zur Folge.

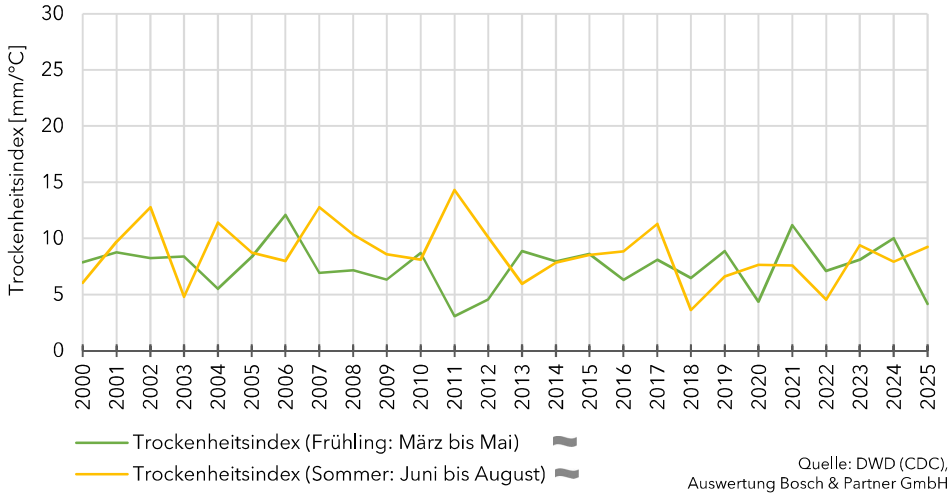


Abbildung 48: Saisonale Trockenheit in Schleswig-Holstein nach de Martonne im Frühjahr und Sommer

Abbildung 49 zeigt die Entwicklung von Tagen mit kritischer Bodenwasserverfügbarkeit. Tage, in denen die nFK des Bodens unter 30 % sinkt, gelten als besonders kritisch für die Wasserversorgung (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden"). Der DWD weist darauf hin, dass bereits bei Werten unterhalb von 50 % nFK mit Wasserstress für die Pflanzen gerechnet werden muss[270]. Im gleitenden 31-jährigen Mittel nimmt die Anzahl von Tagen mit deutlich eingeschränkter Bodenwasserverfügbarkeit. Die Werte schwanken stark zwischen den Jahren. Die Trockenperiode 2018–2020 bildet sich in beiden Zeitreihen deutlich ab. Es handelt sich bei den für die Darstellungen verwendeten Daten des DWD Bodenfeuchteviewer um modellierte Daten. Das Grünland in Schleswig-Holstein konzentriert sich zwar stark auf die Marschlandschaften, die vergleichsweise gut wasserversorgt sind, aber auch in der sandigen und trockenen Vorgeest und Hochgeest gibt es Grünland. Im Vergleich machen die Datenreihen den stärkeren Trockenstress im Acker gegenüber dem Grünland deutlich.

[269] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[270] DWD 2026: Informationen zur Bodenfeuchte.
https://dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaatlas/erlaeuterungen/elemente/_functions/faqkarussel/bodenfeuchte.html

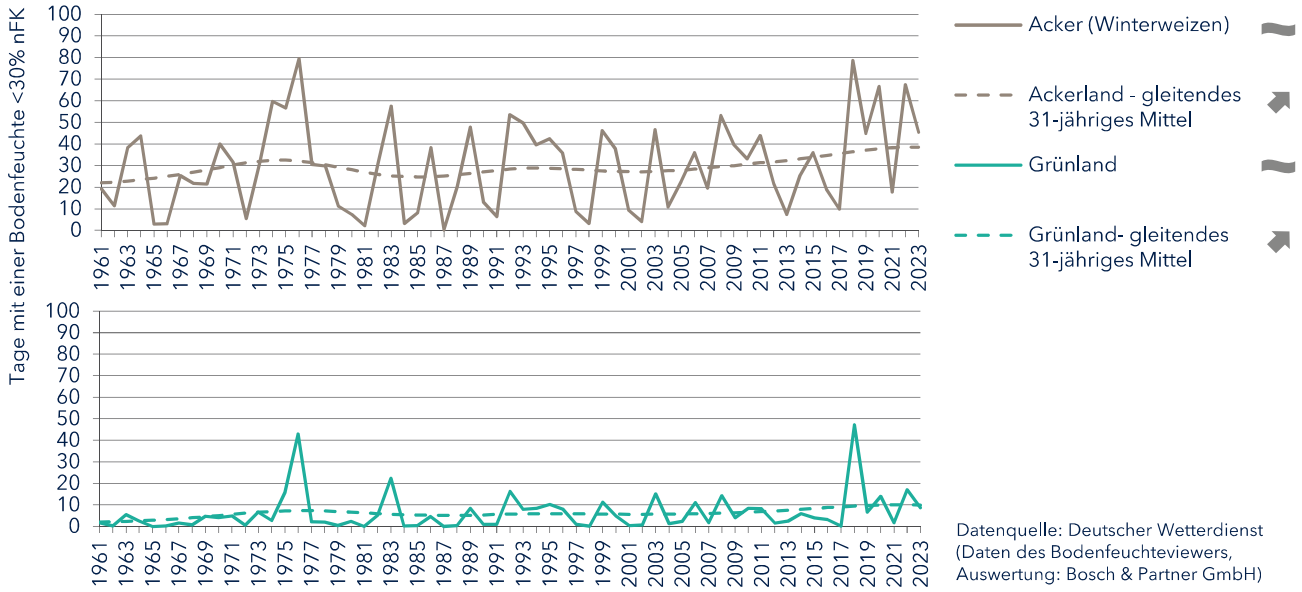


Abbildung 49: Tage mit Bodenfeuchte unter 30 % nFK im Acker und Grünland Schleswig-Holsteins

Die Auswirkungen von Trockenheit werden durch gleichzeitig auftretenden Hitzestress verschärft, denn bei hohen Temperaturen erhöhen sich auch Transpiration der Pflanzen und der damit verbundene Wasserverlust, was zu Wachstums- und Ertragsdepressionen führen kann[271]. Betroffen sind vor allen die durch sandige und wasserarme Böden geprägten Geestlandschaften Schleswig-Holsteins.

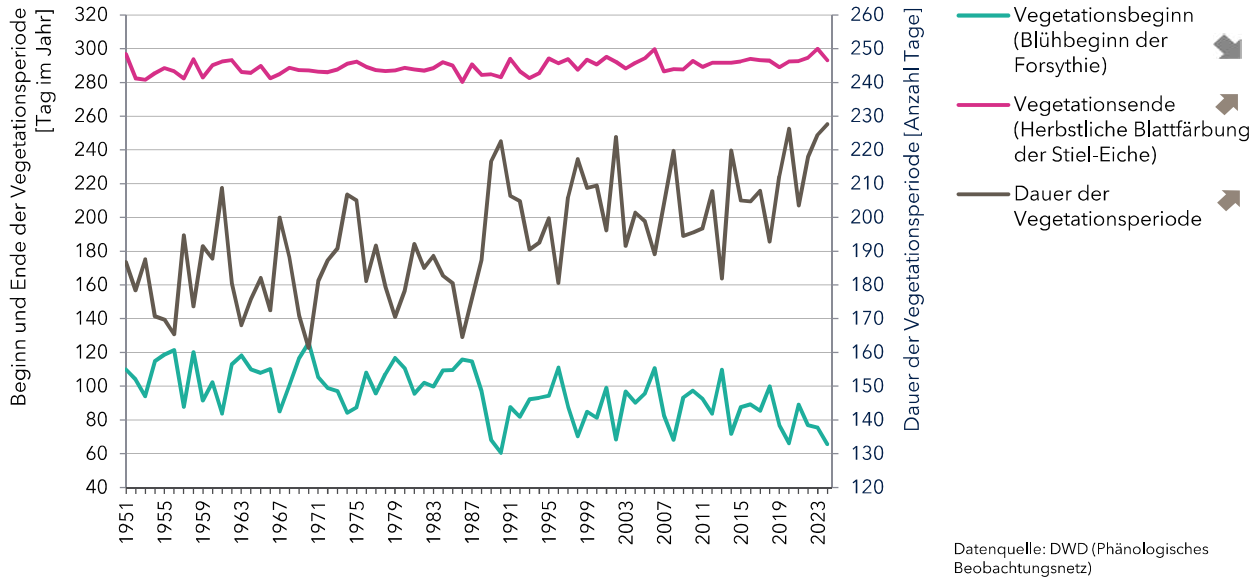


Abbildung 50: Beginn und Ende der Vegetationsperiode in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1992–2023 (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator LW-I-1[272])

Die Dauer der **Vegetationsperiode** ist wesentlich für die Ertragsentwicklung. Eine Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt grundsätzlich die pflanzenbauliche Produktion. Vor allem Kulturen, die auch noch im Spätsommer Biomasse zulegen profitieren von der länger andauernden Wärme. Hierzu gehört auch das Grünland. Allerdings kann es durch die Vorverlagerung des Vegetationsbeginns auch zu einer zeitlichen Entkoppelung von Blütezeit und Bestäuberaktivität und damit zu Bestäubungsproblemen kommen[273]. Die Dauer der Vegetationsperiode lässt sich unter anderem über

[271] Korte 2024 zitiert in Fohrer et al. 2025 (s. Fußnote 268): S. 4

[272] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/vegetationsperiode.pdf

[273] Gömann et al. 2017 zitiert in Fohrer et al. 2025 (s. Fußnote 268): S. 5

phänologische Beobachtungen ermitteln. Die Forsythienblüte markiert den Beginn der Vegetationsperiode, die Blattverfärbung der Stieleiche deren Ende. Die Daten seit Beobachtungsbeginn im Jahr 1951 zeigen eine statistisch signifikante Verlängerung der Vegetationsperiode in Schleswig-Holstein, die sich sowohl durch einen früheren Beginn als auch ein späteres Ende ergibt. Der Vergleich zwischen dem jeweiligen 10-Jahresmittelwert zu Beginn und zum Ende der Zeitreihe ergibt eine Verfrühung der Forsythienblüte um 25 Tage und ein späteres Einsetzen der Blattverfärbung der Stieleiche um 6 Tage. Daraus resultiert eine Verlängerung der Vegetationsperiode um mehr als 31 Tage, also um mehr als einen ganzen Monat (siehe Klimafolgenmonitoring und Abbildung 50).

Heidecke et al. (2017[274]) haben das Schadenspotenzial von Extremwetterereignissen für die Landwirtschaft abgeschätzt. Die Untersuchen ergaben, dass in den Jahren 1961–2015 Hitze und Trockenheit jährlich 40 Millionen Euro Schäden am Winterweizen verursacht haben. Schäden durch Kahlfrost (Frost bei Fehlen einer schützenden Schneedecke) führte zu Schäden in Höhe von 30 Millionen Euro. Nässe zur Zeit von Saat und Ernte waren nur für 9 Millionen Euro Schäden verantwortlich. Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV 2018[275]) schätzt, dass sich die durch Wetter und Witterung in Deutschland verursachten Ernteschäden im Zeitraum 1990–2013 auf jährlich rund 510 Millionen Euro beliefen. Auch nach dieser Schätzung sind für 54 % der Ernteschäden Trockenheit und Dürre verantwortlich, 26 % der Schäden entstanden durch Hagel und 20 % durch Sturm, Starkregen, Überschwemmung, Auswinterung und Fröste. Die Schäden durch die Dürrejahre ab 2018 schlagen in beiden Untersuchungen noch nicht zu Buche. Ihre Schadensbilanz dürfte zu einer noch stärkeren Betonung von Trockenheit und Dürre in der Schadensverursachung führen.

Im Obstbau und bei anderen Sonderkulturen sind neben Hitze und Trockenheit vor allem **Spätfröste** gefürchtet, vor allem wenn sie im Zusammenhang mit einem früheren Beginn der Vegetationsperiode auftreten. Sie können ganze Obstbauregionen betreffen und sind besonders gefürchtet, weil sie zum Totalausfall der Ernte führen können. In der Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus" wird ausführlich auf dieses Risiko eingegangen

8.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

8.4.3.1 Exposition

Die Daten der letzten Agrarstrukturerhebung stammen vom März 2023[276]. Demnach gab es 2023 in Schleswig-Holstein insgesamt 11.630 **landwirtschaftliche Betriebe**, die eine Fläche von knapp 980.000 ha bewirtschaftet haben. Gegenüber den Ergebnissen der Landwirtschaftszählung von 2020 sank die Zahl der Betriebe um knapp 5 %, gegenüber 2010 ist ein Rückgang um 17 % zu verzeichnen[277]. Die **landwirtschaftlich genutzte Fläche** (LF) belief sich im Jahr 2025 auf 970.800 ha. Gegenüber 2010 vollzog sich ein Rückgang um knapp 25.000 ha, also rund 2,5 %. Die LF blieb also annähernd stabil. Das bedeutet, es vollzieht sich in Schleswig-Holstein – wie in ganz Deutschland – ein Konzentrationsprozess, der zu größeren Betrieben führt: Die durchschnittliche Betriebsgröße erhöhte sich allein zwischen 2020 und 2023 von 81 auf 84 ha pro Betrieb (gegenüber 2010 um 20 %[278]). Zu einem Rückgang der Betriebszahl kommt es vor allem bei den viehhaltenden Betrieben, deren Zahl von 2020 bis 2023 um gut 7 % zurückgegangen ist (auf rund 8.270 Betriebe in 2023). Betroffen von diesem Rückgang waren vor allem die Betriebe der Schweinehaltung (Rückgang der Betriebe um 25 %)[279]. Auch der Anteil der Betriebe, die auf Futterbau spezialisiert sind, ging zurück (2010 waren das noch 60 %, 2020 nur noch 57 % aller

[274] Heidecke C., Offermann F., Hauschild M. 2017: Abschätzung des Schadpotentials von Hochwasser- und Extremwetterereignissen für landwirtschaftliche Kulturen. Thünen Working Paper 76, Braunschweig. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn058978.pdf

[275] GDV (Hrsg.) 2018: Naturgefahrenreport 2018. Berlin.
www.gdv.de/resource/blob/36254/23ad47bd6746bc456849b5cd41f61516/naturgefahrenreport-2018-schaden-chronik-data.pdf

[276] Statistik Nord 2024: Strukturwandel schreitet weiter voran; besonders viehhaltende Betriebe betroffen. Statistik informiert Nr. 6/2024. https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/landwirtschaft/bodenmarkt/dokumentenansicht/agrarstruktur-in-schleswig-holstein-2023-65437

[277] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 7

[278] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 9

[279] Statistik Nord 2024, s. Fußnote 276

Betriebe)[280]. Noch immer hatten aber 2023 noch rund 58 % aller landwirtschaftlichen Betriebe ihren betriebswirtschaftlichen Schwerpunkt in der Tierhaltung (siehe Abbildung 51)[281].



Abbildung 51: Anteil der landwirtschaftlichen Betriebe nach Betriebsformen in 2023 (Quelle: MLLEV[282])

Ackernutzung fand im Jahr 2025 auf 67,2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Schleswig-Holstein statt. Seit 2010 vollzog sich eine Rückgang der Ackernutzung: Wurden im Mittel der Jahre 2010–2014 noch 669.597 ha ackerbaulich genutzt, waren es im Mittel der Jahre 2021–2025 noch 654.300 ha, was einem Rückgang um 2,3 % entspricht. Die Grünlandnutzung weitete sich hingegen bis 2017 aus, ging dann aber in den Folgejahren zurück.

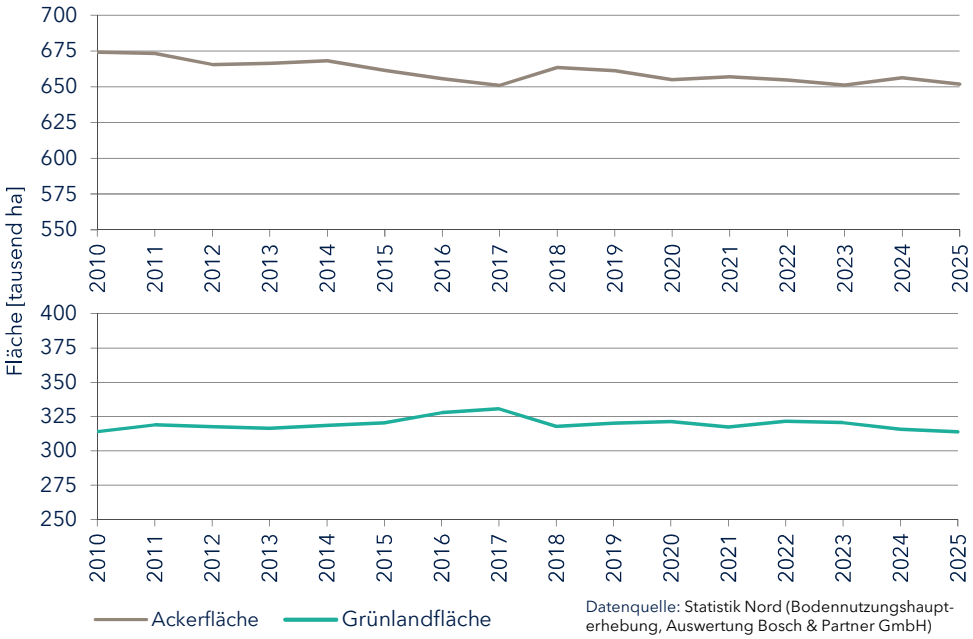


Abbildung 52: Entwicklung der Acker- und Grünlandfläche in Schleswig-Holstein

Datenquelle: Statistik Nord (Bodennutzungshaupterhebung, Auswertung Bosch & Partner GmbH)

Der Schwerpunkt der Ackernutzung befindet sich im Naturraum Hügelland im Osten Schleswig-Holsteins, die Grünlandnutzung konzentriert sich stark auf die Marschlandschaften (siehe Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus"). Aber auch in der Geest wird Ackerbau betrieben; Roggen, Hafer, Kartoffeln und Silomais sind hier die Hauptkulturen.

Im Ackerbau dominierte 2024 das Getreide mit 271,7 tausend ha (davon Winterweizen mit 112,9 tausend und Wintergerste mit 73,3 tausend ha). Der Silomais steht mit 159,3 tausend ha an zweiter, der Winterraps mit 70,7 tausend ha an dritter Stelle[283]. Der Silomais ist damit die flächenstärkste Kultur in Schleswig-Holstein. Aus dieser Aufstellung wird deutlich, dass

[280] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 9

[281] MLLEV (Hrsg.) 2025: Landwirtschaft in Schleswig-Holstein – ein Porträt in Zahlen. Kiel, 9 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/landwirtschaft/agrarstatistik, https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/landwirtschaft/agrarstatistik/ZahlenFakten/PDF/landwirtschaft_in_zahlen_2025.pdf

[282] MLLEV 2025, s. Fußnote 281: S. 2

[283] Statistik Nord (Hrsg.) 2025: Bodennutzung und Ernte in Schleswig-Holstein 2024. Statistische Berichte C I / C II - j 24 SH, Hamburg, 24 S. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/C_I_C_II_j24_SH.pdf

die Futterproduktion nach wie vor eine große Rolle spielt. Ihre weitere Entwicklung wird stark von der Entwicklung der Viehbestände abhängen. Beim Wintergetreide, vor allem beim Winterweizen, gab es zwischen 2023 und 2024 einen Anstieg um gut 11 %.[284]

Bei den Sonderkulturen spielen in Schleswig-Holstein insbesondere der Gemüsebau, das Beerenobst und das Baumobst eine Rolle. Im Jahr 2024 haben 96 Betrieben auf 7.565 ha Freilandgemüse angebaut. Die Anbaufläche im Freiland ist seit 2016 um rund 25 % angestiegen (2016 waren es noch 6.044 ha), wobei sich diese Entwicklung vor allem auf statistische Effekte zurückführen lässt, denn einige Betriebe haben in diesem Zeitraum ihren Unternehmenssitz aus anderen Bundesländern nach Schleswig-Holstein verlegt. Auch im Gemüsebau vollzieht sich eine betriebliche Konzentration. Mit 57 % hat Kohlgemüse den größten Anteil an der Gemüseanbaufläche. Auf 395 ha (im Ertrag) wurde 2024 Spargel angebaut, der insbesondere aufgrund der sandigen Böden in Schleswig-Holstein günstige Anbaubedingungen vorfindet. Auch der Erdbeeranbau spielt in Schleswig-Holstein eine bedeutende Rolle (2014 auf 480 ha (im Ertrag, Freiland). Das eher kühle und maritime Klima bringt gute Fruchtqualität und längere Erntefenster.[285] Baumobst wurde – den aktuellsten Daten von 2022 entsprechend – auf 506 ha produziert. Gegenüber der vorangegangenen Baumobsterhebung im Jahr 2017 reduzierte sich die Anbaufläche um 122 ha (-19 %). Der Schwerpunkt der Obstproduktion liegt auf dem Apfel, hier kam es im genannten Zeitraum zu einem Rückgang der Apfelanbaufläche um 18 % (390 ha in 2022 gegenüber 476 ha in 2017). Süßkirschen waren 2022 mit 60 ha die zweitwichtigste Obstart.[286]

8.4.3.2 Sensitivität

Die Standort- und hier insbesondere die Bodenverhältnisse spielen eine zentrale Rolle für die Sensitivität der landwirtschaftlichen Kulturen und die **natürliche Ertragsfähigkeit**. Für die Betrachtung der Ertragsfähigkeit stehen die bodenbezogenen Parameter im Vordergrund: Dies sind Bodenart, Humusgehalt und Lagerungsdichte, bei Mooren die Zersetzungsstufe und die daraus resultierende. So können sandige Böden bei Trockenheit wenig Wasser und Nährstoffe bereitstellen, während lehmige Böden austauschbar gebundene Nährstoffe besser speichern können. Diese Parameter fließen entsprechend in die Ermittlung der Boden- und Grünlandgrundzahlen ein. Für diese wird ins Schleswig-Holstein auf die Bodenschätzung zurückgegriffen.[287]

Im Ergebnis wird deutlich, dass in der Marsch (im Westen und Nordostholstein sowie Fehmarn) die natürliche Ertragsfähigkeit aufgrund des hohen Wasser- und Nährstoffrückhaltevermögen der tonreichen Böden als hoch bis sehr hoch bewertet wird. Es dominieren hier tiefgründige mineralische und fruchtbare Böden. Vor allem die jungen Marschböden gelten als besonders leistungsfähig, da sie hohe Durchwurzelungstiefen aufweisen. In Fehmarn sind die Oberböden stark humos. Demgegenüber zeichnet sich die Vorgeest durch ein geringes Wasser- und Nährstoffrückhaltevermögen aus. Die dort vorherrschenden sandigen, teilweise auch podsolierten Böden haben nur eine niedrige bis sehr niedrige natürliche Ertragsfähigkeit. Die Böden in der Hohen Geest und im Östlichen Hügelland zeichnen sich durch eine mittlere Ertragsfähigkeit aus.[288]

---

[284] Statistik Nord (Hrsg.) 2025: Mehr Wintergetreide durch die Ausweitung des Anbaus von Winterweizen. Statistik informiert Nr. 114/2025. https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/landwirtschaft/bodennutzung/dokumentenansicht/landwirtschaftliche-bodennutzung-und-getreideernte-in-schleswig-holstein-2025-67207

[285] Statistik Nord (Hrsg.) 2025: Anbau und Ernte von Gemüse und Erdbeeren in Schleswig-Holstein 2024 Gemüseanbaufläche im Freiland steigt seit 2016 stetig an. Statistik informiert Nr. 50/2025. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/user_upload/SI25_050.pdf

[286] Statistik Nord (Hrsg.) 2022: Flächen der Obstanlagen und Obstbaumbestände in Schleswig-Holstein 2022. Statistische Berichte C I 8 - 5 j / 22 SH. Hamburg, 36 S.
https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/landwirtschaft/C_I_8_5j_S/C_I_8_j5j22_SH.pdf

[287] Datenportal Schleswig-Holstein: Bodenbewertung.
https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/bodenbewertung-naturliche-ertragsfahigkeit-bgz-regionalspezifisch-bewertet

[288] Es stehen zusätzlich zu landesweiten Karten auch für jeden Naturraum Karten zur Verfügung, die auf einer regionalspezifischen Klassifikation beruhen. Diese Klassifikationen sind räumlich höher aufgelöst und erlauben eine bessere Differenzierung konkreter Gebietsausschnitte für eine gezieltere Steuerung des Bodenschutzes.

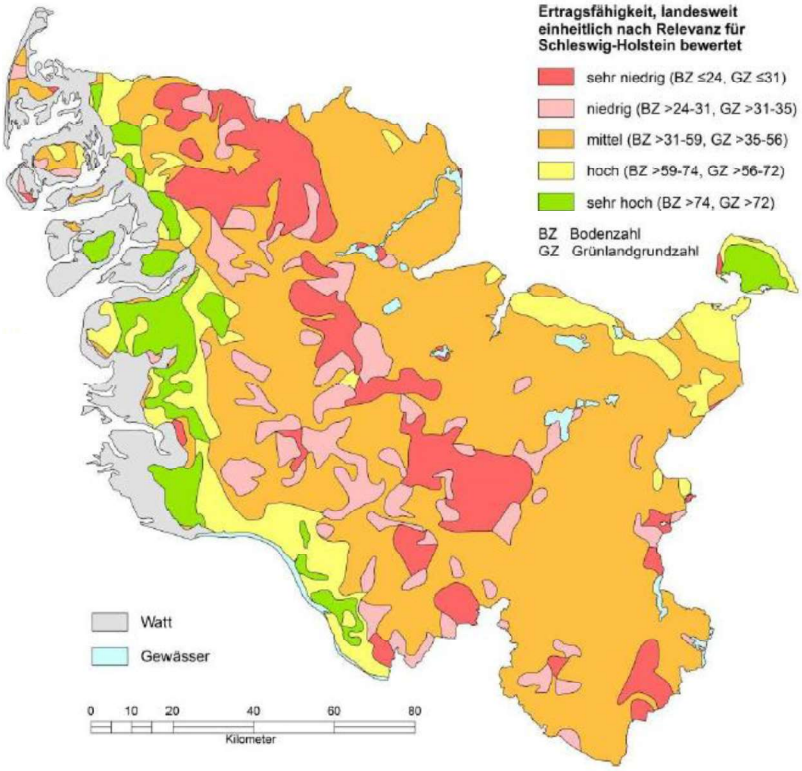


Abbildung 53: Natürliche Ertragsfähigkeit in Schleswig-Holstein (Quelle: Open-Data Schleswig-Holstein[289])

Ertragshöhen und -qualität werden wesentlich auch durch das Auftreten von **Pflanzenkrankheiten** beeinträchtigt. Mit steigenden Temperaturen und veränderten Niederschlagsmustern verändert sich zum einen die Widerstandsfähigkeit der Kulturpflanzen, zum anderen beeinflussen die Veränderungen auch die Lebensbedingungen der Schaderreger. Grundsätzlich schaffen feuchte Witterungsbedingungen bessere Bedingungen für viele pilzliche Erreger, warme und trockene Witterung fördert hingegen die Vermehrung vieler Insekten. In der Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus" werden wichtige Schaderreger angesprochen.

8.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

8.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Erträge, und zwar sowohl auf die Ertragshöhe als auch die Qualität. Im Rahmen des Gutachtens von Fohrer et al. 2025 zu Klimaanpassungsmaßnahmen für die Landwirtschaft in Schleswig-Holstein[290] wurden die Ertragsentwicklungen für die wichtigen Hauptkulturen nach den Hauptnaturräumen (Marsch, Hohe Geest, Vorgeest und östliches Hügelland) differenziert zusammengestellt. Abhängig von den Klimabedingungen und den Bodenverhältnissen sind die durchschnittlichen Ertragshöhen unterschiedlich.

Während beispielsweise beim Winterweizen (siehe Abbildung 54), dem Sommerweizen, der Wintergerste und der Sommergerste (Letztere ist besonders empfindlich gegenüber Dürreperioden) die Erträge in den letzten 20 Jahren annähernd stagnierten, ist beim Silomais nach wie vor eine Ertragssteigerung erkennbar (siehe Abbildung 55). Diese lässt sich unter anderem auf höhere Wärmesummen zurückführen, die den Silomais begünstigen, sofern eine ausreichende Wasserversorgung gesichert ist. Die durchweg höheren Erträge in der Marsch und im Hügelland sind in den besseren Wasserverhältnissen in diesen Naturräumen begründet.

[289] Datenportal Schleswig-Holstein, s. Fußnote 287: Steckbrief „Fachlicher Hintergrund zur Ertragsfähigkeit zur Bewertung der Bodenfunktion: Standort für die landwirtschaftliche Nutzung"

[290] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268

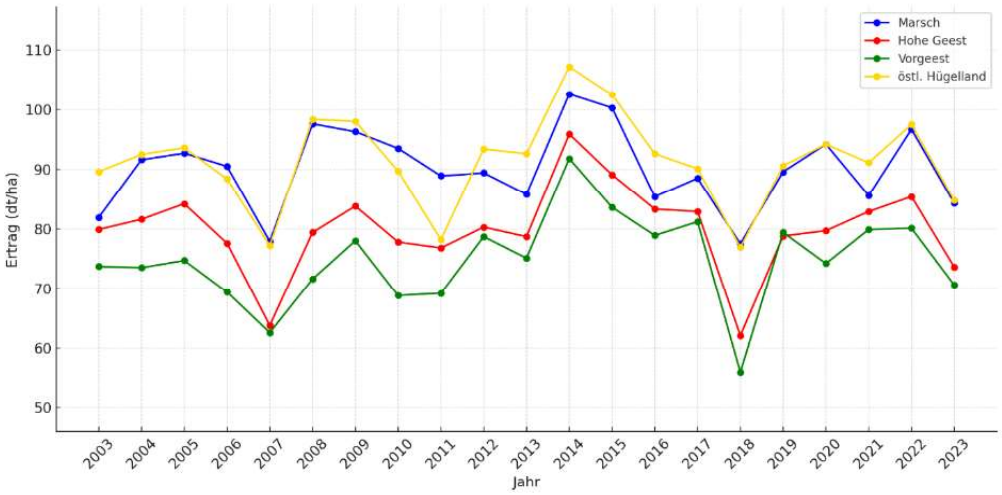


Abbildung 54: Ertragsentwicklung beim Winterweizen nach Naturräumen in Schleswig-Holstein (Quelle: Fohrer et al. 2025[291])

Das besonders trockene Jahr 2018 bildet sich in allen Zeitreihen deutlich ab. Bei mehreren (wenn auch nicht allen) Kulturen war es das ertragsschwächste Jahr in der betrachteten Zeitreihe. Beim Silomais war der Ertragseinbruch in diesem Jahr hingegen weniger massiv. Auch in den Jahren 2006 und 2010 schlagen sich in der Tendenz trockene Bedingungen in der Ertragsbildung nieder.

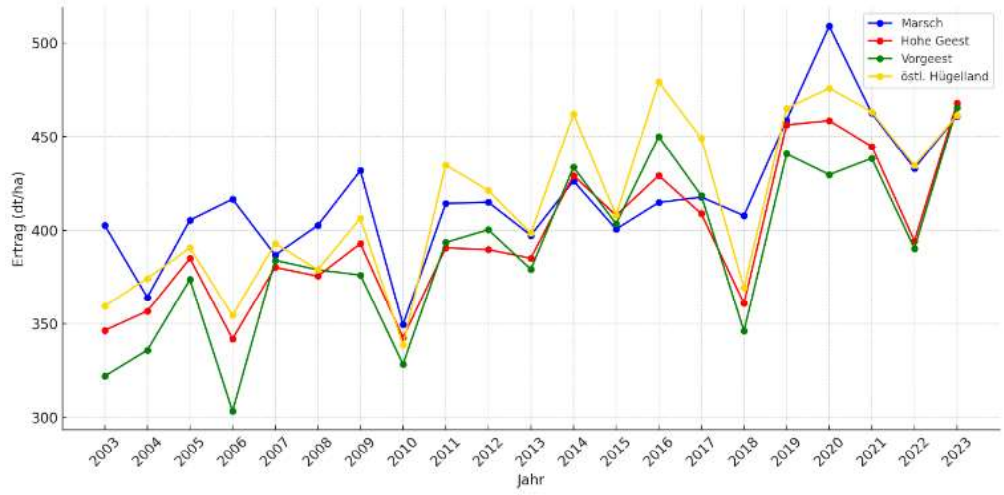


Abbildung 55: Ertragsentwicklung beim Silomais nach Naturräumen in Schleswig-Holstein (Quelle: ebd.)

Die Entwicklung der absoluten Ertragshöhen ist allerdings neben dem Klima in relevantem Umfang auch von anderen Faktoren abhängig, was bedeutet, dass sich Änderungen der absoluten Ertragshöhe nicht direkt und uneingeschränkt mit Effekten des Klimawandels in Verbindung bringen lassen. So bringt die Züchtung neue Sorten mit verbesserten Eigenschaften unter anderem hinsichtlich Ertragshöhe und -stabilität, Stresstoleranz und Krankheitsresistenz hervor. Auch in der Agrartechnik (Pflege- und Erntetechniken, Düngung, Pflanzenschutz) gab es in den letzten Jahren weitere Verbesserungen. Zudem spielen die Entwicklung der Produktpreise sowie die Preise für Betriebsmittel wie Dünger und Pflanzenschutzmittel eine wichtige Rolle. Inzwischen zeichnet sich allerdings bei vielen Kulturen eine Ertragsstagnation ab. Sie wird unter anderem auf Klimaveränderungen zurückgeführt, vor allem auf häufiger auftretende extreme Witterungsverhältnisse, denn eine längere Vegetationsperiode und der CO_2-Düngeeffekt begünstigen eigentlich eher die Ertragsentwicklung.

[291] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 10 und S. 11

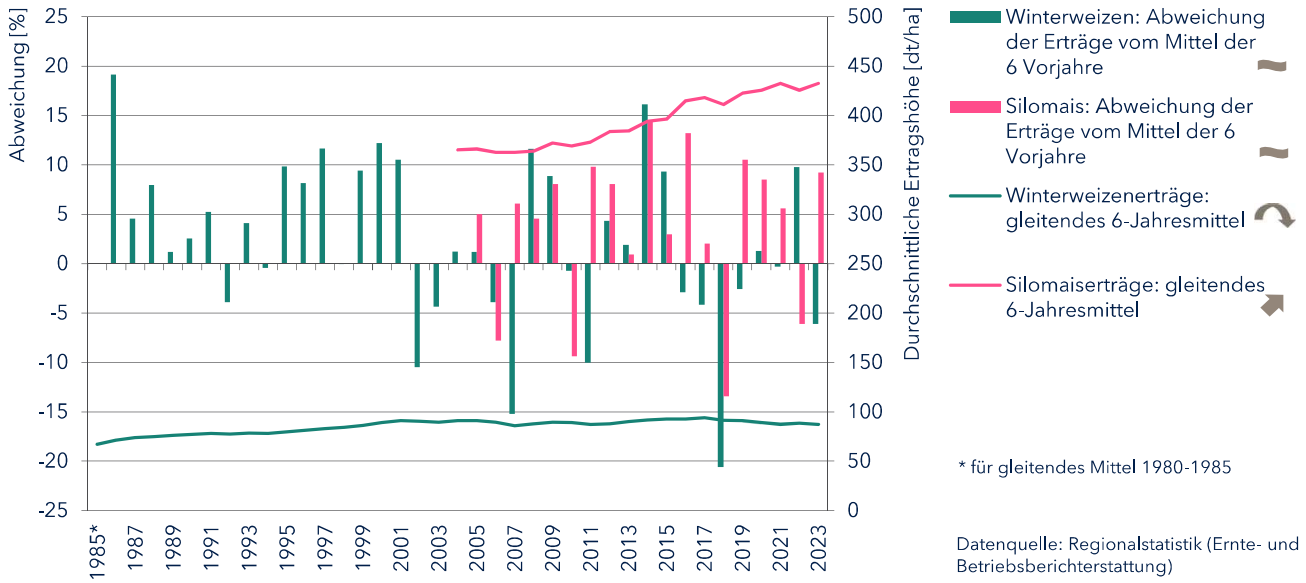


Abbildung 56: Ertragsschwankungen – Ackerkulturen (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator LW-I-2[292])

Noch deutlicher zeichnen sich die Einflüsse von Wetter und Witterung bei Betrachtung der zwischenjährlichen Ertragsschwankungen ab. Gibt es stärkere Witterungsschwankungen, reduziert dies die Planungssicherheit für die Landwirtinnen und Landwirte. Auf längerfristige Klimaveränderungen können sie sich mit der Fruchtarten- und Sortenwahl sowie den betrieblichen Abläufen vorbereiten, auf überraschende Witterungsveränderungen zwischen den Jahren ist eine Reaktion hingegen nur in beschränktem Umfang möglich. Vor diesem Hintergrund wurde für das Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein auch ein Indikator zu den zwischenjährlichen Ertragsschwankungen ausgewählt (siehe Abbildung 56). Beim Vergleich der jeweiligen Jahresernte mit dem Durchschnitt der vorausgegangenen sechs Jahr wird deutlich, wie erheblich die Schwankungen sein können. Die starken Schwankungen erschweren die betriebliche Planung und bringen Produktionsrisiken mit sich. Die Betriebe kalkulieren unter anderem die einzusetzenden Betriebsmittel oder auch Lagerkapazitäten in der Regel basierend auf ihren Erfahrungswerten der zurückliegenden Jahre. Sowohl starke positive als auch negative Ertragsaschläge erschweren diese betrieblichen Planungen.

Der Indikator Ertragsschwankungen – Baumobst aus dem Klimafolgenmonitoring beleuchtet die Ertragsschwankungen im Obstanbau. Auch die Erträge bei den Obstbaumkulturen in Schleswig-Holstein zeigen sehr deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Im Obstbau führen vor allem Spätfrostereignisse zu großen Betroffenheiten in der Fläche. Zuletzt gab es diese in den Jahren 2017 und 2024 (siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator LW-I-3[293]).

Auch aus der Auszahlung von Beihilfen für witterungsbedingte Schäden in der Landwirtschaft wären Rückschlüsse auf witterungsbedingte Ertragsprobleme möglich. In Schleswig-Holstein wurden zuletzt Beihilfen wegen der Dürre 2018 ausgezahlt. Die Bemessungsgrundlage für die Zahlungen sind aber weniger die Schäden als die Einkommensminderung beiden Betrieben. Frosthilfen wurden zuletzt aufgrund des Frostereignisses im April 2024 ausgezahlt (von acht Anträgen wurde drei genehmigt). Für eine Statistik sind diese Auszahlungen nicht ausreichend und nicht valide interpretierbar.

Die beschriebenen witterungsbedingten Ertragseinbrüche bei den Ackerkulturen haben auch Auswirkungen auf die Futterversorgung von Nutztieren. Sowohl Menge als auch Qualität verändern sich. So führte die lang andauernde Trockenheit im Frühjahr und Sommer 2018 in vielen milchkuhhaltenden Betrieben Schleswig-Holsteins dazu, dass nicht in ausreichendem Umfang Futterreserven angelegt werden konnten und teilweise Grundfutter für die Fütterung zugekauft werden musste[294]. Eine Umfrage unter 84 milchkuhhaltenden Landwirten ergab aber, dass es offensichtlich nicht flächendeckend

[292] Klimafolgemonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/ackerkulturen.pdf

[293] Klimafolgemonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt LW-I-3:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/baumobst.pdf

[294] Redaktion Proteinmarkt 2018: 2018 – ein außergewöhnliches Vegetationsjahr: Konsequenzen für die Milchkuhfütterung.
https://www.proteinmarkt.de/en/aktuelles/archiv/details/news/2018-ein-aussergewoehnliches-vegetationsjahr-konsequenzen-fuer-die-milchkuhfuetterung

zu Futterknappheit gekommen ist[295]. Dennoch kamen auch aus Schleswig-Holstein Berichte, dass Maisbestände zum Teil notgehäckselt werden mussten. Auch die Qualität des Silomais zeigte Einbußen (reduzierter Stärkegehalt in den Kolben, was einen geringeren Futterwert bedeutet)[296]. Hinzu kam, dass stark verstrohte Maispflanzen die notwendige Verdichtung in Maissilos erschwert haben (geringe Verdichtung ist mit der Gefahr vermehrter Sauerstoffeinschlüsse in den Silagen verbunden). Für mehrere Betriebe kam es 2018 auch zu Problemen mit dem Grasaufwuchs. Vor allem der zweite Schnitt, der üblicherweise im Juni erfolgt, war nur wenig wüchsig.

8.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Fohrer et al. (2025)[297] haben mehrere Faktoren, die ein Risiko für das künftige Ertragsgeschehen darstellen, separat betrachtet und in Form von Risikokarten dargestellt. Die Studie leistet allerdings keine Überlagerung bzw. Verschneidung aller untersuchten Risikofaktoren zu einer aggregierten Projektion von Ertragsveränderungen. Abbildung 57 bildet das Risiko für klimabedingte Ertragsverluste der Böden in Schleswig-Holstein dar. Wesentliche Grundlage dieser Analyse sind die Bodenbeschaffenheit (Boden- und Grünlandgrundzahl[298]) und landschaftliche Gegebenheiten, die durch klimatische Veränderungen (hier unter Annahme des RCP8.5) weiter beeinflusst werden könnten. Die aktuellen Anbauschwerpunkte der landwirtschaftlichen Kulturen sind dabei nicht berücksichtigt.

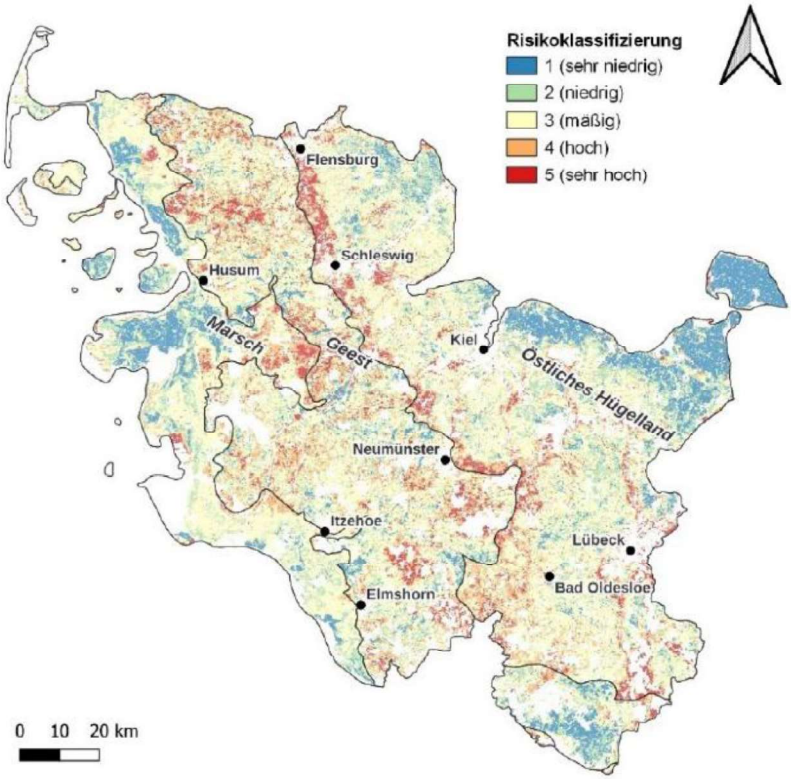


Abbildung 57: Risikos für klimabedingte Ertragsverluste in Bezug auf die Ertragsfähigkeit in Schleswig-Holstein (RCP 8.5) (Quelle: Fohrer et al. 2025[299])

Zusammenfassend wurde haben Fohrer et al. (2025) konstatiert, dass

- die Hauptnaturräume Schleswig-Holsteins (Marsch, Geest, Östliches Hügelland) unterschiedlich empfindlich auf klimatische Veränderungen reagieren,
- die Marschgebiete besonders durch den Meeresspiegelanstieg und erhöhte Winter-Niederschläge gefährdet sind (vor allem durch Überflutungen und Bodenverdichtung),
- die Geestböden aufgrund der geringen nutzbaren Feldkapazität stark anfällig für Trockenheit und Winderosion sind, was besonders in Dürreperioden zu kritischen Situationen führen kann,

[295] Redaktion Proteinmarkt 2019: Auswirkungen der Trockenheit 2018 Teil 2: Verfügbare Mengen und Verdichtungen der Maissilagen. https://www.proteinmarkt.de/en/aktuelles/archiv/details/news/auswirkungen-der-trockenheit-2018-teil-2-verfuegbare-mengen-und-verdichtungen-der-maissilagen

[296] Redaktion Proteinmarkt 2018, s. Fußnote 294

[297] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268

[298] Die Boden- und Grünlandgrundzahl berücksichtigt Faktoren wie die Bodenart, die Zustandsstufe sowie die Bodenentstehung und Klima. Von besonderer Bedeutung ist die Bodenart, die zahlreiche ertragsbestimmende Prozesse beeinflusst.

[299] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 22

- das Östliche Hügelland nur moderate Risiken zeigt, aber durch Wassererosion und Starkregen belastet ist.

Es wurde in der Studie darauf hingewiesen, dass die Sensitivität auch stark von den betrieblichen Gegebenheiten abhängt, also die betriebliche Anpassungskapazität eine wichtige Rolle spielt. Vor allem landwirtschaftliche Betriebe mit begrenzten finanziellen oder technischer Ausstattung unterliegen einem höheren Risiko.[300]

Ein Projektverbund aus DWD, Julius Kühn-Institut (JKI), Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. und Thünen-Institut (TI) hat im Rahmen des Projekts KlimErtrag einen Überblick über den Stand des Wissens zu den Klimafolgen für den deutschen Pflanzenbau gegeben sowie modellbasierte, räumlich differenzierte Simulationen zur Ertragsveränderungen bei den wichtigsten deutschen Ackerkulturen bis zur Mitte des Jahrhunderts erarbeitet. Eingesetzt wurde unter anderem das Agrar-Ökosystem-Modell MONICA („MOdell für die Stickstoff- (engl. NItrogen) und Kohlenstoff- (engl. Carbon) dynamik in Agrarökosystemen"). Die (prozessbasierten) Modellierungen mit MONICA bringen Ergebnisse zu den Ertragsveränderungen zwischen den zwei Zeitscheiben 1971–2000 und 2031–2060 für die drei RCP-Szenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) und für acht landwirtschaftliche Hauptkulturen (Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Silomais, Winterroggen, Sommergerste, Kartoffel und Zuckerrübe).[301] Nicht berücksichtigt wurden in den Simulationen gezielte Anpassungen der Produktion an den Klimawandel sowie negative Ertragseffekte durch die Zunahme von Stürmen, Hagel, Starkregen oder Schadorganismen.

Das Modell MONICA wurde mit Feldexperimentdaten auf das Wachstum der Ackerkulturen kalibriert. Als Referenz für das mittlere Ertragsniveau wurden die gemeldeten Erträge der statistischen Ämter des Bundes und der Länder (aus dem Jahr 2021) für die Kalibrierung von 1999 bis 2019 herangezogen. Für die Kalibrierung der phänologischen Phasen in MONICA wurden deutschlandweite Beobachtungen aus dem phänologischen Jahresmelder des DWD (1999–2019) eingesetzt. Für Kalibrierung und Ertragssimulationen wurden zudem Annahmen zum Aussaattermin, zur Düngung und zum Erntetermin getroffen. Zudem wurde ein Düngeregime angenommen, das eine ausreichende Stickstoffversorgung sicherstellt.

Diese auf MONICA basierende Projektion verdeutlicht die Komplexität von Ertragssimulationen. Da eine räumlich differenzierte und fachlich anspruchsvolle Simulation im Rahmen der Bearbeitung dieser Klimawirkung nicht möglich ist, werden dieser Operationalisierung die Ergebnisse aus Söder et al. (2022) zugrundgelegt. Sie treffen auch für Schleswig-Holstein darstellbare Aussagen. In Tabelle 34 sind die für die Modellierung mit MONICA verwendeten Parameter gelistet[302]. Für weitere Details siehe Söder et al. 2022 (Kap. 4.1.1[303]).

Tabelle 34: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisikoanalyse	**Datenquelle**
Klimasignal	Temperatur: T_{min} , T_{max} Niederschlag Windgeschwindigkeit relative Luftfeuchte Globalstrahlung	Historische Klimadaten: Climate Data Center des DWD (tägliche Klimadaten) Projektionen: DWD-Kernensemble (v2018) (überführt in ein 1 x 1 km-Raster)
Exposition	Anbauflächen der Kulturarten (2017–2019)	Landnutzungskarten (Blickensdörfer et al. 2022[304]), Auflösung 20 m, umgewandelt in 1 x 1 km-Raster)

[300] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 33

[301] Söder M., Berg-Mohnicke M., Bittner M., Ernst S., Feike T., Frühauf C. et al. 2022: Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Thünen Working Paper 198, 230 S. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065147.pdf

[302] Angaben zur Kategorisierung der einzelnen Parameter lassen sich in diesem Falle nicht treffen, da komplexe Rechenalgorithmen zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu den analogen Tabellen der anderen KRA-Operationalisierungen fällt die Tabellenspalte „Kategorisierung" daher im Falle dieser Klimawirkung weg.

[303] Söder et al. 2022, s. Fußnote 301

[304] Blickensdörfer L., Schwieder M., Pflugmacher D., Nendel C., Erasmi S.; Hostert P. 2022: Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. Remote Sensing of Environment 269, 112831. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112831

	Parameter der Klimarisikoanalyse	Datenquelle
Sensitivität	Bodentexturklasse Anteil von C_{org} Bodenrohdichte	BÜK200 (überführt in ein 1 x 1 km-Raster)
	mittlere Höhe mittlere Hangneigung jeder Zelle der BÜK200	European Digital Elevation Model (EU-DEM), Version 1.1 (2016)

8.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

MONICA benötigt für die Simulation des Pflanzenwachstums tägliche Klimadaten (Minimumtemperatur, Maximaltemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte und Globalstrahlung). Es wurden drei Szenarien (RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5) mit insgesamt 17 regionalen Klimaprojektionen in einer Auflösung von 5 km betrachtet. Die Klimadaten wurden in ein 1 km-Raster umgerechnet, um sie an das Raster der Bodenkarte (BÜK200, siehe unten) anzupassen. Für die Kalibrierung der phänologischen Phasen in MONICA wurden deutschlandweite Beobachtungen der Jahre 1999 bis 2019 aus dem phänologischen Jahresmelder des DWDs verwendet.

8.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Die Simulationen der Erträge erfolgte für jede Ackerkultur basierend auf den kulturartenspezifischen Anbaugebieten. Zugrunde gelegt wurde die Landnutzungskarte nach Blickensdörfer et al. 2022[305], die Informationen zu den typischen Fruchtfolgen für die Jahre 2017–2019 in einer Auflösung von 20 m liefert. Sie basiert auf Fernerkundungsdaten und wurde anhand agrarstatistischer Daten validiert. Die Landnutzungskarte wurde für die Verrechnung mit den klimatischen und standörtlichen Informationen ebenfalls in ein 1 km-Raster umgerechnet.

Die die Sensitivität bestimmenden Bodenfaktoren stammen aus der Bodenübersichtskarte BÜK200. Für jede Rasterzelle wurden der BÜK Angaben zur Bodentexturklasse, zum Anteil des organischen Kohlenstoffs und zur Bodenrohdichte entnommen. Für die Charakterisierung der topographischen Situation wurden aus dem EU-DEM (Europäisches Digitales Höhenmodell) Informationen zur mittleren Höhe und mittleren Hangneigung für jede Zelle der BÜK200 entnommen. Alle Informationen wurden in ein 1 x 1 km-Raster überführt.

8.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Im gesamtdeutschen Überblick modelliert MONICA für die drei in Schleswig-Holstein am weitesten verbreiteten Ackerkulturen Silomais, Winterweizen und Winterraps bis zur Mitte des Jahrhunderts überwiegend steigende Erträge im Vergleich zum Mittel der Jahre 1971–2000. Lediglich beim Silomais gibt es im Mittel kaum Ertragsänderungen, nur unter Annahme des RCP4.5-Szenarios leichte mittlere Ertragssteigerungen (siehe Abbildung 58).

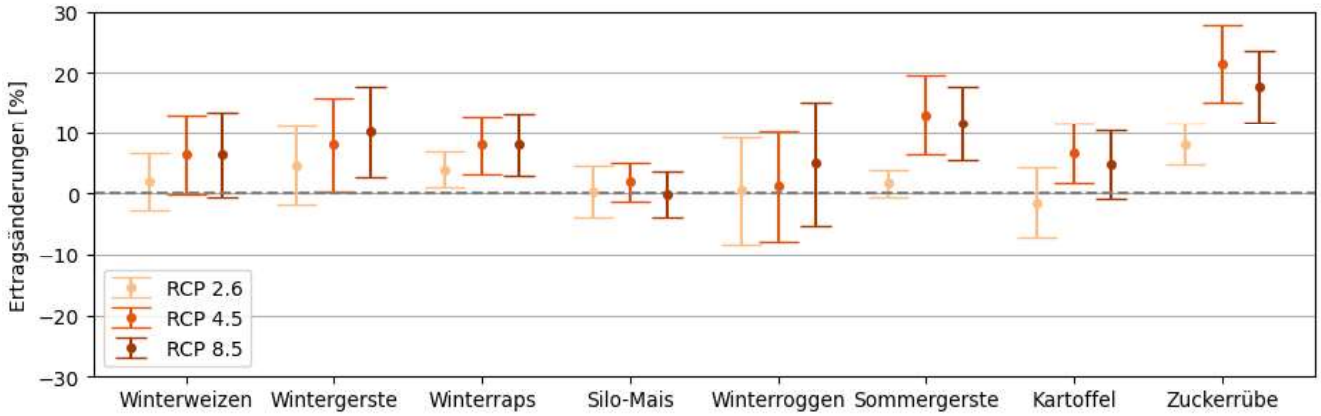


Abbildung 58: Mittlere Ertragsänderungen zwischen 1971 bis 2000 und 2031 bis 2060 (Quelle: Söder et al. 2022[306])

[305] Blickensdörfer et al. 2022, s. Fußnote 304

[306] Söder et al. 2022, s. Fußnote 301: S. 31

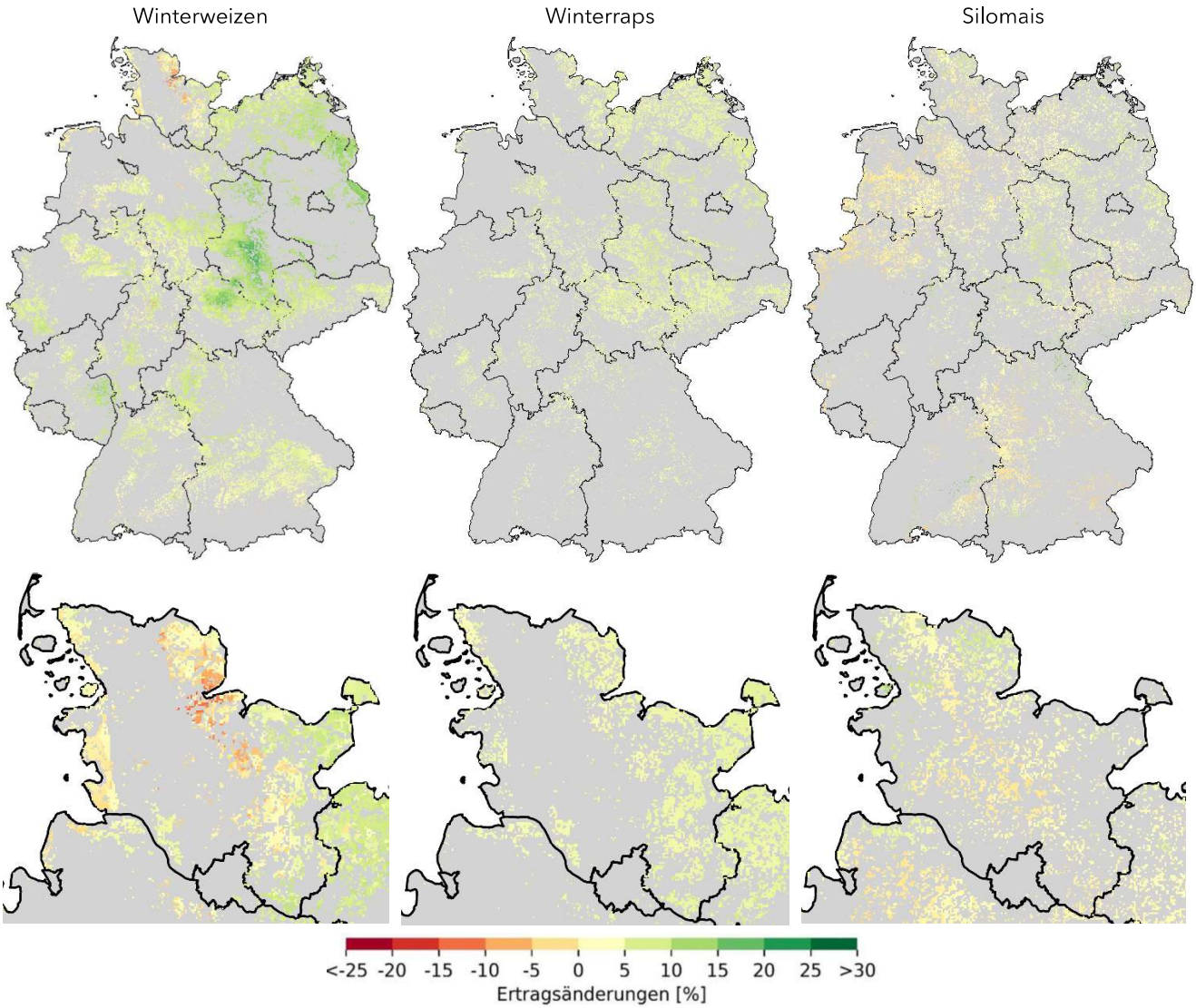


Abbildung 59: Flächendeckende Ertragsänderungen für Winterweizen, Winterraps und Silomais zwischen 1971 bis 2000 und 2031 bis 2060 (unten Ausschnitt für Schleswig-Holstein) (Quelle: Söder et al. 2022, Auszüge[307])

Bei der regional differenzierten Betrachtung ergeben sich für Schleswig-Holstein allerdings – abweichend vom bundesdeutschen Mittel) Ertragsminderungen für Winterweizen und Silomais (betrachtet für das RCP8.5 bis zur Mitte des Jahrhunderts, siehe Abbildung 59).

Im deutschlandweiten Vergleich werden für den Winterweizenanbau die höchsten Ertragsrückgänge in Schleswig-Holstein projiziert. Aktuell werden beim Winterweizen im Bereich und im Hinterland der Ostseeküste Schleswig-Holsteins vorwiegend hohe Erträge erzielt, sodass sich eine Zunahme ertragsreduzierender Ereignisse (wie Trockenheit und Hitze) besonders stark bemerkbar macht. Beim Silomais, der im Bereich der Geest Ertragsrückgänge zeigt, dürfte die geringe Wasserhaltekapazität der Geestböden ein entscheidender Faktor sein. Zu vergleichbaren Ertragsrückgängen kommt es beim Silomais unter anderem auch im nordwestlichen Niedersachsen, nördlichen Nordrhein-Westfalen. Der Winterraps zeigt sich auch in Schleswig-Holstein bis zur Mitte des Jahrhunderts annähernd stabil in den Erträgen.

Die Modellierung mit MONICA birgt diverse Unsicherheiten, die bei der Interpretation der Modellergebnisse zu berücksichtigen sind:

- Krankheiten, Pilzbefall oder Hagelschlag, die Erträge senken können, sind nicht berücksichtigt, da sich deren zeitliches und örtliches Auftreten noch nicht ausreichend gut durch Modelle abbilden lässt.

[307] Söder et al. 2022, s. Fußnote 301: S. 32 und 33

- Zudem müssen bei Simulationen mit Pflanzenwachstumsmodellen einige Annahmen zum Verhalten der Landwirte und Landwirtinnen getroffen werden. Es gibt aber nur wenige flächendeckende Datensätze zum Management in der Landwirtschaft (beispielsweise zur Düngung oder zur Bewässerung), sodass auf allgemeine Empfehlungen zur Bewirtschaftung zurückgegriffen werden muss. Regionale Unterschiede im Anbau (insbesondere in der Nutzungsintensität) bleiben daher unberücksichtigt, was erhebliche Unsicherheiten bei der Ertragseinschätzung mit sich bringt.
- Die beschriebenen Annahmen zum landwirtschaftlichen Management werden außerdem über den ganzen Simulationszeitraum konstant gehalten. Das heißt, mögliche Anpassungsreaktionen des Landwirtschaftssektors (wie mögliche Anpassungen der Anbauflächen, der Fruchtartenwahl und der eingesetzten Genotypen der Ackerkulturen) werden nicht beachtet. Auch die Aussaatdaten der Ackerkulturen werden einheitlich festgesetzt (diese werden sich aber mit wärmer werdenden Jahreszeiten ändern).
- Die verwendeten Daten der Klimaprojektionen überschätzen die Niederschlagswerte der Übergangsjahreszeiten, sodass die Auswirkungen möglicherweise früh im Jahr auftretender Dürren nicht gut abgebildet werden. Dies führt wahrscheinlich zu einer Überschätzung der Ertragshöhen.
- Die Kalibrierung durch Feldversuche wird als noch unzureichend bewertet, sodass standortspezifischen Bedingungen bisher nur unzureichend bei den Modellannahmen berücksichtigt werden können.

Trotz aller Unsicherheiten machen die Modellierungen mit MONICA deutlich, dass gerade Schleswig-Holstein ein Augenmerk auf die Ertragsentwicklung richten muss, da bei wichtigen Hauptkulturen mit Ertragsrückgängen zu rechnen ist. Anpassungsmaßnahmen im Management sind daher zwingend erforderlich.

8.5 Klimawirkung „Veränderung der Anbaueignung für landwirtschaftliche Fruchtarten inklusive des Obstbaus“

8.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Insbesondere im tendenziell kühleren Klima im deutschen Norden können sich infolge des Klimawandels neue Gunsträume für landwirtschaftliche und gärtnerische Kulturen entwickeln, bzw. kann ein wirtschaftlicher Anbau überhaupt erst möglich werden. Für andere für den mitteleuropäischen Raum typische Kulturen hingegen könnten die klimatischen Veränderungen perspektivisch zum Problem werden und die Wirtschaftlichkeit des Anbaus womöglich infrage stellen. Kulturpflanzenwechsel stellen an landwirtschaftliche und gärtnerische Betriebe vielfältige betriebswirtschaftliche, technische und organisatorische Herausforderungen. Ungenügendes Erfahrungswissen beim Anbau erhöhen das Risiko, mitunter sind Investitionen in bisher nicht genutzte Technik erforderlich, und nicht zuletzt müssen neue Absatzwege erschlossen werden. Die Hemmnisse für betriebliche Umstellungen sind daher vergleichsweise hoch. Vor allem für Dauerkulturen, bei denen in Schleswig-Holstein vor allem der Obstbau relevant ist, sind die projizierten Klimaänderungen bedeutsam, da sie die künftigen Anbaubedingungen der heute bereits bestehenden oder auch der heute neu gepflanzten Bäume verändern können.

8.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

8.5.2.1 Klimasignale

Für die Anbaueignung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Fruchtarten ist eine Vielzahl unterschiedlicher Klimafaktoren bestimmend. Sich verändernde Temperatur- und Niederschlagsregime haben Einfluss auf alle Fruchtarten. Vor allem Trockenheit kann sich limitierend auf die Produktion und Qualität auswirken und letztendlich Anbauentscheidungen beeinflussen. Einige Kulturpflanzen, die traditionell in Schleswig-Holstein angebaut werden, können von einer höheren Durchschnittstemperatur profitieren. Es ist davon auszugehen, dass die Temperaturerhöhung mittel- bis langfristig zu einer Verschiebung der Anbaugrenzen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen führt[308].

Der Anbau wärmebedürftiger Ackerkulturen ist auf vergleichsweise hohe **Wärmesummen**, hohe Mitteltemperaturen und eine lange **Vegetationsperiode** zum Ausreifen angewiesen. So kann beispielsweise Soja aufgrund seiner Kälteempfindlichkeit nicht zu früh gesät werden; die Pflanze braucht Bodentemperaturen von mindestens 10 °C[309]. Aufgrund der späten Abreife sind zudem warme Herbsttemperaturen und ein nicht zu früher Frosteintritt erforderlich. Auch Körnermais ist zur Keimung auf Bodentemperaturen von 8–10 °C angewiesen und braucht für das Wachstum eine Lufttemperatur von über 8 °C (siehe Klimaanalyse, Abbildung 18). Für Schleswig-Holstein stehen seit 1992 Daten zur Vegetationsperiode zur Verfügung. Sie zeigen, dass diese in der 10-Jahresperiode 2014–2023 im Vergleich zu 1992–2001 um eine Woche früher begonnen hat. Das Ende der Vegetationsperiode setzt heute signifikant später ein (um rund drei Tage) als noch zu Beginn der systematischen Datenerfassung. Mit dieser Verlängerung der Vegetationsperiode verbessern sich die Bedingungen für die Kultivierung von Fruchtarten und Sorten, die höhere Wärmebedürfnisse haben.

Auch im Obstbau verbessern höhere Wärmesummen die Anbaubedingungen für Fruchtarten, die bisher im Norden Deutschland nicht angebaut werden konnten. Gleichzeitig können aber wärmere Winter Obstbäume, die der gemäßigten Klimazone entstammen, beeinträchtigen: Zwischen dem Spätherbst und frühen Frühjahr durchlaufen die laubabwerfenden Bäume eine Periode der Inaktivität, auch als **Dormanz** bezeichnet. Sie erlaubt es den Bäumen, die kalten Wintertemperaturen bzw. den Frost schadlos zu überdauern. Kälte (und eine kürzere Tageslänge) ruft physiologische Veränderungen in den Knospen hervor, die das Wachstum zum Winterbeginn aussetzen und die Knospen schützen[310]. Nachdem das Kältebedürfnis erfüllt ist, führen warme Temperaturen wieder zur Fortsetzung des Wachstums und zum Einsetzen der Blüte. Erhalten die Bäume keinen ausreichenden Kältereiz im Winter, reduzieren sich die Anzahl der aufbrechenden Knospen im

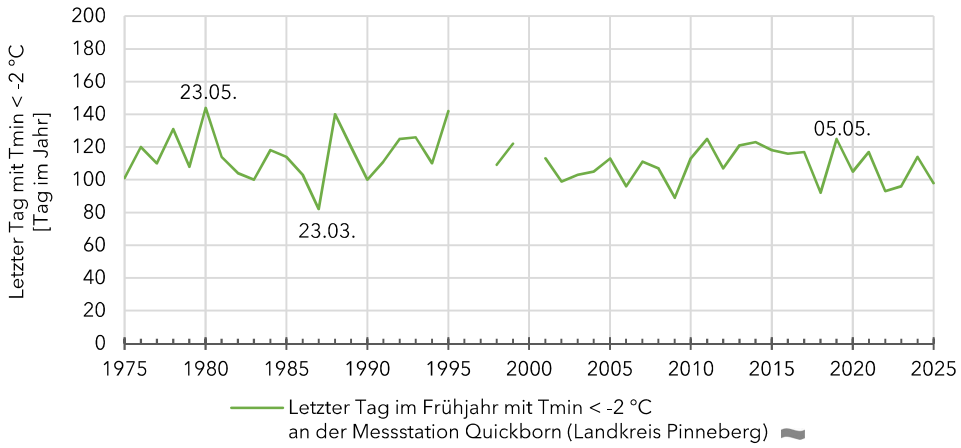
[308] Chmielewski 2007 zitiert in Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 218

[309] MFG Deutsche Saatgut GmbH: Soja – Standort- und Klimaansprüche. https://sojabohne.com/anbau/standort-und-klimaansprueche

[310] Fernández Collao E. 2021: Dormancy in temperate fruit trees - Perspectives for farming in a changing climate. Dissertation an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Bonn, 137 S. https://orcid.org/0000-0002-6949-9685

Frühling und damit auch der Fruchtbehang deutlich[311]. Dies könnte die Wirtschaftlichkeit des Apfelanbaus in Deutschland gefährden. Das erforderliche Andauern der Dormanz und die hierfür notwendigen tiefen Temperaturen („chilling temperatures", zwischen ca. 0 und 12 °C) sind je nach Pflanzenart unterschiedlich. Da in Deutschland die Erfüllung des Kältebedürfnisses von Obstbäumen in der Vergangenheit sehr viel weniger fraglich war als in wärmeren Anbaugebieten, gibt es hierzu noch vergleichsweise wenige Untersuchungen und wenige praxiserprobte Berechnungsmodelle[312].

Auch das zunehmende Auftreten von **Spätfrösten** kann für den Anbau von Obstkulturen existenziell werden, vor allem wenn sich Jahre mit gravierenden Spätfrösten häufen. Auch wenn die Zahl der Frosttage insgesamt sinkt, bedeutet dies nicht zwangsläufig eine Reduzierung der Spätfrostgefahr. Eine Auswertung von Temperaturdaten der DWD-Station Quickborn, die im Landkreis Pinneberg, dem Schwerpunktanbaugebiet von Obstbäumen in Schleswig-Holstein liegt, zeigt, dass der späteste Frosttag (mit < -2 °C) in den Jahren zu sehr unterschiedlichen Daten eintritt. Einen statistisch signifikanten Trend zeigt die Zeitreihe seit 1975 nicht. Im Vergleich zu den 1970er und 1980er Jahren gab es aber seit der Jahrtausendwende keinen Spätfrost nach dem 5. Mai (in 2011 und 2019) mehr (siehe Abbildung 60). Rasterwerte liegen beim DWD nur für die Anzahl der Frosttage vor. Da Spätfröste meist von den lokalen Bedingungen (auch der orographischen Situation abhängig sind, ist eine Betrachtung nur stationsbezogen sinnvoll.



Quelle: DWD (Temperaturmessungen), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 60: Spätester Eintritt von Frost (< -2 °C) an der DWD-Station Quickborn (Quelle: DWD, Auswertung Bosch & Partner GmbH)

Im Obstbau bedeuten Spätfrostschäden nicht nur unter Umständen einen Totalausfall der Ernte, sondern auch eine Reduzierung des Anteils gut zu vermarktender Tafelware. Spätfrostereignisse werden vor allem in Kombination mit einer erwärmungsbedingt früheren Pflanzenentwicklung zum Problem, weil der Frost dann auf schon weit entwickelte Pflanzen mit sehr empfindlichen Blüten- und Fruchtansätze treffen kann. Phänologische Daten zum Blühbeginn des Apfels zeigen zwar in der verfügbaren Zeitreihe ab 1992 keinen signifikanten Trend, aber im Vergleich des ersten mit dem letzten 10-Jahresmittels der Zeitreihe ergibt sich eine Verfrühung der Blüte um fünf Tage (siehe Abbildung 61). Mit Frostschutzberegnungsanlagen lassen sich große Schäden verhindern, aber diese erfordern hohe Investitionen und die Verfügbarkeit ausreichender Wassermengen, die möglicherweise nicht überall gegeben ist.

[311] Saure 1985 zitiert in Milyaev A., Tandron Moya Y.A., Born U., Lüdeling E., Flachowsky H., von Wirén N. 2024: Regulierung der Winterruhe bei Apfel im Klimawandel. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Regulierung der Winterruhe bei Apfel im Klimawandel. o.O.: S. 2 https://q-s.de/services/files/qs-wissenschaftsfonds/2024/abschlussberichte/Abschlussbericht_QS_21-02-2024_Milyaev.pdf

[312] Chmielewski F.-M., Blümel K., Henniges Y., Müller A. 2009: Klimawandel und Obstbau in Deutschland. KliO. Berlin, 237 S. Die Autorinnen und Autoren diskutieren unterschiedliche Modelle der Berechnung des Ruhezustands und zum Ende der Dormanz: S. 55 ff. https://edocs.tib.eu/files/e01fb10/634200941.pdf

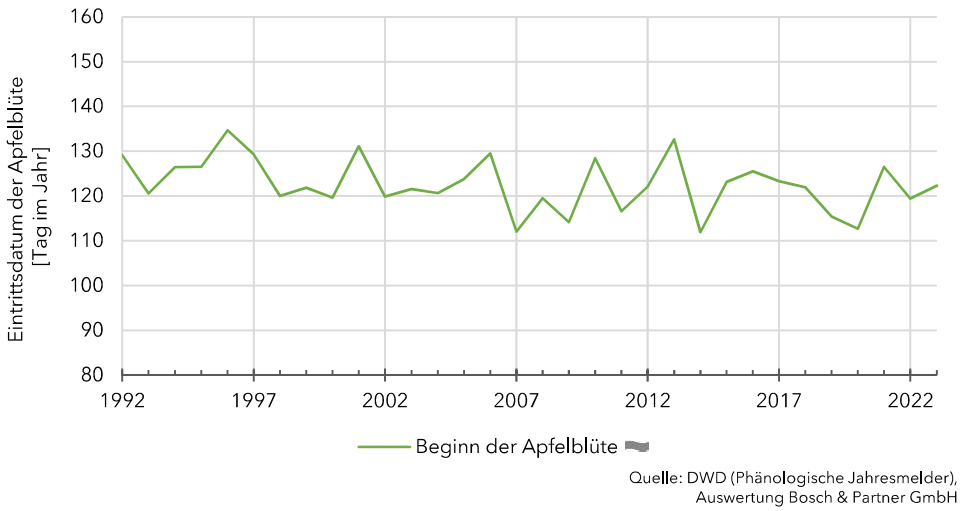


Abbildung 61: Beginn der Apfelblüte (Quelle: Klimaanalyse Schleswig-Holstein)

Brömser & Plückhahn (o. J.)[313] haben das Risko von Spätfrostschäden in Deutschland untersucht. Sie kommen zum Schluss, dass trotz der gestiegenen Mitteltemperaturen das Risiko für Schadfröste in empfindlichen Entwicklungsstadien zahlreicher Kulturpflanzen in weiten Teilen Deutschlands seit 1961 zugenommen hat. Die Auswertungen zu den Wahrscheinlichkeiten kritischer Lufttemperaturen nach dem Einsetzen der Obstblüte zeigen die Abbildung 62 und Abbildung 63. Als niedrigste Temperatur, die Obstarten 30 Minuten lang ohne Schaden aushalten können, gilt beispielsweise für den Blühbeginn des Apfels -2,2 °C, für die Vollblüte -1,7 °C, für den Blühbeginn der Süßkirsche und deren Vollblüte ebenfalls -1,7 °C[314]. Im bundesweiten Vergleich war die Spätfrostgefährdung in Schleswig-Holstein in den zurückliegenden 30 Jahren eher gering und bei der Kirsche stärker ausgeprägt als beim Apfel. Diese Auswertung trifft dennoch keine gesicherte Aussage zu tatsächlichen Spätfrostschäden, da die Mittelung über 30 Jahre das zeitliche Zusammentreffen später Fröste und verfrühter Blüten in einzelnen Jahren nicht abbilden kann.

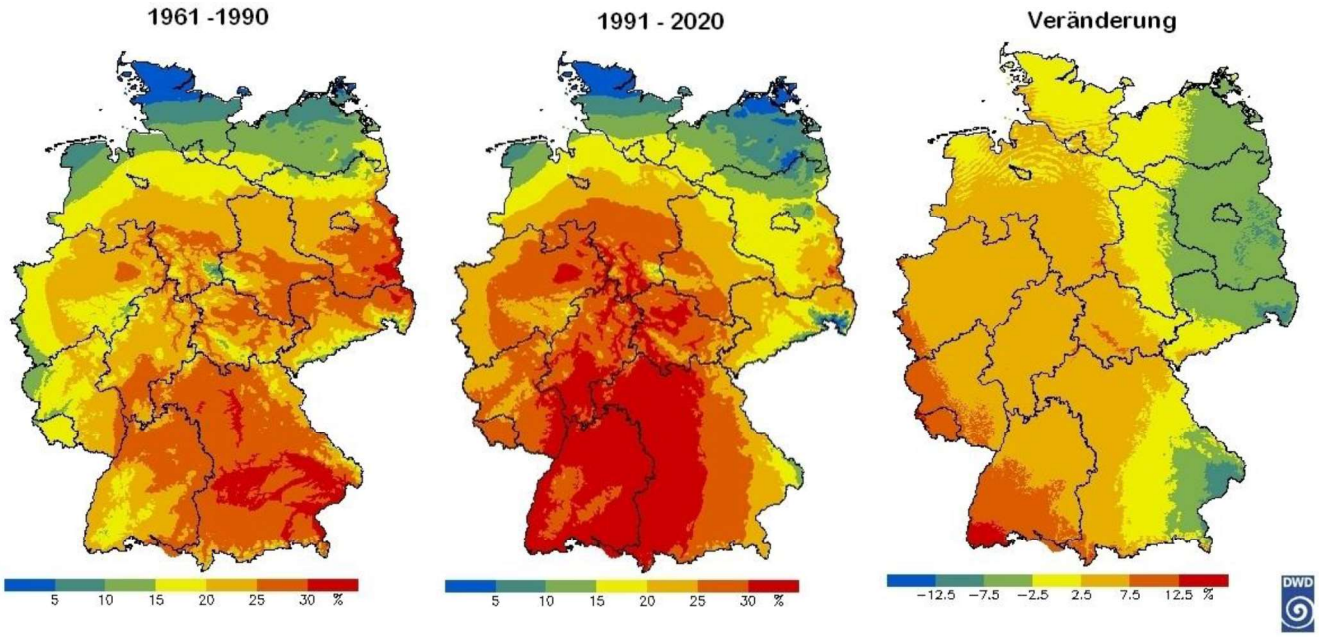


Abbildung 62: Wahrscheinlichkeit von Temperaturen < -2°C nach Beginn der Kirschblüte (Quelle: Brömser & Plückhahn o. J.[315])

[313] Brömser A. & Plückhahn B. o. J.: Globale Erwärmung – höheres Risiko für Spätfrostschäden? https://www.dwd.de/DE/leistungen/jahresberichte_dwd/jahresberichte/2023_05_ku_spaetfroeste.html?utm_source=copilot.com

[314] nach Michigan State University in Brömser & Plückhahn o. J., s. Fußnote 313

[315] Brömser & Plückhahn o. J., s. Fußnote 313

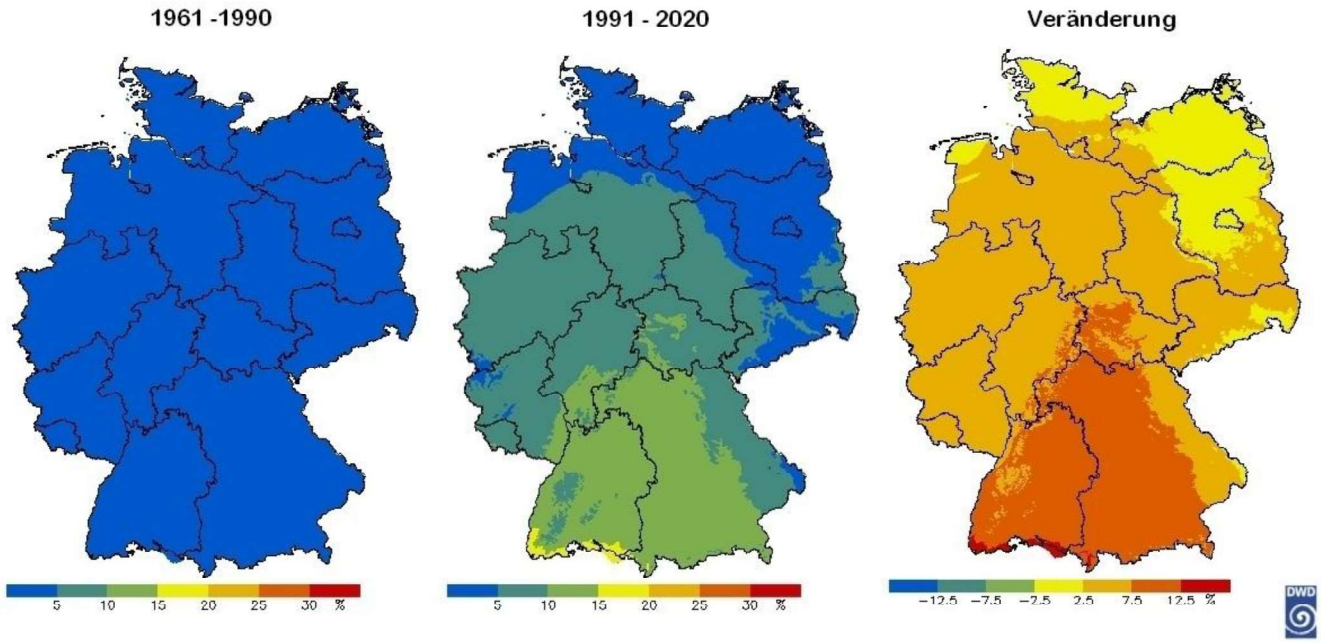


Abbildung 63: Wahrscheinlichkeit von Temperaturen < -2°C nach Beginn der Apfelblüte (Quelle: ebd.)

Mit weiter steigenden Temperaturen wird die Anzahl der Tage mit Frösten im April und Mai weiter sinken, gleichzeitig wird aber mit einer weiteren Verfrühung der Pflanzenentwicklung gerechnet. Allerdings ist diese Verschiebung in den frühen Frühling oder gar späten Winter nicht unbegrenzt möglich, da unter anderem Obstbäume Schutzmechanismus haben, die einen allzu frühen Austrieb (beispielsweise bereits im Januar) verhindern. Für das künftige Auftreten von Spätfrostschäden wird es entscheidend sein, in welcher Geschwindigkeit und in welchem Ausmaß jeweils die Temperaturen weiter steigen und sich empfindliche Entwicklungsstadien verfrühen. In verschiedenen Regionen von Schleswig-Holstein sind auch gegenläufige Trends möglich.

8.5.2.2 Exposition

Ackernutzung fand im Jahr 2025 auf 67,2 % der **landwirtschaftlich genutzten Fläche** in Schleswig-Holstein statt. Seit 2010 ist ein Rückgang der Ackernutzung zu verzeichnen: Wurden im Mittel der Jahre 2010–2014 noch 669.597 ha ackerbaulich genutzt, waren es im Mittel der Jahre 2021–2025 noch 654.300 ha, was einem Rückgang um 2,3 % entspricht (siehe Klimawirkung „Ertragseinbußen in der landwirtschaftlichen Produktion und bei Sonderkulturen“). Der Schwerpunkt der Ackernutzung befindet sich im Naturraum Hügelland im Osten Schleswig-Holsteins (siehe Abbildung 64).

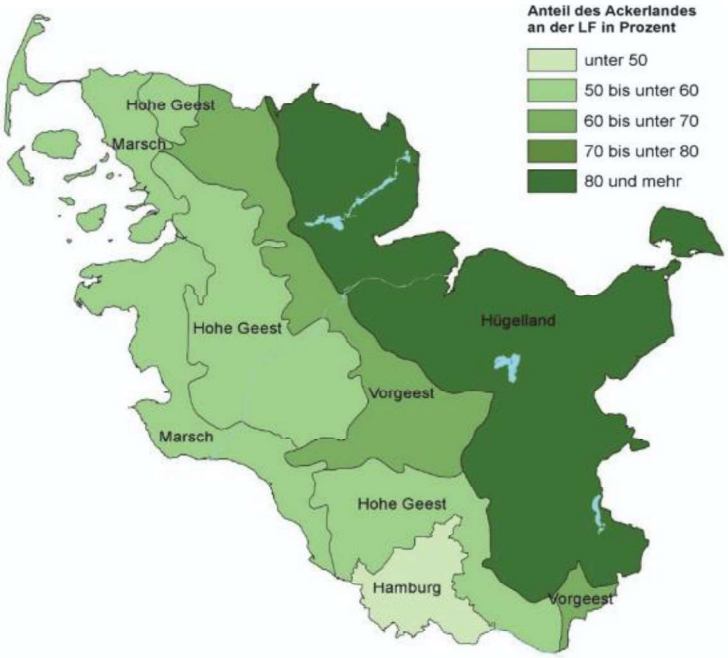


Abbildung 64: Räumliche Schwerpunkte des Ackerbaus im Jahr 2013 nach Naturräumen (Quelle: Statistik Nord 2016[316])

[316] Statistik Nord (Hrsg.) 2016: Kartenatlas zur Landwirtschaft in Hamburg und Schleswig-Holstein 2013 – Endgültige Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2013. Hamburg: S.12. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/landwirtschaft/C_IV_Teil_1_S_Bodennutzung_Agrarstruktur/Kartenatlas_ASE_2013_Teil_1.pdf

Die aktuellsten Daten von Statistik Nord zu den Obstanbauflächen in Schleswig-Holstein stammt aus dem Jahr 2022 und weist eine Fläche von 506 ha für die Produktion von Marktobst auf. Im Vergleich zur Vorerhebung aus dem Jahr 2017 bedeutet dies eine Flächenreduzierung um 122 ha (-19 %). Der Obstanbau in Schleswig-Holstein konzentriert sich besonders auf die Kreise Pinneberg (mit 270 ha entsprechend fast 54 % der gesamten Baumobstflächen), Steinburg (13 %) und Ostholstein (knapp 11 %).[317] Der Schwerpunkt der Obstproduktion liegt auf dem Apfel. Der Rückgang der Apfelanbaufläche belief sich zwischen 2017 und 2022 auf gut 18 % (390 ha in 2022 gegenüber 476 ha in 2017). Süßkirschen waren 2022 mit 60 ha die zweitwichtigste Obstart. Auf 900 ha Fläche wurde 2022 Beerenobst angebaut, mit einem Schwerpunkt auf Erdbeeren statt. Der Obstanbau ist – zumindest was die Anbaufläche betrifft – für Schleswig-Holstein von untergeordneter Bedeutung; er findet nur kleinräumig statt. Dennoch ist der Obstanbau wirtschaftlich und kulturell für das Land bedeutsam.

8.5.2.3 Sensitivität

Die **Anbaueignung** von Flächen wird – hier im Sinne der Sensitivität – in erheblichem Maße von den Bodenverhältnissen und vom Wasserhaushalt der Standorte bestimmt. Eine gesicherte Wasserversorgung ist Bedingung für die Erhaltung der bestehenden und die Etablierung und weitere Ausdehnung des Anbaus von wärmeliebenden Arten, auch wenn es unter den Letzteren Arten und Sorten gibt, die gegenüber Trockenheit weniger empfindlich sind. Die nutzbare Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum ist vor allem in den zentralen Landesteilen, dem Hügelland der Geest und Vorgeest gering (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden"). Hier sind aber die Anteile des Ackerlands an der landwirtschaftlich genutzten Fläche heute vergleichsweise gering (siehe Abbildung 64). Zeitlich hochaufgelöste Messungen zu den Bodenwassergehalten wurden erst im Jahr 2017 an zwei Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen aufgenommen. Modellierte Daten des Bodenfeuchte-Viewers des DWD zeigen in den zurückliegenden 60 Jahren für die Böden Schleswig-Holsteins im 31-jährigen gleitenden Mittel eine steigende Zahl von Trockentagen (Tage unter 30 % nFK, siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator BO-I-1), woraus sich eine tendenziell steigende Sensitivität ableiten lässt.

Neben der Wasserknappheit spielt mit Blick auf die Entwicklung der landwirtschaftlich und gärtnerisch kultivierten Flächen in Schleswig-Holstein und deren Sensitivität auch der Meeresspiegelanstieg eine wesentliche Rolle. In Schleswig-Holstein liegen in etwa 20 % der gesamten Landesfläche unterhalb des Meeresspiegels (Normalhöhennull). Diese Niederungsgebiete werden größtenteils aktiv über Schöpfwerke und Siele entwässert (siehe Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten"). Infolge des ansteigenden Meeresspiegels der Nord- und Ostsee und der zunehmenden Niederschlagsmengen insbesondere im Winter (siehe Klimaanalyse, Abbildung 12) wird die Entwässerung zunehmend erschwert. Erhebliche Flächenanteile der Niederungen werden landwirtschaftlich genutzt und stellen für die Betriebe einen erheblichen Vermögenswert dar. Der Meeresspiegelanstieg wird in Zukunft Einfluss auf die landwirtschaftliche und gärtnerische Anbaueignung von Flächen haben.

Sowohl für den Ackerbau als auch den Obstbau ist die örtliche Schaderregerlast ein wesentliches Kriterium für Anbauentscheidungen. Der Obstanbau in Schleswig-Holstein folgt hauptsächlich den Gesundungslagen, also Gebieten, die eine geringe Schaderreger- und Infektionslast aufweisen. Letztendlich spielt die Schaderreger- und Infektionslast sogar eine größere Rolle als die klimatischen Bedingungen. Auch im Ackerbau kann der Druck durch Schaderreger eine Rolle für die Fruchtfolgegestaltung spielen. So ist beispielsweise der Schädlingsdruck im Raps im südlichen und östlichen Schleswig-Holstein sehr hoch und hat hier allmählich Auswirkungen auf die Einbindung von Raps in die Fruchtfolge. Es kommt aber bisher nicht dazu, dass aufgrund von hohem Schädlingsdruck ganze Regionen für den Anbau bestimmter Fruchtarten oder gar den Ackerbau gemieden werden.

Das bundeseigene Julius-Kühn-Institut (JKI) kartiert die Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands[318]. Demnach besteht für die Zuckerrübe im Süden Schleswig-Holsteins eine besondere Gefährdung für Befall mit Echtem Mehltau, im Norden mit dem Falschen Mehltau. Für Mehltaubefall ist im Norden auch der Winterweizen besonders stark gefährdet, der Mehltau an der Wintergerste ist in ganz Norddeutschland stark verbreitet. Echter Mehltau (wie *Blumeria graminis*) bevorzugt milde Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit; warme Tage und feuchte Nächte fördern also Infektionen. Blattdürre beim Weizen (durch den Schlauchpilz *Pyrenophora triticirepentis* verursacht) tritt vor allem in den östlichen und westlichen Landesteilen auf. Gegenüber Gelbrost (*Puccinia striiformis*) am Winterweizen ist Schleswig-Holstein im

[317] Statistikamt Nord (Hrsg.) 2022: Flächen der Obstanlagen und Obstbaumbestände in Schleswig-Holstein 2022. Statistische Berichte C I 8 - 5 j / 22 SH. Hamburg, 36 S.
https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/landwirtschaft/C_I_8_5j_S/C_I_8_j5j22_SH.pdf

[318] Julius-Kühn-Institut: Geoportal. Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands:
https://geoportal.julius-kuehn.de/#/map/public/5e1f04bfe9208e35a71e24a8

deutschlandweiten Vergleich eher stärker gefährdet, weil der Pilz feucht-kühles Klima und Temperaturen zwischen 10 und 15 °C bevorzugt (mit Hitze kommt er hingegen weniger gut zurecht[319]). Der parasitäre Halmbruch (*Pseudocercosporella herpotrichoides*) ist eine bedeutende Erkrankung unter anderem im Weizen und kommt vor allem in Gebieten mit milder Winter- und kühler Frühjahrswitterung vor. Schleswig-Holstein ist überwiegend stark bis sehr stark gefährdet. Für die Kartoffel stellen gemäß den Darstellungen des JKI der Kartoffelkrebs sowie die Kraut- und Knollenfäule fast überall eine starke bis sehr starke Gefährdung dar. Der Kartoffelkrebs wird durch den Quarantäneschädling *Synchytrium endobioticum*, einen Pilz verursacht, der feuchte, nicht zu heiße Witterung bevorzugt[320]. Die Kraut- und Knollenfäule (auch Kartoffelmehltau, *Phytophthora infestans*) ist weltweit die mit Abstand bedeutendste Kartoffelkrankheit. Die Sporen bilden sich bei hoher Bodenfeuchte auf den Knollen und werden mit dem Bodenwasser verteilt. Zudem spielt die Übertragung durch den Wind eine Rolle. Bei trockenerer Frühjahrswitterung sinkt das Risiko des Primärbefalls. Die Darstellungen des JKI machen deutlich, dass keinesfalls alle der im Ackerbau Schleswig-Holsteins verbreiteten Schaderreger von den Bedingungen des Klimawandels profitieren. Befall und Schaderregervermehrung werden je nach Art von unterschiedlichen Witterungskonstellationen begünstigt, die von Jahr zu Jahr auch große Unterschiede aufweisen können und sich für die Zukunft auch nur schwer projizieren lassen. Derzeit sind in Schleswig-Holstein besonders solche Schaderregerarten verbreitet, die eher kühle und feuchtere Bedingungen bevorzugen. Vor allem steigende Temperaturen könnten die Bedingungen verschlechtern. Grundsätzlich gilt, dass durch ungünstige Witterungsbedingungen (länger anhaltende Trockenperioden) geschwächte Pflanzen oder auch durch Extremereignisse (Sturm, Starkniederschlag) verletzte Pflanzen besonders anfällig für Schaderregerbefall sind.

Im Apfelanbau in Schleswig-Holstein ist der Apfelschorf nach wie vor die wichtigste Pilzkrankheit. Die Infektionsbiologie des Pilzes (*Venturia inaequalis*) hat sich im Laufe der Evolution eng an die phänologische Entwicklung seiner Wirtspflanze angepasst. Der Ausstoß und damit die Verbreitung der Pilzsporen findet zwischen Knospenaufbruchs und Blühbeginn statt. Durch die Verfrühung der phänologischen Entwicklung verlängert sich – den Beobachtungen zufolge – dieses Zeitfenster, das die für die Infektion kritische Phase darstellt. Untersuchungen im niedersächsischen Obstbauzentrum Esteburg haben zudem gezeigt, dass der Schorfpilz gut mit der sich stark verfrühenden Entwicklung des Apfels Schritt halten kann, die Entwicklung des Apfels sogar überholt hat. Aus diesen Entwicklungen folgt eine tendenziell länger werdende Sporensaison und damit ein höheres Infektionsrisiko.[321] Da unter den in Schleswig-Holstein vorwiegend kultivierten Apfelsorten auch besonders schorfempfindliche Sorten (wie der Braeburn) sind, ist die Entwicklung der Apfelschorfverbreitung ein wichtiges Kriterium für die Anbaueignung. Dies gilt in besonderer Weise für den ökologischen Obstanbau, der nur eingeschränkte Möglichkeiten für die Schädlingsbekämpfung hat. Wichtige weitere Schädlinge im Apfel sind der Fruchtschalenwickler, die Mehlige Apfelblattlaus, die Apfelsägewespe, Blutläuse und in zunehmendem Maße auch der Apfelwickler. Grundsätzlich profitieren Schadinsekten nachweislich von einer längeren und wärmeren Vegetationsperiode.[322]

Generell haben schon lange im Land kultivierte Arten gegenüber den heimischen Schädlingen bzw. Krankheiten eine gewisse Widerstandsfähigkeit entwickelt. Im Gegensatz dazu gibt es gegenüber neu einwandernden Organismen oft keine natürliche Abwehr, was für die Bestände katastrophale Folgen haben kann. Die Schaderreger können sich dann in einer solchen Umgebung schnell ausbreiten.[323] Zu den im Kartoffelanbau neu auftretenden Schaderregern gehören die Kartoffelzystennematoden, die ursprünglich aus Südamerika stammen und wahrscheinlich Mitte des 19. Jahrhunderts mit Kartoffeleinfuhren nach Europa gelangt sind. Sie sind die wirtschaftlich bedeutendsten tierischen Schädlinge an Kartoffeln. Die Wurzelgallennematoden überwintern als Ei oder Larve in Pflanzenresten und im Boden. Ab Temperaturen von 10° C können sie Pflanzenwurzeln infizieren, die dann zu einer Galle anschwellen, in denen sich dann die Eier entwickeln[324]. Die Weiße Kartoffelnematode (*Globodera pallida*) wurde in Schleswig-Holstein erstmalig im März 2024 auf einem Acker nachgewiesen. Der erste Fund der Goldenen Kartoffelnematode (*Globodera rostochiensis*) stammt vom März 2021. Beide Schaderreger sind als Unionsquarantäneschädlinge gelistet und unterliegen damit gesetzlichen Regelungen, um ihre Einschleppung und Ausbreitung in die bzw. in den EU-Mitgliedsstaaten zu verhindern[325].

---

[319] Limagrain GmbH: Gelbrost. https://www.lgseeds.de/weizen/schaedlinge-krankheiten/gelbrost

[320] LTZ Augustenberg: Kartoffelkrebs. https://ltz.landwirtschaft-bw.de/,Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Kartoffelkrebs

[321] Weber W.S.R. & Heyne P. 2024: Auswirkungen des Klimawandels auf den Apfelschorf (*Venturia inaequalis*). Öko-Obstbau 2 | 2024. https://www.foeko.de/wp-content/uploads/2024/07/2-2024-Kernobst-Auswirkungen-des-Klimawandels.pdf

[322] Weber & Heyne 2024, s. Fußnote 321

[323] EFSA: Invasive gebietsfremde Arten. https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/invasive-alien-species

[324] BLE: Nematoden als Kartoffelparasiten. https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/oekologischer-pflanzenschutz/pflanzendoktor/schaderreger/schaderreger-im-ackerbau/nematoden-als-kartoffelparasiten

[325] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH: Kartoffelzystennematoden. https://www.ages.at/pflanze/pflanzengesundheit/schaderreger-von-a-bis-z/kartoffelzystennematoden

Auch im Obstbau treten bisher nicht gekannte Schaderreger in Schleswig-Holstein auf. So kam es 2008 auf der Insel Fehmarn erstmalig zu einem Ausbruch des Rundköpfigen Apfelbaumbohrers (*Saperda candida*). Es handelt sich um einen Bockkäfer, der in den USA und Kanada gefürchtet ist und ganze Apfelplantagen vernichten kann. Der Quarantäneschädling befällt aber auch andere Obstbäume sowie Mehlbeere und Weißdorn. Es wurden umgehend Tilgungs- und Überwachungsmaßnahmen auf Fehmarn ergriffen. Allerdings wurden auch 2024 weitere Larven gefunden.[326]. Seit 2019 ist der Schaderreger als Quarantäneschädling in der EU gelistet. Ein unmittelbarer Zusammenhang des Befalls mit dem Klimawandel wird in der Literatur nicht beschrieben.

8.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

8.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Die Verschiebung landwirtschaftliche Anbaugebiete wird im weltweiten und deutschlandweiten Maßstab beobachtet. Die Literaturanalysen im Rahmen der bundesweiten Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 ergaben, dass sich die Areale und Anbaugebiete zunehmend in höhere Breitengrade verschieben:

- Verschiebung der Anbaugebiete um 100–150 km nordwärts pro ein Grad Celsius Temperaturerwärmung (Gitay et al. 2002, Schaller et al. 2007[327]),
- bereits beobachtete Verschiebung der Vegetationszonen in Richtung der Pole um 6,1 km pro Dekade (Parmesan & Yohe 2003),
- Verschiebung globaler wie regionaler Klimazonen sowie Ausbreitung wärmeliebender Arten in höhere Breitengrade (Jia et al. 2019),
- bereits beobachtete Arealverschiebungen in der deutschen Landwirtschaft (Metzing 2016).

Für die lokal sich vollziehenden Verschiebungen spielen kleinräumige Klimaverhältnisse und die Wasserverfügbarkeit eine wichtige Rolle.

Zur Ausweitung der Anbaufläche wärmeliebender Ackerkulturen wie (Körner-)mais, Sonnenblume, Sojabohne oder auch Hartweizen (Durum) liefert die Agrarstatistik in Schleswig-Holstein bisher nur ein beschränktes Datenangebot. Die Anbauflächen von Sonnenblume, Sojabohne und Durum werden in Schleswig-Holstein aufgrund ihres noch sehr begrenzten Flächenumfangs nicht erfasst. Lediglich zum Maisanbau stehen Daten für die zurückliegenden 15 Jahre zur Verfügung (siehe Abbildung 65).

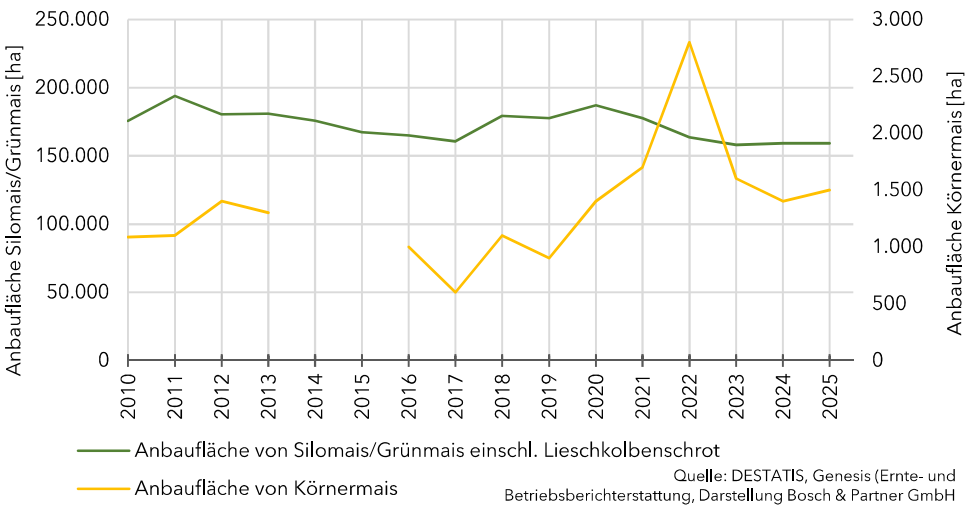


Abbildung 65: Entwicklung der Maisanbaufläche in Schleswig-Holstein

Während die Anbaufläche von Silo- und Grünmais seit 2010 eher im Rückgang begriffen ist (der Silomais behauptet aber nach wie vor seine Position als flächenstärkste Ackerkultur in Schleswig-Holstein), hat sich die Anbaufläche für den besonders wärmeliebenden Körnermais erhöht. Sie ist aber insgesamt in Schleswig-Holstein noch sehr gering und betrug 2025

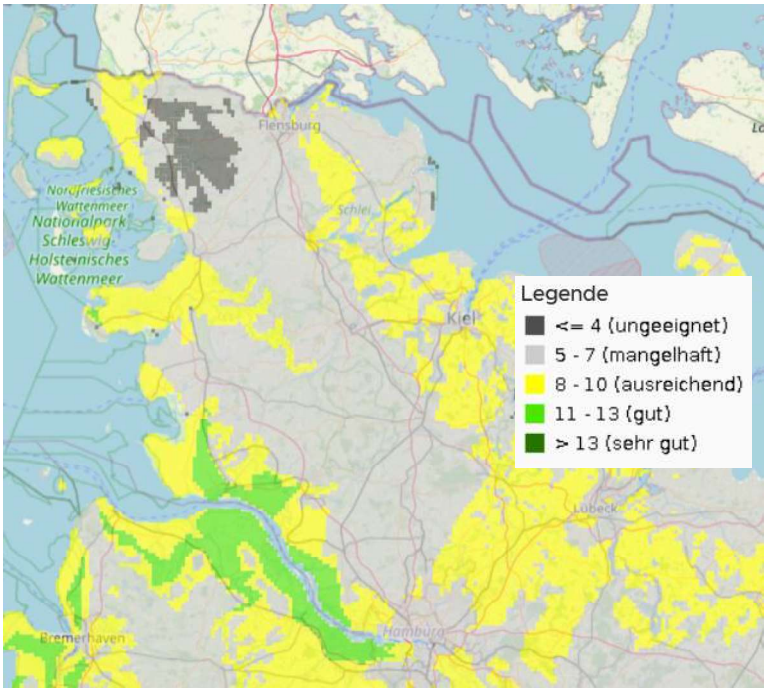
[326] Informationen der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein zum Auftreten von *Saperda candida*: https://www.lksh.de/aktuelles/nachrichten/news/artikel/show/weitere-rode-massnahmen-auf-fehmarn

[327] Alle zitierten Autoren in Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 220 ff.

nur 0,52 % der gesamten Anbaufläche von Getreide zur Körnergewinnung. Der Körnermaisanbau konzentriert sich aktuell auf die südöstlichen Landesteile. Körnermais braucht zum Ausreifen eine vergleichsweise hohe Wärmesummen und kann erst ab einem Trockensubstanzgehalt des Korns von über 60 % geerntet werden. Eine längere Vegetationsperiode, höheren Wärmesummen und vor allem ein trockener und warmer Herbst (September und Oktober) verbessern die Bedingungen für das Ausreifen. Die bisherige Zeitreihe lässt sich allerdings nur schwer interpretieren, da Datenlücken vorhanden und die Schwankungen zwischen den Jahren groß sind. Möglicherweise lässt sich die Ausweitung des Maisanbaus vor allem zwischen 2017 und 2022 auf die bereits günstigeren klimatischen Bedingungen zurückzuführen. Neben dem Klima sind gerade beim Körnermais auch Markteffekte anbaubestimmend.

Auch für den Silomaissorten sind die Bedingungen für ein sicheres Abreifen in Schleswig-Holstein nicht überall gegeben. Für die nördlichen Landesteile werden frühreifende Sorten empfohlen, während im Süden Schleswig-Holsteins und an besonders warmen Standorte im Norden auch Sorten aus dem mittelfrühen Sortiment kultiviert werden können[328]. Analysen zur Ertragsentwicklung beim Silomais haben gezeigt, dass die höchsten durchschnittlichen Erträge (im Zeitraum 2003–2023) in der Marsch und im östlichen Hügelland erzielt wurden. Im Bereich der Hohe Geest und Vorgeest fielen die Erträge etwas niedriger aus. Insgesamt zeigte sich Silomais aber in den zurückliegenden 20 Jahren relativ stabil in den Erträgen.[329]

Zum Anbau der ebenfalls stark wärmeliebenden Sojabohnen stehen für Schleswig-Holstein noch keine statistischen Daten zu Anbauflächen zur Verfügung. Vom Fachbereich Agrarwirtschaft der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Kiel werden seit mehreren Jahren Sojabohnensorten auf dem Versuchsfeld Lindenhof kultiviert[330]. Die Fachleute gehen aber davon aus, dass es noch mindestens 10 Jahre dauern wird, bis mit konventionellen Methoden ein angemessener Ertrag in Schleswig-Holstein zu erreichen ist. Als kritischer Schwellenwert gilt die Bodentemperatur, denn Sojabohnen brauchen zur Keimung einen mindestens zehn Grad warmen Boden, weshalb sich Soja im Norden gegenwärtig erst frühestens Anfang Mai aussäen lässt. Bei einer späten Mai-Saat sind günstige Witterungsbedingungen erforderlich, damit die Wärmesumme bis zur Druschreife hoch genug ist und das Ausreifen ermöglicht.



Rossberg & Recknagel (2017) haben die bundesweite Anbaubedingungen für die besonders wärmebedürftige Sojabohne untersucht und bewertet. Als wesentlichsten Einflussfaktoren für die Eignungsbewertung wurden das Wärme-, Wasser- und Lichtangebot sowie die Bodenqualität einbezogen. Für die Ermittlung der Wärmesumme wurden rasterbasierten Klimadaten des DWD (tagesbezogene Mittelwerte) für die Jahre 1981–2010 herangezogen.[331] Das bedeutet, die starke Erwärmungstendenz nach 2010 ist in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Hinweis: Die Kennziffer Anbaueignung der Legende ergibt sich aus der Verrechnung der obengenannten Einflussfaktoren. Es handelt sich um eine dimensionslose Größe.

Abbildung 66: Anbaueignung für Sojabohnen (Quelle: Julius-Kühn-Institut[332])

[328] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein: Silomais-Sortenempfehlung für Schleswig-Holstein 2025. https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/Versuchsfilter/Mais/Silomais_Sortenempfehlung__2025.pdf

[329] Fohrer et al. 2025, s. Fußnote 268: S. 14

[330] HAW Kiel: Die Wärme lockt die Sojabohne. https://www.haw-kiel.de/news/die-waerme-lockt-die-sojabohne/

[331] Rossberg D. & Recknagel J. 2017: Untersuchungen zur Anbaueignung von Sojabohnen in Deutschland Journal für Kulturpflanzen, 69 (4), S. 137-145. https://ojs.openagrar.de/volltexte/Kulturpflanzenjournal/2017/Heft04/XML/Webdaten/02_jfk_2017_04_rossberg_and_recknagel/jfk_2017_04_rossberg_and_recknagel.html

[332] Geoportal des JKI – Anbaueignung für Sojabohnen: https://geoportal.julius-kuehn.de/#/map/public/5e1f0476e9208e35a71e24a7

Im Ergebnis der Untersuchungen ist eine deutschlandweite Karte zur Anbaueignung für Soja entstanden. Für Schleswig-Holstein zeigt die Karte, dass die Bedingungen in größeren Landesteilen bereits für den Sojaanbau als ausreichend betrachtet werden (siehe Abbildung 66). Es können in den gelb markierten Bereichen aber nur die sehr frühreifen Sorten kultiviert werden. In den hellgrau gekennzeichneten Bereichen ist der Anbau riskant. Hier entscheiden die mikroklimatischen Verhältnisse, ob ein Anbau (der frühesten frühreifen Sorten oder extrem frühreifer, dann aber ertragsschwacher Sorten) überhaupt möglich ist. Die dunkelgrau markierten Gebiete gelten für den Anbau von Sojabohnen als absolut ungeeignet. Als gut werden lediglich die Anbaubedingungen im wärmebegünstigten Elbtal bewertet. Sehr gut sind die Bedingungen im Norden nirgends.

Zur Entwicklung der Anbaufläche wärmeliebender Obstbaumarten und -sorten liefert die Erntestatistik keine Daten. Hinweise, dass die Anbauflächen der bisher hauptsächlich kultivierten Sorten „Elstar", „Braeburn", „Boskoop/Roter Boskoop" und „Holsteiner Cox" eher zurückgehen, während sich neuere Sorten wie „Diwa/Junami", „Topaz" und „Wellant" steigender Beliebtheit erfreuen und Flächenzuwächse verzeichnen[333], sind im Hinblick auf Klimawandelfolgen nicht interpretierbar. Die Kultivierung wärmliebender Obstarten wie von Aprikosen hält inzwischen auch Einzug in Schleswig-Holstein. So wird berichtet, dass im Sommer 2025 bereits drei Betriebe in Schleswig-Holstein Aprikosen anbauen[334].

8.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Wahl und Abgrenzung der Anbaugebiete für Kulturpflanzen sind von einer Vielzahl von Umweltfaktoren bestimmt, die in komplexer Weise zusammenwirken. Die Bedingungen lassen sich bisher nicht mit hinreichender Sicherheit projizieren. Es kommt hinzu, dass die Ausdehnung der Anbaugebiete stark von rechtlichen, politischen und marktwirtschaftlichen Bedingungen (hierzu gehört unter anderem auch die Nähe von Verarbeitungsbetrieben) abhängig ist[335]. Auch die Sortenverfügbarkeit, die Zugriffsmöglichkeiten auf geeignete Pflanzenschutzmittel und möglicherweise auch auf Bewässerungswasser spielen eine wichtige Rolle. Vor dem Hintergrund einer kaum vorhersagbaren Entwicklung der genannten Faktoren wurde auch in der KWRA 2021 schlussgefolgert, dass Aussagen zur Ausbreitung einzelner Kulturpflanzen bis zur Mitte oder zum Ende des Jahrhunderts kaum möglich sind. Generell ist davon auszugehen, dass sich die Verschiebung von Vegetationszonen als Folge des Klimawandels in Zukunft weiter fortsetzen wird[336]. Höhere Temperaturen können den Anbau bisher nicht angebauten Kulturpflanzen und neuer Sorten im Ackerbau und Obstbau befördern. Besonders wärmeliebende Kulturpflanzen wie Soja und Mais könnten ihr Anbaugebiet ausweiten. Allerdings wird die Wasserverfügbarkeit dabei eine entscheidende Rolle spielen. In Gebiete mit sandigen und nährstoffarmen Böden, die geringe Wasserhaltekapazitäten haben (siehe Klimawirkung „Wassermangel im Boden"), wird die Wasserversorgung ein begrenzender Faktor sein. Diese Limitierungen betreffen in besonderer Weise die Geest, die Vorgeest und die zentralen Landesteile Schleswig-Holsteins (wo allerdings schon heute der Anteil ackerbaulich genutzter Flächen geringer ist, siehe Abbildung 64). Da sich auch wärmeliebende Beikräuter und Schaderreger weiter ausbreiten können, werden auch diese Entwicklungen Erfolg oder Misserfolg des Anbaus landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen in den bestehenden und möglicherweise auch neu erschlossenen Anbaugebieten erheblich mitbestimmen.

Sollte es in Zukunft zu Verschiebungen von Anbaugebieten oder auch zum flächenrelevanten Anbau bisher nicht kultivierter Fruchtarten (wie beispielsweise Soja) kommen, ist bei der Interpretation mit Blick auf Klimawandelfolgen stets zu berücksichtigen, dass diese Entwicklungen stark von Fördermaßnahmen getrieben sein können. So führte beispielsweise in der Vergangenheit die Subventionierung der Biogasproduktion im Zuge des Erneuerbare-Energien-Gesetzes zu einem deutlichen Anwachsen der Maisanbaufläche[337]. Mit der Eiweißpflanzenstrategie fördert das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) seit 2012 neben der Forschung auch den praktischen heimischen Anbau und die Verwertung von Hülsenfrüchten als pflanzliche Proteinquellen und unterstützt damit auch den Sojaanbau. Diese Förderung treibt auch die Sortenentwicklung voran und erweitert die Verfügbarkeit von Saatgut, das an die hiesigen Klimabedingungen besser angepasst ist.

---

[333] Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein: Baumobstanbau in Schleswig-Holstein 2022. https://www.lksh.de/aktuelles/nachrichten/news/artikel/show/baumobstanbau-in-schleswig-holstein-2022

[334] NDR: Quinoa und Aprikosen: Der Klimawandel und neue Pflanzen in SH. https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/quinoa-und-aprikosen-der-klimawandel-und-neue-pflanzen-in-sh,pflanzenklimawandel-100.html

[335] Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 221

[336] Hickler 2016 in Fußnote 335: S. 221

[337] Gömann et al. 2015 in Fußnote 335: S. 220

Nicht zuletzt wird auch der fortgesetzt Meeresspiegelanstieg Bedeutung für die Lokalisierung landwirtschaftlicher Anbaugebiete haben. So haben Fohrer et al. (2025[338]) im Rahmen des Projekts „Klimaangepasste Landwirtschaft in Schleswig-Holstein" des MLLEV ein Gutachten erstellt, das unter anderem eine Simulation des Meeresspiegelanstiegs für die Küsten Schleswig-Holsteins beinhaltet. Zugrunde gelegt wird das RCP8.5 Szenario, zeitlich richtet sich die Projektion auf die Jahre 2071–2100. Die Berechnungen erfolgten mithilfe eines digitalen Geländemodells (DGM 2024).

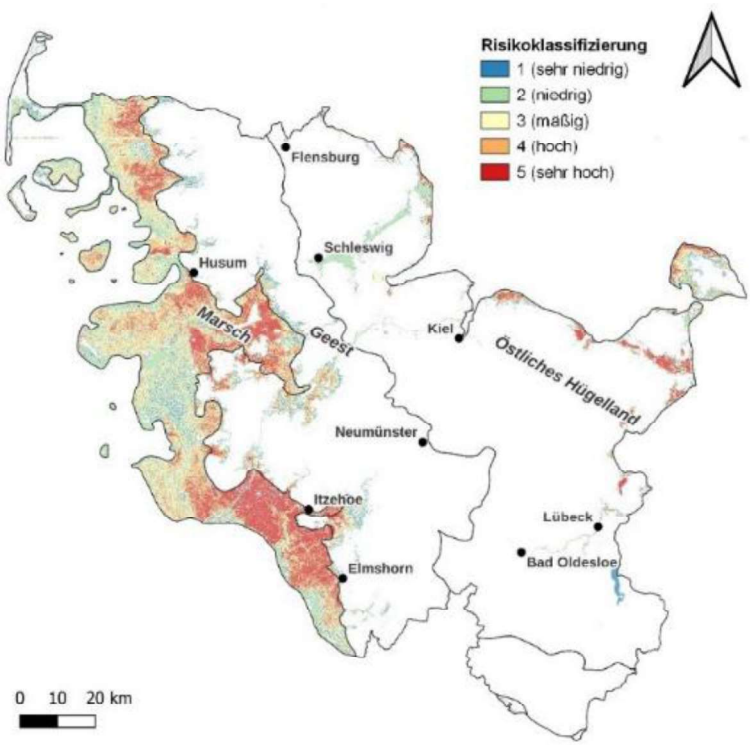


Abbildung 67: Simulation des Meeresspiegelanstiegs (Quelle: Fohrer et al. 2025[339])

Klasse 1: 1,6–2,0 m ü. NN – Regionen, die erst bei einem maximalen Anstieg des Meeresspiegels bis 2100 eine potenzielle Gefährdung

Klasse 2: 1,2–1,6 m ü. NN – Gebiete, die bei einem hohen Meeresspiegelanstieg erst spät von Überflutungen betroffen sein werden

Klasse 3: 0,8–1,2 m ü. NN – Flächen, die bei einem signifikanten Anstieg betroffen sein könnten, aber mit Verzögerung

Klasse 4: 0,4–0,8 m ü. NN – Regionen, die bei einem moderaten Anstieg des Meeresspiegels erheblich gefährdet sind

Klasse 5: 0,0–0,4 m ü. NN – Gebiete, die bei einem minimalen Anstieg des Meeresspiegels stark gefährdet sind

Den Untersuchungen zufolge erstrecken sich die am stärksten vom Anstieg des Meeresspiegels betroffenen Gebiete hauptsächlich entlang der westlichen Küste Schleswig-Holsteins in den Marschlandschaften (siehe Abbildung 67). Diese tief liegenden Küstenregionen wurden historisch für Zwecke der landwirtschaftlichen Nutzung eingedeicht. Geringer betroffen sind Gebiete in der Nähe von Lübeck und im östlichen Hügelland. Im Falle eines Meeresspiegelanstiegs von 2 m (entsprechend dem Worst-Case-Szenario für das Jahr 2100) würden ausgedehnte heute landwirtschaftlich genutzte Flächen unter dem Meeresspiegel liegen. Um diese Gebiete vor Überflutung zu schützen, müssten aufwändige Küstenschutzmaßnahmen durchgeführt werden, die jedoch an ihre technischen und wirtschaftlichen Grenzen stoßen werden. Hinzu kommt, dass die Entwässerung der betroffenen Gebiete bei steigendem Meeresspiegel erschwert, bei extremen Hochwassersituationen sogar über längere Zeit unterbunden sein wird. Die erforderlichen Anpassungsbedarfe in den Niederungen stellen die Landwirtschaftsbetriebe vor erhebliche betriebliche Herausforderungen, denn Pacht oder Zukauf landwirtschaftlicher Flächen außerhalb der Niederungen werden infolge (weiter) steigender Bodenmarktpreise oder mangels Verfügbarkeit immer schwieriger. Es wird daher nur sehr begrenzt möglich sein, auf höher gelegene Flächen auszuweichen. Als weiteres Problem wird gesehen, dass infolge der Abnahme der Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe die Beiträge der verbleibenden Betriebe an die Wasserbeschaffungsverbände (WBV), die neben der Gewässerunterhaltung und für den Betrieb der Schöpfwerke zuständig sind, steigen werden. Möglicherweise wird damit die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Betriebe überfordert und landwirtschaftlich genutzte Flächen in den Niederungen werden aufgegeben.[340]

[338] Fohrer et al. 268, s. Fußnote : S. 18

[339] Fohrer et al. 268, s. Fußnote : S. 18

[340] MEKUN (Hrsg.) 2024: Zukunft Niederungen - Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100. Kiel: S. 29–30 https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen/downloads/Strategiepapier_Niederungen_Dez.2024.pdf

9 Klimarisikoanalyse im Handlungsfeld Forstwirtschaft

9.1 Relevanz des Handlungsfelds

Der Wald erfüllt vielfältige wirtschaftliche, soziale und ökologische Funktionen. Er liefert den Rohstoff Holz und ist bundesweit die Basis für über 1 Millionen Arbeitsplätze in der Forst- und Holzwirtschaft. Das Cluster „Forst und Holz", zu dem unter anderem die Forstwirtschaft, das holzverarbeitende Gewerbe und die Papierwirtschaft zählen, setzt jährlich über 180 Milliarden Euro um und erzeugte im Jahr 2017 eine Bruttowertschöpfung von mehr als 57 Milliarden Euro.[341] Der Anteil der Forstwirtschaft selbst an dieser Bruttowertschöpfung lag bei rund sechs Prozent. Damit hat die holzbasierte Wertschöpfung einen Anteil von circa zwei Prozent am Bruttoinlandsprodukt der deutschen Volkswirtschaft. Rund zwei Drittel der Bevölkerung nutzen den Wald für Freizeit und Erholung.[342] Außerdem ist der Wald Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten. Die Erhaltung des Waldes und seiner verschiedenen Funktionen ist in Deutschland durch das Bundeswaldgesetz und in Schleswig-Holstein im Landeswaldgesetz gesetzlich verankert.

Die letzte Waldinventur aus dem Jahr 2022 ergab, dass es in Schleswig-Holstein rund 182.500 Hektar Wald gibt, was in etwa 11,5 % der Landesfläche entspricht[343]. Schleswig-Holstein ist damit im Bundesvergleich das Flächenland mit dem geringsten Waldanteil. Gerade deshalb sind die Erhaltung und möglichst auch Mehrung der Wälder sowie die Sicherung ihrer Stabilität und Funktionalität von großer Bedeutung. Gleichzeitig nimmt das Land aber auf der Rangliste der laubwaldreichsten Bundesländer Deutschlands den zweiten Platz ein und sieht sich damit unter den Bedingungen des Klimawandels in einer günstigeren Ausgangssituation als viele andere Flächenländer, in denen vor allem die besonders vulnerable Fichte nach wie vor hohe Anteile an der Bestockung hat. Für den Staatswald sind die Schleswig-Holsteinischen Landesforsten (SHLF) zuständig. Sie sind mit 31 Förstereien in ganz Schleswig-Holstein präsent und betreuen rund 50.000 Hektar Waldfläche nachhaltig und naturnah nach strengen ökologischen und sozialen Maßstäben. Mit mehr als 50 % ist der Privatwaldanteil in Schleswig-Holsteins vergleichsweise hoch und zudem sehr kleinflächig, was in vielerorts für die Bewirtschaftung nur wenig attraktiv macht.

Neben der Anpassung des Waldes an veränderten Bedingungen infolge des Klimawandels spielt der Wald auch für den Klimaschutz eine bedeutende Rolle, der ist eine wichtige Kohlenstoffsenke. Ziel des 2020 vom damaligen Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) erarbeiteten und von der Landesregierung verabschiedeten Programms Biologischer Klimaschutz ist es, bis 2030 durch Maßnahmen des biologischen Klimaschutzes eine Minderung der CO_2-Emissionen in Höhe von bis zu 717.000 Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr zu erreichen. Neben der Wiedervernässung von Mooren und der Umwandlung von Acker in Grünland sollen auch die Neuwaldbildung und der Waldumbau zur Erreichung dieses Ziels beitragen. Das Ziel lässt sich nur mit stabilen und produktiven Wäldern erreichen. Damit Wald und Forstwirtschaft die gewünschte Klimaschutzleistung erbringen können, muss es neben der langfristigen Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern selbst auch darum gehen, dass das aus den Wäldern nachhaltig gewonnene Holz für langlebige Produkten genutzt und so eine möglichst langfristige Speicherung des Kohlenstoffs sichergestellt werden kann und/oder CO_2-intensive Produkte (wie Kunststoffe oder Beton) durch Holzprodukte substituiert werden.

[341] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Charta für Holz 2.0: https://www.charta-fuer-holz.de/die-charta/charta-ziele/wertschoepfung

[342] BMEL 2019 und BMEL 2017 zitiert in Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A., Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021, Dessau-Roßlau: S. 262. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land

[343] MLLEV o. J.: Vierte Bundeswaldinventur (BWI 2024) – Landesbericht für Schleswig-Holstein. Kiel, 28. S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/waldzustand_poster_24.pdf

9.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

9.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit

Während über mehrere Jahrzehnte der Eintrag von Luftschadstoffen die größte Gefährdung für die Wälder in Deutschland darstellte, gilt inzwischen der Klimawandel als die gravierendste Herausforderung für den Wald und die Forstwirtschaft. Neben witterungsbedingten Extremereignissen wie Stürmen wirken sich vor allem Hitze und anhaltende Trockenheit auf den Waldzustand aus und beeinträchtigen die Erfüllung der landschaftsökologischen Funktionen des Waldes und die Holzproduktion. Für die langlebigen Bäume bedeuten die sich aktuell sehr rasch vollziehenden Klimaveränderungen, dass sich die Standortbedingungen während ihrer Lebenszeit sehr deutlich wandeln und ihre Anpassungskapazitäten überfordern können. Der witterungsbedingte Stress kann im Extremfall auch zum Absterben der Bäume führen, vor allem wenn Schaderregerbefall oder Starkwind auf die bereits geschwächten Bäume treffen.

Hitze hat in Schleswig-Holstein seit den 1950er Jahren statistisch signifikant zugenommen, Sommertage und Heiße Tagen haben sind häufiger geworden. Auch Trockenstress tritt vermehrt auf, obwohl die Jahresniederschlagssumme in Schleswig-Holstein seit Ende des 19. Jahrhunderts zugenommen hat. Allerdings fallen die Niederschläge vermehrt im Winter, und im Sommer kommt es teilweise zu Starkregen, die von den Böden nicht vollständig aufgenommen und von der Vegetation nicht ausreichend genutzt werden können. Bodentrockenheit bedeutet. Seit den 1960er Jahren ist es in den Wäldern Schleswig-Holsteins immer wieder zu Jahren gekommen, in denen Tage mit Wassermangel im Boden sehr häufig waren. Vor allem die extreme Trockenheit im Jahr 2018 hat dazu geführt, dass sich der Trend zur Verbesserung des Waldzustands nach der Jahrtausendwende vor allem bei Fichte, Buche und Eiche wieder umgekehrt hat und in den Jahren nach 2018 ein deutlich schlechterer Waldzustand konstatiert werden musste.

Die klima- und witterungsbedingten Risiken für die Wälder Schleswig-Holsteins und die daraus resultierenden Anforderungen für den Waldumbau sind Gegenstand intensiver Forschungs- und Beratungsarbeiten an der Nordwestdeutschen Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA). Untersuchungen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Schleswig-Holstein ergaben, dass in der fernen Zukunft (2071–2100) für einen Großteil der Standorte ein noch höheres (mittleres bis hohes) Trockenstressrisiko für die Hauptbaumarten zu erwarten ist. Basierend auf diesen Standorteinstufungen werden räumlich differenziert Baumartempfehlungen (Waldentwicklungstypen WET) ausgesprochen. Abweichungen der aktuellen Bestockung von den empfohlenen WET lassen sich nicht landesweit bilanzieren, da die verfügbaren Informationen zur aktuellen Bestockung (Baumartenzusammensetzung) nicht ausreichend präzise sind. Der Waldumbau hin zu klimastabileren Wäldern wird in Schleswig-Holstein vorangetrieben. Der gegenüber den Vorjahren etwas günstigere Waldzustand im Vegetationsjahr 2024/25 wird auf die Erfolge dieser Bemühungen zurückgeführt.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 9.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator FW-I-1: Waldzustand[344]
Indikator FW-I-2: Absterberate[345]

9.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden

Für durch ungünstige Wetter- und Witterungsverhältnissen geschwächte Bäume verschlechtert sich zunächst der Gesundheitszustand. Bei anhaltend ungünstigen Bedingungen können die Bäume auch absterben. Zudem können Stürme, die im

[344] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt FW-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/waldzustand.pdf

[345] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt FW-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/absterberate.pdf

windreichen Schleswig-Holstein zwischen Ost- und Nordsee immer wieder auftreten, zu starken Beschädigungen an Bäumen oder zum Windwurf führen. In der Folge entsteht Schadholz, das sich gegenüber dem Holz, das durch den regulären Holzeinschlag gewonnen wurde, oft durch schlechtere Qualität auszeichnet und dessen Bringung aus den geschädigten Beständen mit erhöhtem Aufwand verbunden ist. Auch die Wiederbewaldung kann bei hohem Schadholzaufkommen erschwert sein. Große und in kurzer Zeit anfallende Schadholz haben in der Regen nachteilige Auswirkungen auf den Holzmarkt, weil dieser das Holz nicht vollständig aufnehmen und der Verarbeitung zuführen kann. Auch die Holzlagerung ist kostenintensiv.

Das Schadholzaufkommen wird in Schleswig-Holstein landesweit erfasst, wobei vor allem das im Privatwald anfallende Schadholz oft nur unvollständig dokumentiert wird. Der Anteil von Schadholz am gesamten Holzeinschlag schwankte in Schleswig-Holstein in den vergangenen Jahren stark, einen statistisch signifikanten Trend zeigt die Entwicklung seit 2006 nicht. In den Jahren 2013 bis 2018 war das Schadgeschehen stark von Sturmschäden dominiert. Im Dürrejahr 2018 und den Folgejahren gewannen hingegen Insektenschäden an Bedeutung, 2024 war wiederum der deutlich überwiegende Teil des Schadholzes durch Stürme verursacht. Zu Großschadensereignissen wie in anderen Bundesländern kam es aber in Schleswig-Holstein in den letzten 20 Jahren nicht.

Die Fortschritte beim Waldumbau haben wesentlichen Einfluss auf das Schadgeschehen in Schleswig-Holstein; vor allem die Reduktion der Fichte auf ungeeigneten Standorten spielt eine zentrale Rolle. Da die vorratsreichen Fichtenbestockungen sukzessive abgebaut werden und die Fichte im Landeswald künftig nur noch als Mischbaumart akzeptiert wird (Fichtenreinbestände also weiter abnehmen) wird die Ausgangssituation hinsichtlich Schädlingsanfälligkeit zumindest bei der Fichte vermutlich günstiger werden, auch wenn temperaturbedingt mit einem steigenden Befallsdruck durch Borkenkäfer zu rechnen ist. Die Projektion künftiger Schäden an den Laubbaumarten bleibt unsicher, da belastbare Erfahrungen zur Klimaresilienz der einzelner Baumarten noch unzureichend sind und die Einwanderung neuer Schaderreger schwer vorhersehbar ist. Das Schaderregermonitoring gewinnt vor diesem Hintergrund weiter an Bedeutung, insbesondere für Insekten, die von höheren Temperaturen und zunehmender Trockenheit profitieren.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 9.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator FW-I-3: Schadholz - Umfang nicht planmäßiger Nutzungen[346]

9.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA aus dem Jahr 2021[347] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 35 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 35: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Veränderung der meteorologischen Waldbrandgefahr	Waldbrände spielen in Schleswig-Holstein zwar bisher keine bzw. eine nur untergeordnete Rolle. Selbst im extremen Trockenjahr 2018 sind nur 1,1 ha Waldbrandfläche statistisch erfasst worden (vermutlich bildet die Waldbrandstatistik das Waldbrandgeschehen nicht vollständig ab, da nicht alle bei den Leitstellen der Feuerwehren eingehenden Brände statistisch erfasst werden). Vor allem für den kontinentalen (südöstlichen) Bereich Schleswig-Holsteins (unter anderem das Herzogtum Lauenburg), wo sich der Schwerpunkt der Kiefernverbreitung befindet, wird jedoch mit einem weiter steigenden

[346] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt FW-I-3: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/schadholz.pdf

[347] Renner K., Fritsch U., Zebisch M., Wolf M., Schmuck A., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Wolff A., Jay M. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 2: Risiken und Anpassung im Cluster Land. Climate Change 21/2021, Dessau-Roßlau: S. 359. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-2-Cluster-Land

Klimawirkung	Erläuterungen
	Waldbrandrisiko gerechnet. Die Verhältnisse hier sind grundsätzlich mit denen in Mecklenburg-Vorpommern vergleichbar. In anderen Landesteilen ist das Risiko durch den hohen Laubbaumanteil eher geringer. Auch auf Dünenstandorten kann das Waldbrandrisiko erhöht sein, allerdings werden die dortigen Witterungsverhältnisse als weniger kritisch bewertet. Vor dem beschriebenen Hintergrund erscheint eine Berücksichtigung der Klimawirkung in der KRA Schleswig-Holstein sinnvoll. Für die Ausarbeitung der Klimawirkung stünden Projektionen des DWD zur metorologischen Waldbrandgefährdung zur Verfügung. Dieses Darstellungen zum Klimasignal ließen sich mit der Daten zur Baumartenzusammensetzung (beispielsweise aus dem Waldatlas des Thünen-Instituts) verschneiden. Als besonders sensibel gelten insbesondere Reinbestände aus Kiefer (hier erhöht oft auch die Bodenvegetation die Waldbrandgefährdung) und andere Nadelbaumarten sowie Mischwälder mit höheren Nadelholzbeimischungen (Fichte, Lärche, Kiefer). Aufgrund der aktuell geringen Bedeutung der Klimawirkung für Schleswig-Holstein wurde vorerst von einer systematischen Klimarisikoanalyse abgesehen.
Einbruch des stehenden Holzvorrats, sinkendes Holzaufkommen, Herausforderungen für den Holzmarkt	Für Schleswig-Holstein ist nicht damit zu rechnen, dass sich die Holzsortimente in Zukunft ähnlich stark verändern werden wie in anderen Bundesländern, in denen der Holzmarkt nach wie vor stark von der Fichte geprägt ist. Wenn es dort parallel zum laufenden Waldumbau zu Kalamitäten kommt und dadurch sehr viel Fichtenholz auf den Markt kommt, bringt dies erhebliche Anforderungen an die Verarbeitung und Vermarktung mit sich. In Schleswig-Holstein ist hingegen der Anteil der Fichte traditionell nicht so hoch, und es gibt wenig Dynamik in der Entwicklung (so ist von der dritten Bundeswaldinventur 2012 zur vierten Inventur 2022 der Fichtenanteil nur von 17 auf 13 % zurückgegangen). Auch für die Zukunft wird nicht mit einem relevanten Rückgang des Fichtenanteils gerechnet (auch im Jungwuchs gibt es noch verhältnismäßig viel Fichte). Die in Schleswig-Holstein nach wie bestehenden großen Fichtenvorräte, die auch abgebaut werden müssen, befinden sich überwiegend in Mischbeständen, in denen es auch künftig Fichtenbeimischungen geben wird. Großflächigere Zwangsnutzungen, die auf dem Holzmarkt zu einem Überangebot von Holz führen und eine Herausforderungen für die Holzvermarktung und -verarbeitung darstellen können, sind in Schleswig-Holstein nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund wurde von einer detaillierteren Betrachtung dieser Klimawirkung abgesehen.
Gefährdung landschaftsökologischer Wirkungen des Waldes	Aufgrund der großen Bedeutung der landschaftsökologischen Waldfunktionen wie Abflussregulation, Grundwasserneubildung und Grundwasserschutz sowie Bodenschutz und Lebensraumfunktion erscheint diese Klimawirkung trotz der nur geringen Waldfläche für Schleswig-Holstein grundsätzlich von Interesse. Die Leistungsfähigkeit des Waldes ist wesentlich von der Vegetationszusammensetzung abhängig. Für Schleswig-Holstein gibt es bislang keine Waldfunktionskartierung. Deren Durchführung ist aber aktuell in Vorbereitung. Sie soll auch Impulse für die ebenfalls in Erarbeitung befindliche Waldstrategie liefern und den neuen Anforderungen der europäischen Wiederherstellungsverordnung gerecht werden. In Anbetracht der starken Fragmentierung der Wälder in Schleswig-Holstein (die sich seit rund hundert Jahren vollzieht) sollen vor allem die Defizite bei der Vernetzung thematisiert werden. In erster Linie muss es darum gehen, insbesondere auch die kleinen Waldgebiete (die beispielsweise in glazialen Senken erhalten geblieben sind) zu sichern und die zunehmende Fragmentierung der größeren Waldgebiete (durch Straßenbau und Stromtrassen) einzudämmen. Nur so können die Wälder auch künftig ihre wichtigen Waldfunktionen erfüllen. Es kann postuliert werden, dass gerade die kleinen, stark fragmentierten Waldstücke mit verhältnismäßig langen Rändern gegenüber zusätzlichem klimatischen Stress (Windangriff und Einstrahlung) besonders sensitiv sind. Über die Berechnung eines Fragmentierungsindex könnten Regionen identifiziert werden, in denen der Anteil besonders kleinflächiger Waldgebiete besonders hoch ist (so gibt es beispielsweise in der Region

Klimawirkung	Erläuterungen
	Angeln bei einem sehr geringen Waldanteil von nur 4 % nur sehr kleinflächige Waldstücke). Mit einer Überlagerung der fragmentierten Wälder mit Klimaprojektionen ließen sich möglicherweise Regionen mit besonders hohem Risiko und großem Handlungsbedarf identifizieren. Die Klimawirkung soll bearbeitet werden, wenn die Ergebnisse der Waldfunktionskartierung vorliegen und sich möglicherweise aus der Waldstrategie zusätzliche Analyseerfordernisse ableiten lassen.

9.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die schriftliche Bewertung der Fachleute im Handlungsfeld Forstwirtschaft hat zu einem wenig eindeutigen Ergebnis geführt, jedoch konnten beim Bewertungsworkshop gemeinsame Positionen herausgearbeitet werden (siehe Tabelle 36). Allgemein ist es so, dass der Wald in Schleswig-Holstein sowohl hinsichtlich der Baumartenzusammensetzung (wenig Nadelholz-Monokulturen und hoher Laubholzanteil) als auch der klimatischen Verhältnisse zwischen Nord- und Ostsee sowohl mit Blick auf Stressoren als auch auf die Sensitivität des Waldes im bundesweiten Vergleich gut dasteht. Trotzdem bewerteten die Fachleute die soziale Bedeutung der Klimawirkung „Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden" als hoch bis sehr hoch. Auch „Beeinträchtigungen des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit" und die „Veränderung der meteorologischen Waldbrandgefahr" wurden als sozial hochbedeutend bewertet. Lokal, vor allem in Städten, kann zudem die Gefährdung landschaftsökologischer Wirkungen des Waldes von sehr hoher sozialer Bedeutung sein, wenn die Kühlleistung der Bäume in Siedlungen abnimmt.

Eine hohe ökologische Bedeutung haben nach Ansicht der Fachleute alle im Handlungsfeld Forstwirtschaft bewerteten Klimawirkungen, wobei die ökologische Bedeutung der Veränderung der meteorologischen Waldbrandgefahr auch gering sein könnte, weil die Waldbrandgefahr in Schleswig-Holstein aufgrund der geringen Waldfläche und des hohen Laubholzanteils vergleichsweise gering ist. Im Falle eines Waldbrandes gehen jedoch wertvolle Lebensräume verloren.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Klimawirkungen ist überwiegend als sehr hoch bewertet worden. Nur der Gefährdung landschaftsökologischer Wirkungen des Waldes wurde eine hohe wirtschaftliche Bedeutung zugeschrieben. Handlungsbedarf seitens der Landesregierung sehen die Fachleute für die kommenden Jahre für jede der vier Klimawirkungen (siehe Tabelle 37). Insbesondere der Waldumbau mit klimaresilienten Arten steht hier im Vordergrund. Hingewiesen wurde auch auf die großen Synergien zwischen den bewerteten Klimawirkungen bei möglichen Anpassungsmaßnahmen. Ein gesunder, naturnaher Mischwald ist gegen jede der bewerteten Klimawirkungen weniger sensitiv.

Tabelle 36: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Forstwirtschaft

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit	uneinheitlich (gering bis hoch)	hoch	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)	-*	hohe soziale Bedeutung sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung
Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden	uneinheitlich (gering bis sehr hoch)	uneinheitlich (gering bis sehr hoch)	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)	-	hohe bis sehr hohe soziale Bedeutung hohe ökologische Bedeutung sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung
Veränderung der meteorologischen Waldbrandgefahr	uneinheitlich (gering bis hoch)	uneinheitlich (gering bis hoch)	uneinheitlich (gering bis sehr hoch)	-	hohe soziale Bedeutung geringe bis hohe ökologische Bedeutung, einerseits ist die Waldbrandgefahr auch aufgrund des hohen Laubbaumanteils gering, andererseits führen Waldbrände zu Lebensraumverlust sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung
Gefährdung landschaftsökologischer Wirkungen des Waldes wie z.B. Abflussregulation, Grundwasserneubildung und Grundwasserschutz	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)	hoch	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)	Begründung für hohe Bedeutung: Rolle des Waldes für den Landschaftswasserhaushalt	insgesamt geringe soziale Bedeutung, auch aufgrund vergleichsweise geringer Waldflächen, aber sehr hohe soziale Bedeutung innerstädtischer Wälder (Kühlung) hohe wirtschaftliche Bedeutung

* keine Begründung geliefert

Tabelle 37: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit	ja	Waldumbau mit klimaresilienten Baumarten	-**
Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden	uneinheitlich	Begründung für nein: Handlungsbedarf (Waldumbau) ergibt sich aus der Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit“, weshalb kein zusätzlicher Handlungsbedarf für diese Klimawirkung gesehen wurde	Handlungsbedarf gegeben
Veränderung der meteorologischen Waldbrandgefahr	uneinheitlich	Begründung für nein: Risiko ist in Schleswig-Holstein sehr gering, hoher Laubholzanteil	Handlungsbedarf gegeben
Gefährdung landschaftsökologischer Wirkungen des Waldes wie z.B. Abflussregulation, Grundwasserneubildung und Grundwasserschutz	ja	-*	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

9.4 Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit“

9.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Der Klimawandel ist aktuell die gravierendste Herausforderung für den Wald und die Forstwirtschaft. Neben witterungsbedingten Extremereignissen wie Stürmen wirken sich vor allem Hitze und anhaltende Trockenheit langfristig auf den Waldzustand aus und beeinflussen die Erfüllung der landschaftsökologischen Funktionen des Waldes und die Holzproduktion nachteilig. Da Bäume im forstlich genutzten Wald je nach Baumart Umtriebszeiten von 80 bis 180 Jahren haben, vollziehen sich innerhalb ihrer Lebenszeit inzwischen sehr deutliche Klimaveränderungen, die – je nach Standortbedingungen – ihre Anpassungskapazitäten überfordern können. Vor allem zunehmende Hitze und Trockenheit beeinträchtigen die Baumgesundheit, verringern ihre Vitalität und schlagen sich in einem sich verschlechternden Waldzustand nieder. Der Stress kann im Extremfall auch zum Absterben der Bäume führen, vor allem wenn zusätzliche Stressfaktoren wie Schaderregerbefall oder Starkwind auf bereits geschwächte Bäume treffen.

9.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Hitze und Trockenheit sind – neben Extremereignissen wie starken Stürmen – die wesentlichen Klimafaktoren, die die Lebensbedingungen für die in Mitteleuropa typischerweise vorkommenden Baumarten verschlechtern. Insbesondere bei Laubbäumen kann es durch Hitze und starke Sonneneinstrahlung direkt zu Blatt- und Rindenschäden und zu Sonnenbrand kommen. Die Anzahl von Sommertagen (Maximaltemperatur mindestens 25 °C) und Heißen Tagen (Maximaltemperatur mindestens 30 °C) hat in Schleswig-Holstein seit den 1950er Jahren statistisch signifikant zugenommen (siehe Klimaanalyse[348], Abbildung 6). Die Sonnenscheindauer stieg in Schleswig-Holstein seit den 1990er Jahren an. In den letzten zehn Jahren (2014–2023) lag sie im Mittel rund 9 % über dem 30-jährigen Mittel 1961–1990 (siehe Klimaanalyse, Abbildung 17). Diese Zahlen lassen jedoch keine Aussage zur Intensität der Strahlung zu. Intensive Sonneneinstrahlung kann die Rinde von Bäumen so stark erwärmen, dass Eiweißstrukturen und Enzyme im Kambium zerstört werden. Steigen die lokalen Temperaturen auf über 40 C° unter der Rinde, kann dies kritische Schäden verursachen[349].

Steht den Bäumen bei lang anhaltender Trockenheit nicht genug Wasser aus dem Boden zur Verfügung, schwächt sich der Wasserstrom im Leitungssystem beziehungsweise im Xylem, der durch die Verdunstung aus den Spaltöffnungen (Stomata) auf der Blattunterseite angetrieben wird, ab. Als Reaktion auf den abreißenden Wasserstrom schließt der Baum seine Stomata, um weitere Wasserverluste zu vermeiden. Geschlossene Stomata wiederum führen zu reduzierter CO_2-Aufnahme und verminderter Photosyntheseleistung[350]. Bei anhaltender Trockenheit beginnen die Bäume, ihr Blätter oder gar Äste abzuwerfen, um die Transpiration weiter zu verringern. Der Wasserstrom im Leitungssystem kann dann auch ganz abreißen, es kann Luft in die Leitbahnen eindringen und den Wassertransport in die Krone unterbinden. Diese Prozesse können das Absterben des Baums zur Konsequenz haben. Neben dem beschriebenen „Verdursten“ können die Bäume auch „verhungern“, weil die Kohlenstoffsynthese infolge des Stomataschlusses eingeschränkt ist[351]. Oftmals führt die Kombination beider Prozesse zu den beobachtbaren Beeinträchtigungen.

Die Jahresniederschlagssumme hat in Schleswig-Holstein seit Ende des 19. Jahrhunderts zugenommen. Während im Zeitraum 1881–1910 durchschnittlich 714 mm Niederschlag fielen, waren es im 1961–1990 etwa 789 mm und 1991-2020 bereits 812 mm (siehe Klimaanalyse, Abbildung 9). Es hat sich aber auch die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung verändert. In Schleswig-Holstein deutet sich eine Verlagerung der Niederschläge vom Sommer in den Winter an. Niederschläge im Sommer fallen teilweise als Starkregen und können dann von den Böden nicht vollständig aufgenommen werden. Auch

[348] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[349] s. unter anderem https://www.forstpraxis.de/bekommen-baeume-eigentlich-einen-sonnenbrand-20076

[350] Gallé und Feller 2007, Kätzel und Löffler 2014 Seidel und Menzel 2016, Stiftung Unternehmen Wald 2018 zitiert in Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 268.

[351] Verdursten = „Hydraulic failure“, Verhungern = „carbon starvation“ (Kätzel & Löffler 2014 in ebd: S. 268).

oder gerade in eher trockenen Sommern kann es vermehrt zu Starkregenereignissen kommen. Die Entwicklung der Trockenheit im Frühjahr, Sommer und Herbst, also in den Jahreszeiten, in denen die Bäumen photosynthetisch aktiv sind, zeigt Abbildung 26: . Der Trockenheitsindex nach de Martonne wird als Quotient des Niederschlags und der Mitteltemperatur (+10) berechnet. Weder für das Frühjahr noch für Sommer und Herbst zeigen die ab dem Jahr 2000 verfügbaren Zeitreihen des DWD einen statistisch signifikanten Trend. Es handelt sich um Durchschnittswerte für drei-Monate. Einzelne kritische Witterungskonstellationen lassen sich daraus nicht ableiten.

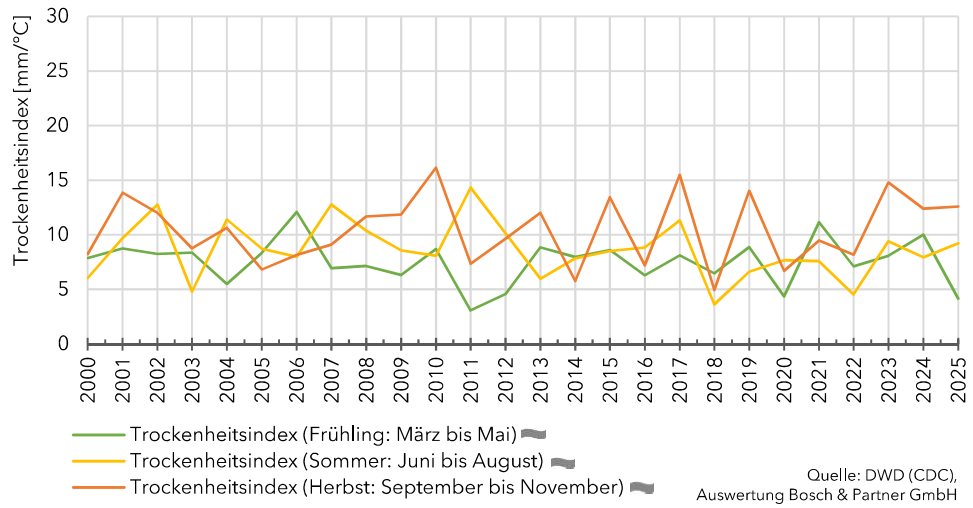


Abbildung 68: Saisonale Trockenheit in Schleswig-Holstein nach de Martonne

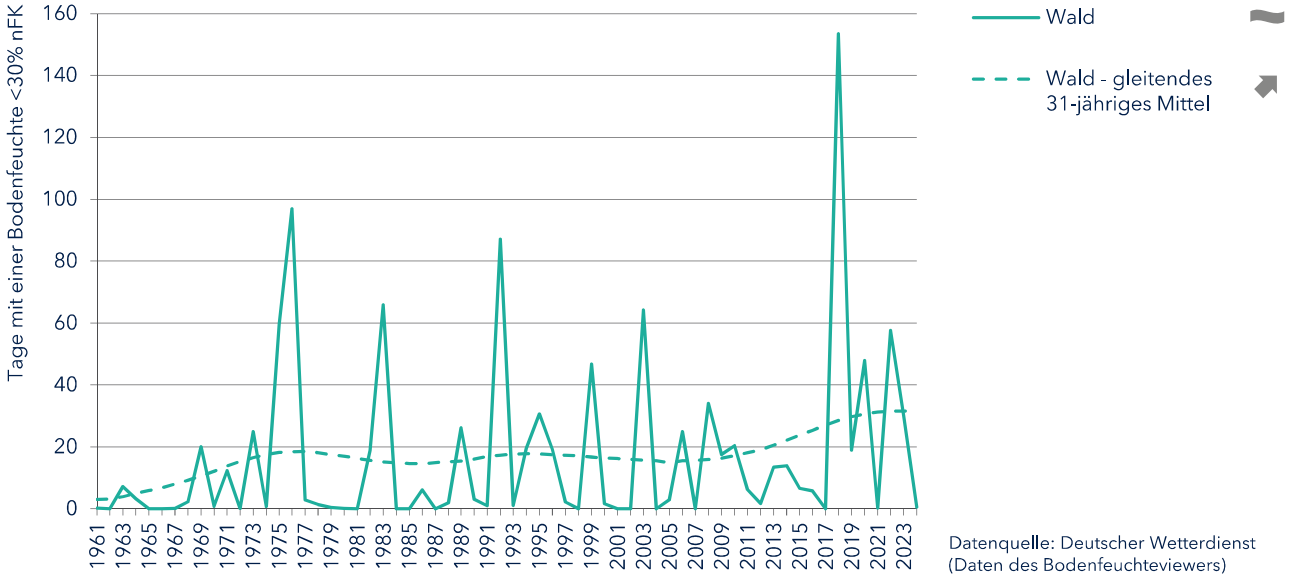
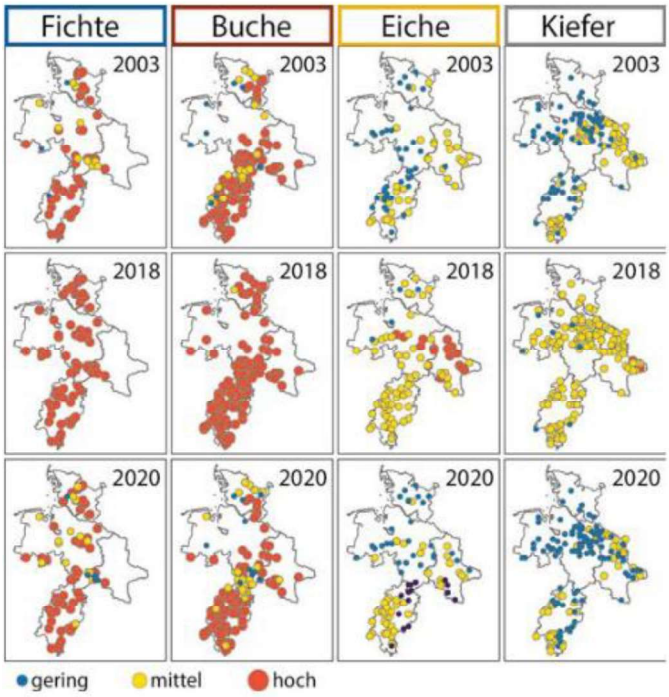


Abbildung 69: Tage mit Bodenfeuchte unter 30 % nFK im Wald Schleswig-Holsteins (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator BO-I-1[352], nur Wald)

Für die Wasserverfügbarkeit im Wald und das Waldwachstum spielt letztendlich die Bodenwasserverfügbarkeit eine entscheidende Rolle. Die Klimawirkung „Wassermangel im Boden" widmet sich der Problematik kritischer Bodenfeuchten: Tage, in denen die nutzbare Feldkapazität (nFK) des Bodens unter 30 % sinkt, sind kritisch für die Wasserversorgung des Waldes. Seit den 1960er Jahren treten diese Tage häufiger auf (im gleitenden 31-jährigen Mittel, siehe Abbildung 3). Das extreme Trockenjahr 2018 tritt in der Zeitreihe mit über 150 Tagen mit Trockenstress deutlich hervor. Es zeigt sich aber auch, dass sich die Situation von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich darstellen kann.

[352] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt, Indikator BO-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/trockenheitsindex.pdf

Trockenstress-risiko (SWB)	Fichte	Buche	Eiche	Kiefer
hoch	< -80 mm	< -100 mm	< -350 mm	< -450 mm
mittel	0 bis -80 mm	-50 bis -100 mm	-150 bis -350 mm	-200 bis -450 mm
gering	> 0 mm	> -50 mm	> -150 mm	> -200 mm



Die NM-FVA zieht für ihre Baumartenempfehlungen als zentralen klimabeeinflussten Faktor die Standortwasserbilanz (SWB) nach Grier & Running (1977)[353] heran. Hierfür wird der Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit mit der nFK des Bodens verrechnet. Basierend auf der SWB werden dann baumartenspezifische Schwellenwerte für das Trockenstressrisiko als Entscheidungshilfe für die klimaangepasste Baumartenwahl festgelegt.

Anhand von Jahrringanalysen haben Gröning et al. (2024)[354] Vitalität und Wachstum der vier Hauptbaumarten Eiche, Kiefer, Fichte und Buche entlang artspezifischer Standortwasserbilanz-Gradienten auf ausgewählten Flächen des Probenetzes der Waldzustandserhebung (WZE) und der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) untersucht. Abbildung 70 zeigt die Überschreitungen der baumartenspezifischen Schwellenwerte des SWB und macht deutlich, dass in den sehr trockenen Jahre 2003 und 2018 selbst an den Standorten der eigentlich trockentoleranten Eichen und Kiefern in Schleswig-Holstein das Trockenstressrisiko für diese Baumarten mittel, in 2018 örtlich sogar hoch war.

Abbildung 70: Trockenstressrisiko an ausgewählten Standorten der WZE und BZE (Quelle: Gröning et al. 2024[355])

9.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

9.4.3.1 Exposition

Nach den Ergebnissen der 4. Bundeswaldinventur (BWI[4], 2022) verfügt Schleswig-Holstein über rund 182.457 Hektar **Waldfläche**, was 11,5 % der Landesfläche entspricht[356]. Schleswig-Holstein ist damit mit Abstand das Flächenland mit dem geringsten Waldanteil in Deutschland – der Waldanteil beläuft sich im Bundesdurchschnitt auf 32,3 %. Früher war der Waldanteil sogar noch geringer; um 1850 erreichte er mit nur noch 4 % seinen historischen Tiefststand[357]. Erst im 20. Jahrhundert wurden in einer gewaltigen Aufbauleistung tausende Hektar Wald aufgeforstet. Vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg starteten umfangreiche Aufforstungsprogramme, die bis heute andauern und sich in einem positiven Trend zur Erhöhung der Waldfläche niederschlagen (siehe Abbildung 71). So wies die BWI[3] aus 2012 nur 11 % der Landesfläche als Wald aus.

[353] Grier & Running 1977 zitiert in Gröning A., Klinck C., Paar U. 2024: Auswirkung von extremer Witterung auf die Vitalität und Produktivität der Hauptbaumarten in Nordwestdeutschland. In: MLLEV & NM-FVA 2024: Waldzustandsbericht 2024 für Schleswig-Holstein: S. 34-35. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/Waldzustandsbericht2024.pdf

[354] Gröning et al. 2024, s. Fußnote 353

[355] Gröning et al. 2024, s. Fußnote 353

[356] MLLEV o. J.: Vierte Bundeswaldinventur (BWI 2024) – Landesbericht für Schleswig-Holstein. Kiel, 28. S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/waldzustand_poster_24.pdf

[357] NABU – Naturschutzbund Deutschland e. V.: Geschichte des Waldes – Fakten und Hintergründe | Schleswig-Holstein heute waldarm: https://schleswig-holstein.nabu.de/natur-und-landschaft/waelder/hintergrund/04758.html

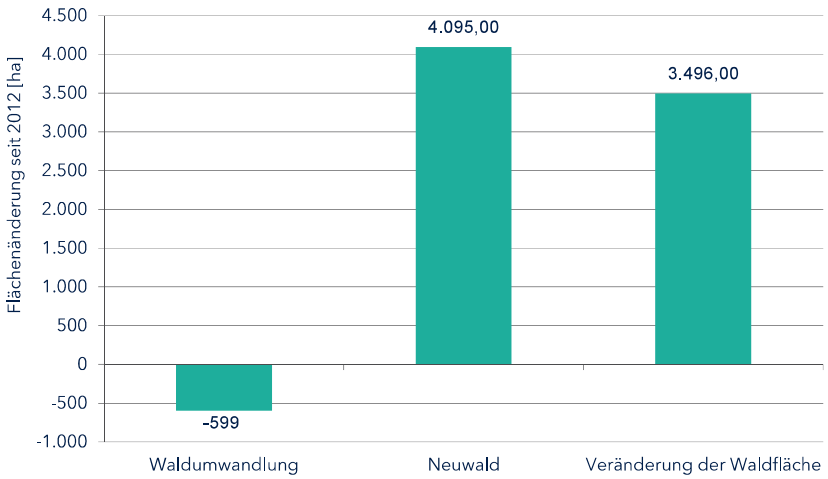


Abbildung 71: Bilanz der Waldfläche, Veränderungen zwischen BWI[3] (2012) und BWI[4] (2022) (Quelle: MLLEV o. J.[358], Darstellung geändert)

Die Waldfläche ist in Schleswig-Holstein nicht nur insgesamt gering, sondern der Wald ist zudem sehr kleinteilig. Die größte zusammenhängende Waldflächen von rund 7.000 Hektar befindet sich im Kreis Herzogtum Lauenburg („Sachsenwald"). Auch im Landkreis Segeberg, der nördlich an den Kreis Herzogtum Lauenburg angrenzt, gibt es großflächigere Waldbestände (wie der Segeberger Forst mit rund 4.000 ha und der Ricklinger Forst mit rund 2.000 ha). Nördlich von Neumünster überwiegen in den generell waldarmen Landkreisen deutlich die teilweise sehr kleinflächigen Bestände. Je kleiner die Waldflächen sind, umso weniger kann sich ein eigenes schützendes Waldinnenklima entwickeln. Sowohl Hitze als auch Sonneneinstrahlung sind für einen erheblichen Teil der Waldbäume (in den Außenbereichen) relevant. Auch Feuchtigkeit hält sich in kleineren Waldflächen deutlich schlechter als in großen zusammenhängenden Waldflächen.

9.4.3.2 Sensitivität

Hitze, Trockenheit und Stürme stellen grundsätzlich für alle Wälder in Schleswig-Holstein eine Belastung dar, allerdings ergeben sich unter anderem infolge der Baumartenzusammensetzung, des Baumalters, der Akklimatisation der Bäume an ihre Standorte, der Vorschädigung, des Verhältnisses von Blattoberfläche und Wurzelsystem sowie der Besitzarten (und der damit verbundenen unterschiedlichen Intensität der Waldpflege) regionale Unterschiede in der Sensitivität.

Die **Baumarten** sind gegenüber Hitze, Trockenheit und Windwurf unterschiedlich resilient. Als generell empfindlicher gelten Nadelbäume und hier vor allem die Fichte. Als flachwurzelnde Baumart können die Wurzeln durch Trockenheit im Oberboden leichter Schaden nehmen. Diese Schäden können auch nachhaltig die Vitalität beeinflussen, da der Baum dann, auch wenn die Trockenphase vorbei ist, weniger Wasser aufnehmen kann. Außerdem können Flachwurzler zur ihrer Wasserversorgung tiefe Bodenschichten (mit noch verfügbaren Wasservorräten) nicht oder nur sehr eingeschränkt erreichen. Sie sind zudem weniger standfest und infolge dessen auch besonders windwurfgefährdet. Die besonders flachwurzelnde Fichte hat in Schleswig-Holstein mit 13 % zwar den höchsten Flächenanteil der Nadelbäume im Hauptbestand[359], ist aber im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (21 %) mit einem deutlich geringeren Anteil bestandsbildend (siehe Abbildung 5).

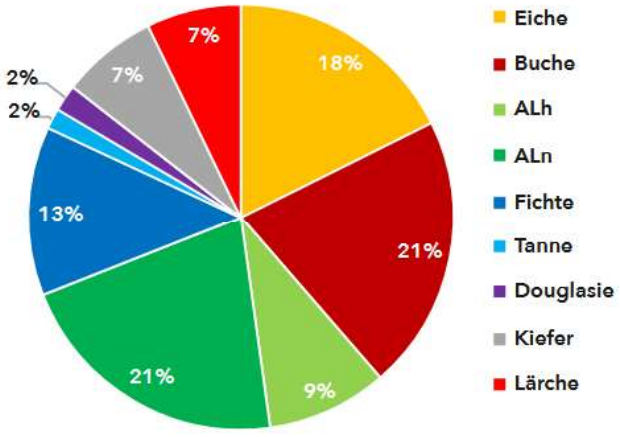


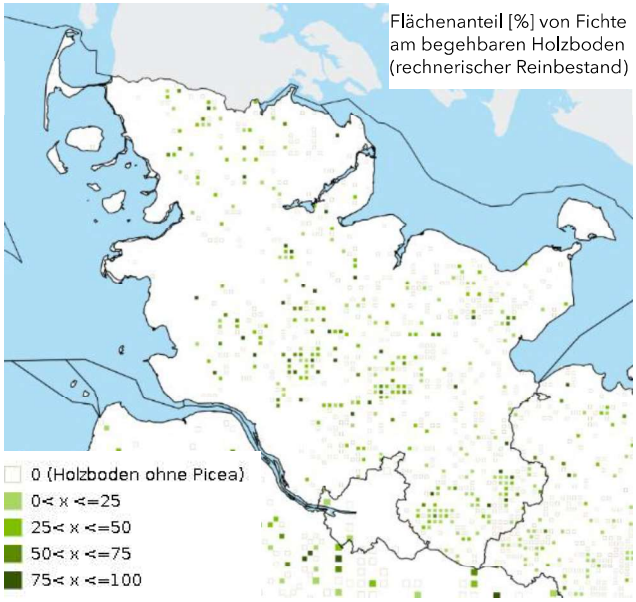
Abbildung 72: Baumartengruppen im Hauptbestand (Quelle: MLLEV o. J.[356])

Nach dem Saarland ist Schleswig-Holstein das laubwaldreichste Bundesland. Den Ergebnissen der BWI[4] zufolge haben die Laubwälder bzw. Laubmischwälder, die als vergleichsweise klimaresilient gelten, einen Flächenanteil von 68 % an der gesamten Waldfläche. Mit einem Wert von nur 3 % Nadelwald-Reinbeständen liegt Schleswig-Holstein weit unter dem

[358] MLLEV o. J, s. Fußnote 356: S. 5–6

[359] flächenmäßig dominierende Baumschicht, auf der das wirtschaftliche Gewicht liegt

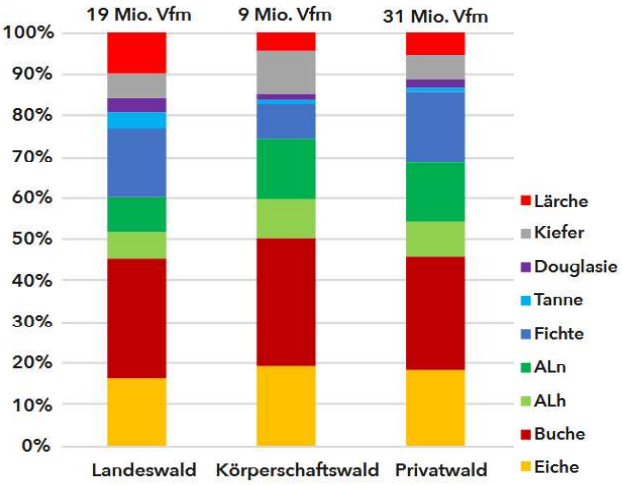
bundesweiten Durchschnitt von 16 %. Die Buche hat mit 21 % den höchsten Anteil an den Laubbäumen (zu den ebenfalls mit 21 % vertretenen Laubbäume mit niedriger Lebensdauer gehören unter anderem Birke, Pappel und Eberesche).



Die Schwerpunkte des Fichtenvorkommens liegen im Süden und im Bereich der Geest im mittleren Schleswig-Holstein (siehe Abbildung 73). Die Daten basieren auf der BWI³ und Satellitenerkundungen und stellen die derzeit aktuellste flächendeckende Datengrundlage zur Bestockung in Schleswig-Holstein dar.

Abbildung 73: Flächenanteile der Fichte (Quelle: Thünen-Waldatlas, basierend auf BWI³ 2012[360])

Als im Bundesvergleich günstig stellt sich in Schleswig-Holstein die **Baumartenmischung** in den Bestockungen dar. Mischwälder gelten als besonders klimaresilient. Ihr Anteil beträgt 91 % der Waldfläche, und der weit überwiegende Teil der Mischwälder ist durch Laubbäume geprägt. Von den verbleibenden 9 % sind nur 3 % Nadelbaum-Reinbestände (gegenüber 16 % im bundesweiten Durchschnitt). Grundsätzlich sind die Wälder Schleswig-Holsteins durch ihren hohen Laubholz- und Mischbestandsanteil vergleichsweise gut auf die sich ändernden klimatischen Verhältnisse eingestellt.



Eine Rolle für die Sensitivität spielt auch die **Waldbesitzform**, da diese Einfluss auf die Intensität der Waldbewirtschaftung und -pflege hat. Die Wälder Schleswig-Holsteins sind zu mehr als der Hälfte (50,4 %) im privaten Eigentum, und der Privatwaldbesitz ist vergleichsweise kleinflächig. Diese kleinen Waldflächen bzw. Splitterwaldflächen sind in der Bewirtschaftung oft nur wenig lukrativ und werden daher nur wenig genutzt. Teilweise mangelt es auch an waldbaulicher Kompetenz, da den Waldbesitzenden die Kapazitäten für Weiterbildungen fehlen. Dies erweist sich vor allem in Anbetracht der steigenden durch den Klimawandel bedingten Herausforderungen als Nachteil.

Abbildung 74: Vorratsanteile nach Eigentumsarten gemäß BWI⁴ (Quelle: MLLEV o. J.[361], geändert)

Bezüglich der Vorratsanteile der Baumarten im Privatwald stellt sich die Situation allerdings etwas günstiger dar als im Landeswald, da die Anteile des Laubholzes höher sind (siehe Abbildung 74). Mit Blick auf die besonders kritische Fichte gilt jedoch, dass deren Vorratsanteile im Privatwald ähnlich hoch sind wie im Landeswald und damit auch hier großer Handlungsbedarf besteht.

Für die Sensitivität der Bestockungen gegenüber künftiger Trockenheit spielt die **aktuelle Wasserversorgung** an den Standorten eine relevante Rolle. Waldstandorte, die derzeit (noch) günstige Verhältnisse bezüglich der Wasserverfügbarkeit aufweisen, könnten sich bei zunehmender Trockenheit als besonders empfindlich erweisen, da die Bäume auf den gut

[360] Thünen Waldatlas: Baumartenverteilung und Holzvorrat. https://gdi.thuenen.de/wo/waldatlas/?workspace=bwi3-tnr-voll3-shp&typ=Trakt&instanz=wo-bwi

[361] MLLEV o. J, s. Fußnote 356: S. 13

wasserversorgten Standorten ein relativ kleines Wurzelwerk und eine große Krone entwickelt haben. Die Transpirationsleistung ist dementsprechend vergleichsweise hoch, die Wasseraufnahmekapazität aus dem Boden aber eher gering, um die Wasserverluste auszugleichen.[362]

9.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

9.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Der Waldzustand wird wie in ganz Deutschland auch in Schleswig-Holstein jährlich über die Waldzustandserhebung erfasst. Im Jahr 2025 wurden in Schleswig-Holstein 3.072 Bäume auf 32 Dauerbeobachtungsflächen untersucht. Abbildung 75 zeigt die Entwicklung der mittleren Kronenverlichtung in Schleswig-Holstein. Sie lag seit 2011 mit Ausnahme der späten 1990erJahre stets unter dem bundesdeutschen Durchschnitt. Über alle Baumarten hinweg zeigt sich ein steigender Trend der Kronenverlichtung seit 2011. Die Entwicklung bei den einzelnen Baumarten ist allerdings unterschiedlich. Besonders betroffen ist die Fichte, die in Schleswig-Holstein vielerorts nicht standortgerecht angebaut wurde.

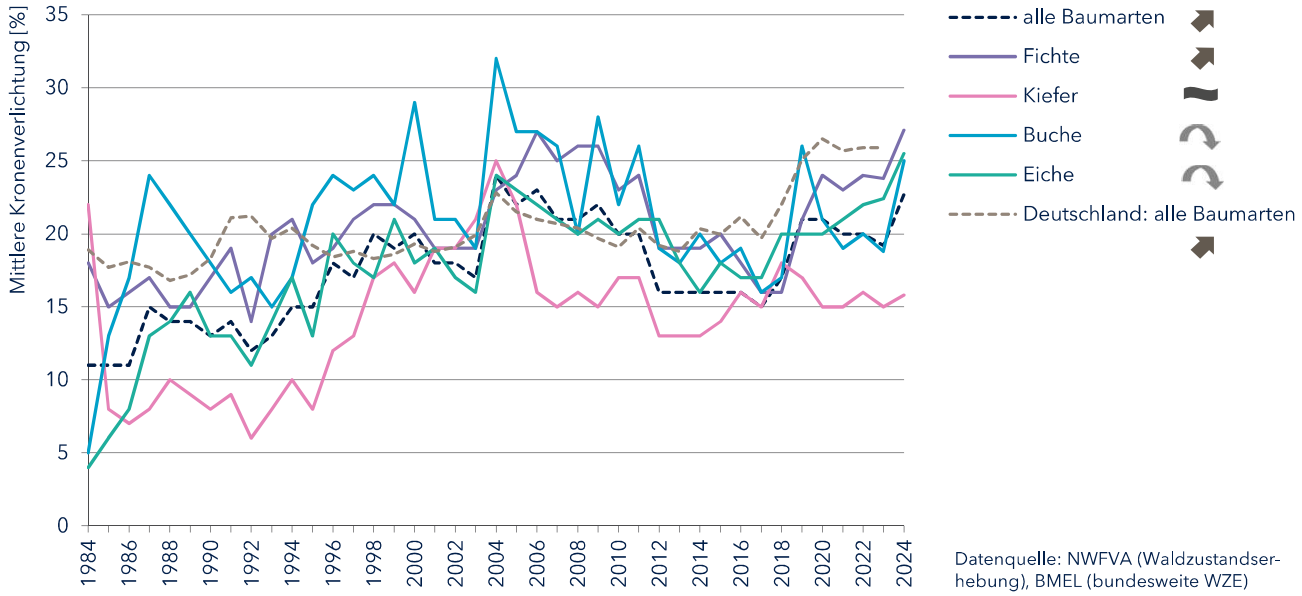


Abbildung 75: Waldzustand in Schleswig-Holstein (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator FW-I-1[363])

Die im November 2025 veröffentlichten Daten des Waldzustandsberichts zum Jahr 2025 sind in der Zeitreihe noch nicht enthalten[364]. Die Wälder zeigten sich in 2025 insgesamt in einem stabileren Zustand als im Vorjahr. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten lag 2025 bei 22 % gegenüber 23 % im Vorjahr. Nur bei der Fichte und in der Gruppe der anderen Nadelbäume stieg die mittlere Kronenverlichtung weiter an. Die Buche verbesserte ihren Zustand gegenüber 2025 vergleichsweise deutlich, was aber überwiegend darin begründet ist, dass die Buchen in 2024 stark fruktifiziert hatten; dies drückt sich immer in einer stärker verlichteten Krone aus. Insgesamt sank auch der Anteil stark geschädigter Bäume von 3 % in 2024 auf nun 2,9 %. Als stark geschädigt werden Bäume klassifiziert, die Kronenverlichtungen über 60 % aufweisen oder abgestorben sind, sowie Bäume mit Verlichtungen von 30 bis 60 % verbunden mit Vergilbungen über 25 %.

Das Vegetationsjahr 2024/25 war um 0,5 Grad kühler als das vorausgegangene sehr warme Vegetationsjahr 2023/2024. Im Flächenmittel fielen mit 730 mm rund 50 mm Niederschlag weniger als im langjährigen Mittel. Von Februar bis Anfang Juli kam es zu einer fünfmonatigen Trockenperiode. Mit dieser zwar gegenüber dem Vorjahr etwas günstigeren, aber noch immer im langjährigen Vergleich zu warmen und zu trockenen Witterung lassen sich also die leichten Verbesserungen des

[362] Asche 2009 zitiert in Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 269

[363] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt FW-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/waldzustand.pdf

[364] NW-FVA – Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt & MLLR (Hrsg.) 2025: Waldzustandsbericht 2025 für Schleswig-Holstein. Göttingen, 48 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wald/Downloads/Waldzustandsbericht2025.pdf

Waldzustands (allein) nicht begründen. Möglicherweise schlägt sich bereits der konsequente Waldumbau in etwas robusteren Beständen nieder. Aus den Daten einzelner Jahre lassen sich allerdings gesicherte Trendaussagen nicht ableiten.

9.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Um (Klima-)Risiken für die Wälder Schleswig-Holsteins zu ermitteln und zu visualisieren, gibt es mehrere Forschungsarbeiten. Sie basieren auf unterschiedlichen Datengrundlagen und lassen Ableitungen von Handlungsbedarfen zu. Vor dem Hintergrund der bereits differenziert vorliegenden Informationen müssen für diese Klimarisikoanalyse zur Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit" keine separaten Analysen vorgenommen werden. Es wird daher im Folgenden ein Überblick über die bereits verfügbaren Produkte und die avisierten Weiterentwicklungen derselben gegeben.

Für die Lokalisierung von Risikogebieten und zur Priorisierung von Flächen für den Waldumbau bietet der DigitaleAtlas-Nord den Layer „Vitalitätsprognose ab 2024" an[365]. Er trifft – ausgehend von der bisherigen Entwicklung – Aussagen zur zukünftige Entwicklung der Waldvitalität. Die Ergebnisse wurden anhand der Breaks For Additive Season and Trend (BFAST) Methode und einer NDVI-Zeitserie (Normalized Difference Vegetation Index[366]) erstellt. Die Zeitserie wird dabei hinsichtlich abrupter Veränderungen und langfristiger Trends untersucht. Projektionen zur künftigen Klimaentwicklung werden dabei nicht berücksichtigt. Die im Kartenprodukt dargestellten Werte entsprechen nicht Absolutwerten zur Vitalität, sondern weisen vielmehr auf einen Vitalitätstrend hin (siehe Abbildung 76). Die kontinuierliche Skala, erlaubt keine sinnvolle Erstellung von Flächenbilanzen für ganz Schleswig-Holstein, lässt aber bei ausreichend detaillierter Betrachtung die Ableitung von Handlungsprioritäten zu.

Das MLLEV plant perspektivisch, die Aussagen durch in-situ-Erhebungen zu schärfen, da differenziertere Daten zur Bestockung aktuell nicht verfügbar sind.

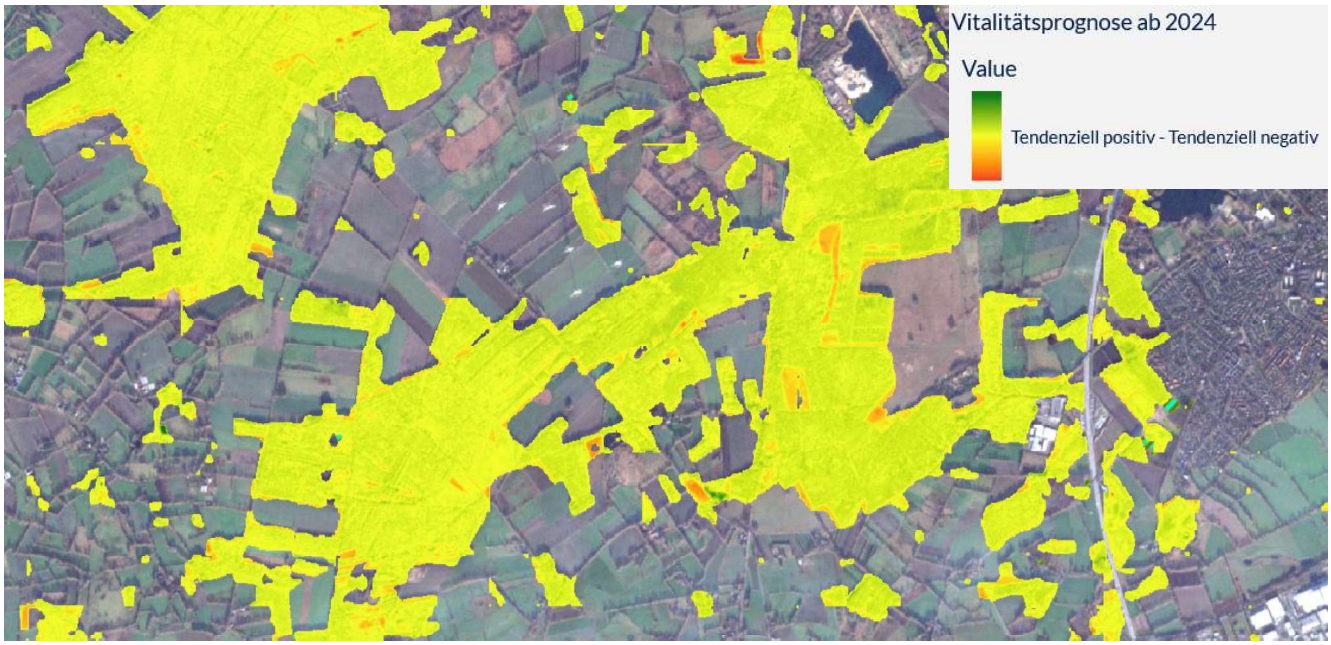


Abbildung 76: Ausschnitt aus der Vitalitätsprognose 2024 (Quelle: DigitalerAtlasNord[367])

Das Klimarisiko für die Wälder Schleswig-Holsteins und die daraus resultierenden Anforderungen für den Waldumbau sind Gegenstand intensiver Forschungs- und Beratungsarbeiten an der NW-FVA. So entwickelte die NW-FVA Empfehlungen für

[365] Digitaler Atlas Nord: Karte der Waldfläche 2024. https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/wald/index.html?lang=de#/

[366] Der NDVI ist der am häufigsten angewandte Vegetationsindex und wird auf der Basis von Fernerkundungsdaten errechnet. Er beruht darauf, dass gesunde Vegetation im roten Bereich des sichtbaren Spektralbereichs relativ wenig und im Infrarot-Bereich relativ viel Strahlung reflektiert.

[367] Digitaler Atlas Nord, s. Fußnote 365

Waldentwicklungstypen (WET[368]), die gezielte Entscheidungen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Schleswig-Holstein erlauben[369] und aus denen sich die Prioritäten für den Waldumbau ableiten lassen. Die wichtigsten Datengrundlagen für die Ableitung der WET bilden die beobachteten Klimadaten des DWD, die Klimaszenarien (RCP 2.6 und RCP 8.5, mit regionalisierten Klimaprojektionen aus dem ReKliEs-De-Projektvorhaben[370]), die forstliche Standortskartierung des Landes Schleswig-Holstein, Bodeninformationen des forstlichen Umweltmonitorings, Geländeinformationen aus dem digitalen Geländemodell DEM25 mit einer horizontal Gitterweite von 25 m, Bestockungsinformationen aus der BWI, aus Forsteinrichtungen, Betriebsinventuren und von Versuchsflächen sowie ausgewählte Waldschutzstatistiken. Die Arbeiten der NW-FVA werden stetig weiterentwickelt, um die Baumartempfehlungen für die einzelnen Standorte weiter zu präzisieren. So ist für die nächsten Jahre unter anderem die Einbindung von statistischen Wuchsmodellen in das Entscheidungsunterstützungssystem vorgesehen.

In Abhängigkeit vom verwendeten Global- und Regionalmodell ergeben sich für unterschiedliche Kombinationen der projizierten Standortfaktoren (SWB (vgl. Abbildung 70) und Nährstoffversorgung) unterschiedliche Verschiebungen der Waldflächenanteile zwischen den Kategorien des Trockenstressrisikos. Die Herleitung ist bei Böckmann et al. 2024[371] differenziert beschrieben. Generell wird deutlich, dass künftig (2071–2100) für einen Großteil der Standorte für die Hauptbaumarten ein höheres (mittleres bis hohes) Trockenstressrisiko zu erwarten ist (siehe Abbildung 77). In Abbildung 77 grau gekennzeichnete Standortskombinationen treffen für keine der betrachteten Fläche zu, Kombinationen mit weniger als 1 % Flächenanteil werden nicht abgebildet. Die Untersuchungen decken 115.733 ha der 182.457 ha großen Waldfläche in Schleswig-Holstein ab, treffen also Aussagen für einen erheblichen Teil der Waldfläche. Sie beziehen sich ausschließlich auf aktuell bestehende Waldflächen. In Schleswig-Holstein wird eine Waldmehrung angestrebt. Ziel ist es, den Flächenanteil des Waldes von 11,5 % auf 12 % der Landesfläche zu erhöhen. Es ist aber nicht klar, wo diese Mehrung konkret stattfinden wird. Aus diesem Grunde können die künftig möglicherweise bewaldeten Flächen in den Projektionen nicht berücksichtigt werden. Die Projektionen berücksichtigen nicht die tatsächliche Bestockung, sondern nur die Standortbedingungen der Waldflächen. Sie lassen also keine Aussagen darüber zu, wo die aktuelle (und bedingt aus dem aktuellen Jungwuchs ableitbare künftige Bestockung) bei den projizierten Standortbedingungen konkret unter Trockenstress geraten könnte.

Auf dem Datenportal der NW-FVA lassen sich räumlich differenziert die auf den vorab beschriebenen Analysen basierenden Baumartenempfehlungen abrufen (siehe Abbildung 78). Die Empfehlungen werden aus einem Katalog von 30 WET (davon 7 Eichenmischwälder, 6 Buchenmischwälder, 7 Besondere Laubmischwälder, 10 Nadellaubmischwälder) getroffen. Für ein und denselben Standorte können auch mehrere WET empfohlen werden. Es werden Einstufungen vorgenommen, welche WET an den jeweiligen Standorten wie klimarobust sind (sehr klimarobust, klimarobust und wenig klimarobust). Dieses Instrument ermöglicht den Waldbesitzenden eine flächengenaue Empfehlung zur aktiven Waldentwicklung. Die WET sind ausführlich in Böckmann et al. (2024) beschrieben[372].

Die Abweichungen der aktuellen Bestockung von den empfohlenen WET lassen sich aus den beschriebenen Unterlagen nicht ableiten. Hierzu sind die verfügbaren Informationen zur aktuellen Bestockung (Baumartenzusammensetzung) nicht ausreichend präzise. Zudem sind in der Regel mehrere unterschiedliche WET für die jeweiligen Standorte möglich. Die Abweichungen und der daraus resultierende Handlungsbedarf für den Waldumbau muss aus den von der NW-FVA angebotenen Karten von den Waldbesitzenden und Handlungsverantwortlichen spezifisch auf Grundlage ihrer Ortskenntnis ermittelt werden.

---

[368] „Waldentwicklungstypen sind Modelle für die Entwicklung von Waldbeständen mit bewährten Baumartenkombinationen und Mischungsformen, aus denen sich unter den lokalen standörtlichen Bedingungen unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Aspekte ein langfristig stabiles Waldgefüge entwickelt". (Böckmann et al. 2024: S. 9, s. Fußnote 369)

[369] Böckmann T., Buresch M., Evers J., Hamkens H., Nagel R.-V., Sutmöller J. 2024: Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl in Schleswig-Holstein. Göttingen, NW-FVA, 57 S. https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfva/publikationen/pdf/bockmann_2024_entscheidungshilfen_zur_klimaangepassten_baumartenwahl_in.pdf

[370] Informationen des Umweltbundesamts zu ReKliEs-De: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/reklies-de-regionale-klimaprojektionen-ensemble

[371] Böckmann et al. 2024, s. Fußnote 369: S. 4–5

[372] Böckmann et al. 2024, s. Fußnote 369

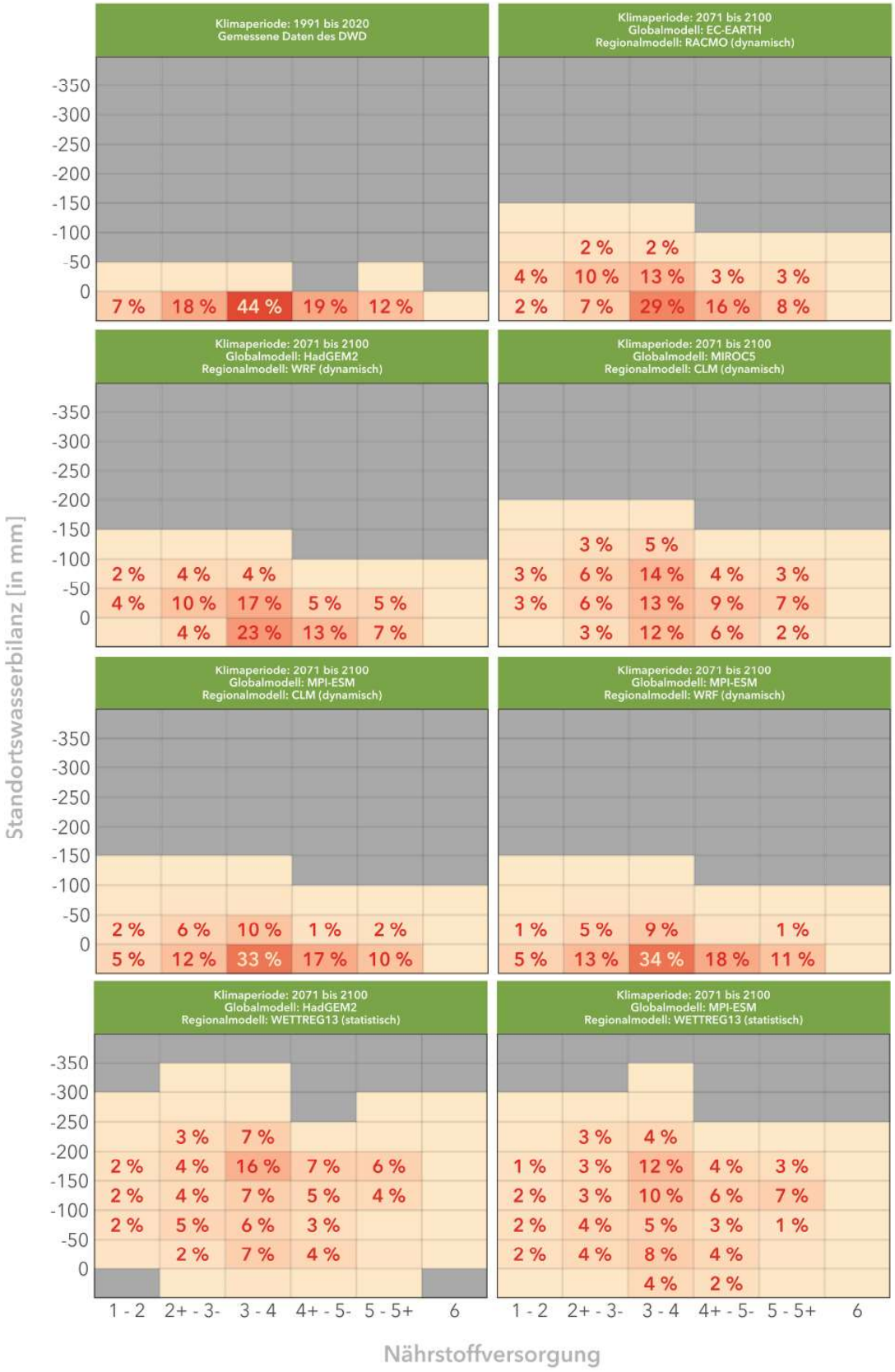


Abbildung 77: Projizierte Veränderungen der Flächenanteile von Standortskombinationen (ReKliEs-De-Kernensemble für 2071–2100) (Quelle: Böckmann et al. 2024[373])

[373] Böckmann et al. 2024, s. Fußnote 369: S. 6

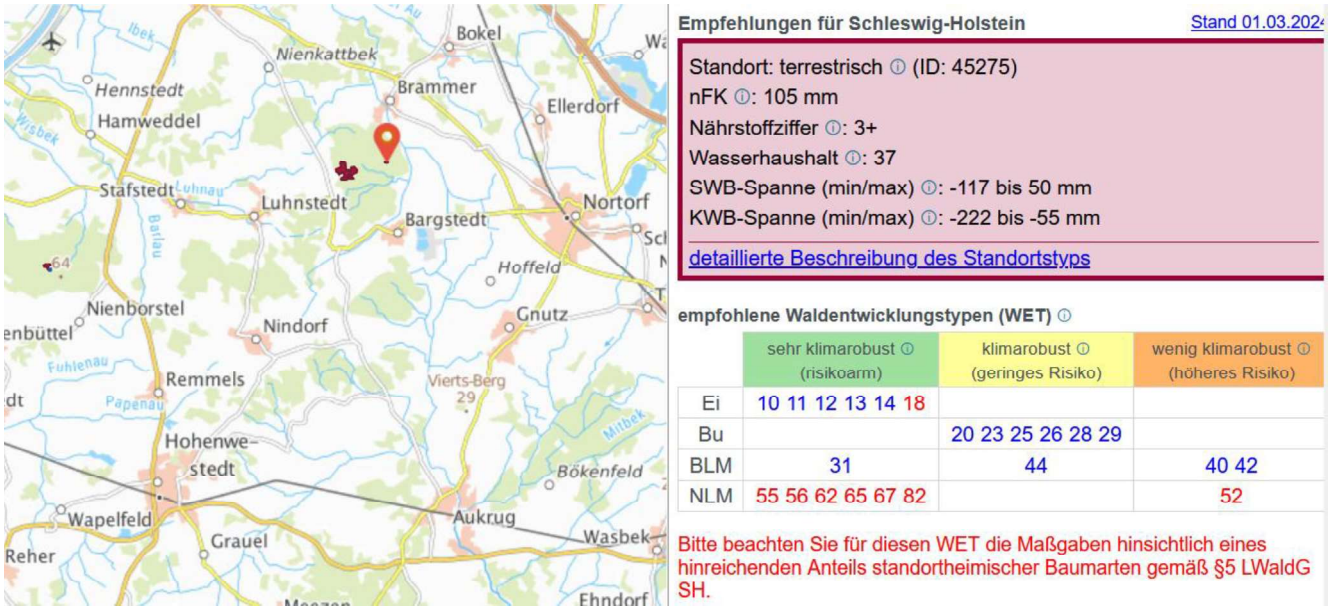


Abbildung 78: Empfehlungen zur klimaangepassten Baumartenwahl (Quelle: NW-FVA[374])

[374] Baumartenempfehlungen der NW-FVA: https://www.nw-fva.de/BaEm/map_v2.jsp?sh=1

9.5 Klimawirkung „Schadholzaufkommen durch abiotische und biotische Schäden“

9.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Bäume, die gut an ihre Standortbedingungen angepasst, also „standortgerecht“ sind, sind in der Regel widerstandsfähig gegenüber ungünstigen Wetter- und Witterungsverhältnissen. Für die langlebigen Bäume stellt der rasch vollziehende Klimawandel aber insofern eine besondere Herausforderung dar, als sich nun innerhalb ihrer Lebenszeit die Standortbedingungen stark verändern. Entsprechend diesen sich verändernden Bedingungen werden auch die Baumartenempfehlungen in der Forstwirtschaft angepasst. Das bedeutet, heute werden für dieselben Orte andere Baumarten für die Verjüngung der Bestände empfohlen. Die teilweise extremen Witterungs- oder Wetterereignisse wie Hitze, Trockenheit und Sturm schwächen oder schädigen die Bäume und können teilweise sogar zu ihrem Absterben führen. Als Folge von Absterbeprozessen entsteht Schadholz. Es zeichnet sich gegenüber dem beim regulären Holzeinschlag gewonnenen Holz oft durch schlechtere Qualitäten aus und erzeugt bei der Bringung aus den geschädigten Beständen erhöhte forstliche Aufwendungen. Auch Prozesse der Wiederbewaldung können durch hohes Schadholzaufkommen erschwert werden. Insbesondere großflächige Schadereignisse können den planmäßigen Waldumbau behindern und zu Problemen bei der Holzvermarktung führen.

9.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

9.5.2.1 Klimasignale

Hitze und Trockenheit verschlechtern die Lebensbedingungen für die in Mitteleuropa typischerweise vorkommenden Baumarten (siehe die Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit“). Sie machen die Bäume anfälliger gegenüber weiteren Stressfaktoren wie Stürmen und Schaderregerbefall. Seit Mitte der 1980er Jahre steigen die Lufttemperaturen in Schleswig-Holstein signifikant an. Auch die Anzahl der Heißen Tage hat in den letzten rund 70 Jahre zugenommen (siehe Klimaanalyse, Abb. 6). Der Hitzestress für die Bäume ist also größer geworden. In Schleswig-Holstein sind lang andauernde Trockenperioden bisher selten aufgetreten. Die Niederschlagssummen haben in den letzten Jahren eher zugenommen, insbesondere im Winterhalbjahr (siehe Klimaanalyse, Abb. 12). Veränderungen der innerjährlichen Niederschlagsverteilung und die Tendenz zu einer stärkeren Konzentration der Niederschläge auf weniger Regentage sind in Schleswig-Holstein unter anderem durch den maritimen Einfluss von Nord- und Ostsee weniger stark ausgeprägt als im Binnenland.

Windwürfe in Wäldern und das damit verbundene Schadholzaufkommen sind vor allem die Folge größerer Sturmereignisse. Schleswig-Holstein zählt zu den windreichsten Bundesländern. Die Lage zwischen Nord- und Ostsee führt zu höheren Windgeschwindigkeiten als im Binnenland. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten entlang der Küsten auf, die niedrigsten im Süden Schleswig-Holsteins. In der Zusammenschau langjähriger Windmessungen des DWD an verschiedenen Messstationen in Schleswig-Holstein wird deutlich, dass die mittleren Windgeschwindigkeiten sowie Windspitzen jährlichen Schwankungen unterliegen. Signifikante Trends der Entwicklung sind nur an einzelnen Stationen festzustellen. In diesen Fällen zeigen die Trends eine signifikante Abnahme der Windgeschwindigkeiten über die letzten Jahrzehnte (siehe Klimaanalyse, Abb. 22). Im Klimareport Schleswig-Holstein des DWD[375] deuten auch die aus Luftdruckdaten berechneten Jahresmittelwerte des geostrophischen Windes auf abnehmende Windgeschwindigkeiten in Schleswig-Holstein im Laufe der letzten rund 70 Jahre hin. Diese Entwicklung schließt aber keineswegs aus, dass singuläre Sturmereignisse erhebliche Schäden anrichten können. In den letzten zehn Jahren waren Sturmschäden für 47,6 % des Schadholzaufkommens in den Wäldern Schleswig-Holsteins verantwortlich. So waren die Orkane „Christian“ und „Xaver“ im Herbst / Winter 2013 die Ursache für die großen Schadholzmengen, die im Folgejahr 2014 registriert wurden. Im Februar 2022 führte die Wintersturmserie „Ylenia“, „Zeynep“ und „Antonia“ zu erheblichen Schäden im Wald. Stürme haben auch indirekt Einfluss auf das Schadholzaufkommen, da mit geworfenem Holz das Brutraumangebot für Schaderreger deutlich größer wird und sich damit die Bedingungen für deren Vermehrung deutlich verbessern.

[375] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 30. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

9.5.2.2 Exposition

Nach den Ergebnissen der 4. BWI verfügt Schleswig-Holstein über rund 182.457 Hektar **Waldfläche**, was 11,5 % der Landesfläche entspricht[376]. Es gibt einen positiven Trend zur Erhöhung der Waldfläche, was den Erfolg der intensiven Anstrengungen für die Neuwaldbildung und Walderhaltung bestätigt. So wies die dritte BWI nur 11 % der Landesfläche als Wald aus. Dennoch bleibt Schleswig-Holstein mit Abstand das Flächenland mit dem geringsten Waldanteil in Deutschland – der Waldanteil beläuft sich im Bundesdurchschnitt auf 32,3 %. Der Wald ist zudem sehr kleinteilig. Solche Splitterwaldflächen können selten ein eigenes schützendes Waldinnenklima entwickeln. Es dominieren die witterungsbedingten Außeneinflüsse (Hitze, starke Sonneneinstrahlung und Windangriff).

Schadereignisse führen vor allem in **vorratsreichen Wäldern** zu großen Schadholzmengen. Im bundesweiten Vergleich weist Schleswig-Holstein mit 342 Vfm/ha einen relativ hohen ideellen Durchschnittsvorrat auf. Dieser beschreibt den Vorrat einer Baumart bezogen auf die von ihr eingenommene Waldfläche und ist somit als Dichtemaß aufzufassen. Der Holzvorrat hat in den letzten zehn Jahren um 9 % zugenommen. Unter den Laubbäumen haben Eiche (344 Vfm/ha) und Buche (449 Vfm/ha) im Ländervergleich die höchsten Hektarvorräte, bei den Nadelbäumen ist es die Fichte mit 429 Vfm/ha. Die Vorräte konzentrieren sich auf die Durchmesserstufen von 30 bis 60 cm.[2] Dies gilt insbesondere für die Nadelbäume und bedeutet entsprechend, dass in diesen vorratsreichen und zugleich klimasensibleren Bestockungen das Risiko eines hohen Schadholzaufkommens bei Schadereignissen aktuell besonders hoch ist.

9.5.2.3 Sensitivität

Hitze, Trockenheit und Stürme stellen grundsätzlich für alle Wälder in Schleswig-Holstein eine Belastung dar, allerdings ergeben sich infolge der Baumartenzusammensetzung, des Baumalters, der Waldflächengrößen, der Standortbedingungen und der Besitzarten sowie der Vorkommens- und Ausbreitungsgebiete wärmeliebender Schadinsekten regionale Unterschiede in der Sensitivität.

Die **Baumarten** sind gegenüber Hitze, Trockenheit und Windwurf unterschiedlich resilient. Als generell empfindlicher gelten Nadelbäume und hier vor allem die Fichte. Als flachwurzelnde Baumart kann sie zur ihrer Wasserversorgung tiefe Bodenschichten nicht oder nur sehr eingeschränkt erreichen und ist zudem weniger standfest und damit auch besonders wurfgefährdet. Die Fichte hat mit 13 % zwar den höchsten Flächenanteil im Hauptbestand[377], ist aber im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (21 %) mit einem deutlich geringeren Anteil bestandsbildend. Schwerpunkte des Fichtenvorkommens sind der Süden des Landes und der Bereich der Geest im mittleren Schleswig-Holstein (siehe die Klimawirkung „Beeinträchtigung des Waldzustands unter anderem durch Hitze und Trockenheit"). Mit einem Flächenanteil von 68 % an der Baumartenzusammensetzung des Hauptbestands herrschen in Schleswig-Holstein eindeutig die Laubbäume vor. Die Buche hat dabei mit 21 % den höchsten Anteil (zu den ebenfalls mit 21 % vertretenen Laubbäume mit niedriger Lebensdauer gehören unter anderem Birke, Pappel und Eberesche). Gerade die Buche ist in Schleswig-Holstein aber infolge der extrem trockenen Jahre 2018 bis 2020 nach wie vor gezeichnet. Sie kann den Erfahrungen zufolge also nicht unter allen Bedingungen als klimaresilient gelten. Selbiges gilt für die Eiche, denn auch ihr Zustand hat sich in Nachfolge der trockenen Jahre verschlechtert (siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator FW-I-1 „Waldzustand – Kronenverlichtung").

Als im Bundesvergleich günstig stellt sich in Schleswig-Holstein die **Baumartenmischung** in den Bestockungen dar. Mischwälder gelten als besonders klimaresilient. Ihr Anteil beträgt 91 % der Waldfläche, und der weit überwiegende Teil der Mischwälder ist durch Laubbäume geprägt. Von den verbleibenden 9 % sind nur 3 % Nadelbaum-Reinbestände (gegenüber 16 % im bundesweiten Durchschnitt). Grundsätzlich sind die Wälder Schleswig-Holsteins durch ihren hohen Laubholz- und Mischbestandsanteil vergleichsweise gut auf die sich ändernden klimatischen Verhältnisse eingestellt.

Eine wichtige Rolle spielen auch die **Standortverhältnisse**. Die Bodentrockenheit unter Wald hat in den zurückliegenden 60 Jahren im gleitenden 31-jährigen Mittel signifikant zugenommen (siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator BO-I-1 „Bodentrockenheit"). Vor allem auf Böden mit geringer Wasserhaltekapazität (FKWeff Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) kommt es vergleichsweise schnell zur Austrocknung. Im Bereich der Geest, wo die Böden durch pleistozäne

[376] MLLEV o.J., s. Fußnote 343

[377] flächenmäßig dominierende Baumschicht, auf der das wirtschaftliche Gewicht liegt

Sandablagerungen geprägt sind, ist die FKWeff gering, während die Böden im östlichen Hügelland und in den Marschen deutlich höhere FKWeff-Werte aufweisen[378].

Eine Rolle für die Sensitivität spielt auch die **Waldbesitzform**. Die Wälder Schleswig-Holsteins sind zu mehr als der Hälfte (50,4 %) im privaten Eigentum (gegenüber 48 % im Bundesdurchschnitt). Über 42 % der Waldeigentümerinnen und -eigentümer verfügen über weniger als 20 ha Waldbesitz. Der Waldbesitz ist damit sehr kleinflächig, womit strukturelle Nachteile einhergehen. Kleine Waldflächen bzw. Splitterwaldflächen sind in der Bewirtschaftung oftmals nur wenig lukrativ. In einigen Fällen mangelt es auch an waldbaulicher Kompetenz, wenn die Waldbesitzenden nur geringe Kapazitäten für Weiterbildungen haben. Dies erweist sich vor allem in Anbetracht der steigenden durch den Klimawandel bedingten Herausforderungen als Nachteil.

Das Risiko biotischer Schäden steht wesentlich im Zusammenhang mit dem **Schaderregerauftreten**. Dabei ergeben sich Wechselwirkungen, denn Schaderreger treten vermehrt in Bereichen auf, in denen die Vermehrungsbedingungen besonders günstig sind, und dies wiederum ist vom Baumzustand und – insbesondere bei den Borkenkäfern – vom Brutraumangebot (Schadholz) abhängig. Informationen zum Schaderregerauftreten in Schleswig-Holstein lassen sich dem Waldschutz-Meldeportal der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt[379] (NW-FVA) entnehmen. Dieses liefert einen Überblick, leistet aber keine vollständige flächendeckende Erfassung, da es vor allem von den Landesforsten mit Daten bestückt wird; nur vereinzelt werden auch Daten aus dem Körperschaftswald und von Privatwaldbesitzenden zugeliefert. Die Aktualisierung des Datenbestands erfolgt einmal jährlich in der Regel im Februar für das vorangegangene Jahr. Aktuell überwiegt in Schleswig-Holstein die Gefährdung durch die Borkenkäferarten und hier insbesondere durch den Buchdrucker. Schwerpunkt des Befalls ist der südliche Geestbereich, der sich mit den Schwerpunkten des Fichtenvorkommens deckt. Laubbaumschädlinge spielen nach wie vor eine nur geringe Rolle. Der Eichenprozessionsspinner (EPS) kommt lokal insbesondere im südlichen Schleswig-Holstein vor, betrifft aber weniger die Wälder als vielmehr Einzelgehölze außerhalb des Waldes (inklusive Alleebäume). Eichenfraßgesellschaften könnten mit der Nord-Verschiebung der Artenverbreitung künftig in Schleswig-Holstein eine größere Rolle spielen.

9.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

9.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Das Schadholzaufkommen wird landesweit erfasst. Allerdings bilden die gemeldeten Daten nur einen Teil des tatsächlich angefallenen Schadholzes ab, da die Datenerfassung insbesondere für den Privatwald nur unvollständig ist. Der Indikator FW-I-3 des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holsteins „Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen" (siehe Abbildung 79) bildet die Entwicklung des Schadholzaufkommens seit 2006 differenziert für die abiotischen (Wind/Sturm) und biotischen (Insekten) und übrige Ursachen ab.

Der Anteil nicht planmäßiger, also durch Schadholzanfall bedingter Nutzungen am Gesamteinschlag zeigt keinen signifikanten Trend. Auch die dominante Verursachung des Schadholzaufkommens schwankt stark zwischen den Jahren. Während das Schadgeschehen in den Jahren 2013 bis 2018 stark von Sturmschäden dominiert war, gewannen Insektenschäden infolge der Dürrejahre 2018 bis 2020 an Bedeutung.

[378] Umweltportal Schleswig-Holstein: Bodenbewertung – Wasserrückhaltevermögen (FKWe) https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuid=3a207868-6ef0-45d6-9378-c4dcfac2a34d

[379] Waldschutz-Meldeportal: https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/software/wsmp

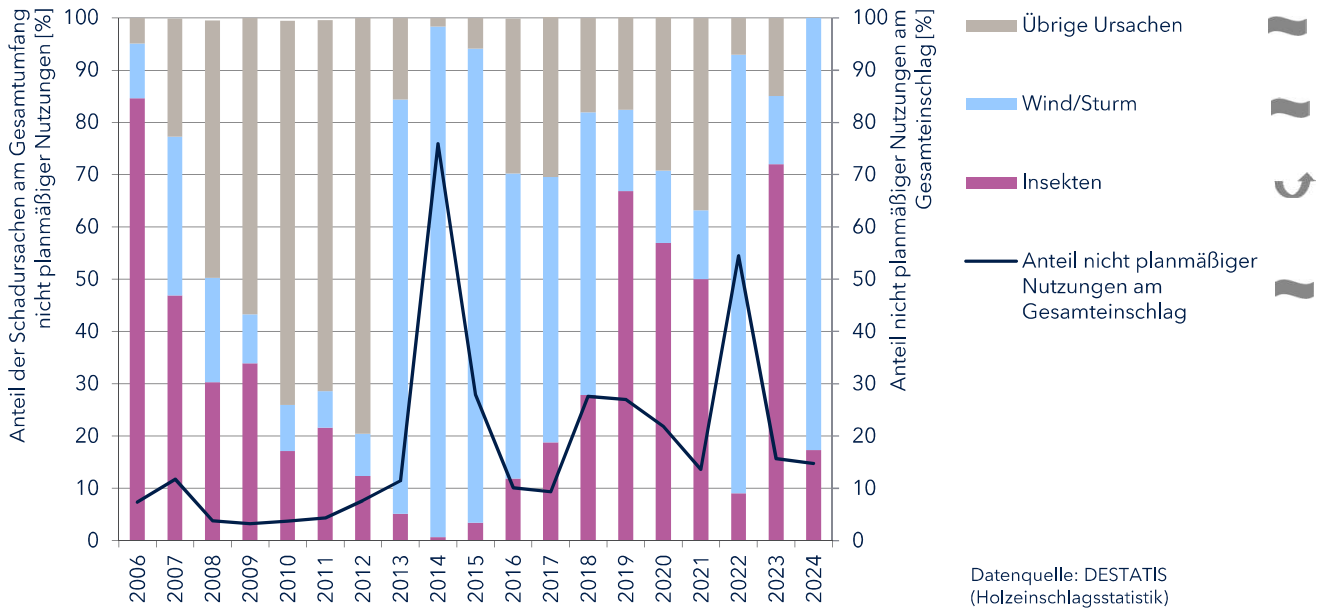


Abbildung 79: Schadholzaufkommen in Schleswig-Holstein (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator FW-I-3[380])

9.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Das künftige Schadgeschehen in Schleswig-Holstein wird erheblich von den Fortschritten beim Waldumbau abhängen. Der weiteren Zurückdrängung der Fichte auf nicht geeigneten Standorten kommt dabei eine besondere Rolle zu. Die Ergebnisse der 4. BWI[381] zeigen, dass der Fichtenanteil in der Verjüngung (unter 4 m) mit 15 % einen höheren Anteil hat als im Hauptbestand. Dies wird auf den Einfluss von Schalenwild zurückgeführt und führt langfristig zu weniger strukturierten und zu baumartenärmeren Wäldern, da die vom Wild bevorzugte Baumarten nicht mehr in ausreichender Anzahl aus der Verbisshöhe herauswachsen können. Die Fichte wird – zumindest im Landeswald – nur noch als Mischbaumart akzeptiert, so dass zu erwarten ist, dass der Anteil der besonders empfindlichen Fichtenreinbestände in Zukunft weiter zurückgehen wird. Damit sind – zumindest was die Fichte betrifft – günstigere Ausgangsbedingungen für die Zukunft zu erwarten. Dies ist waldbaustrategisch insofern von herausragender Bedeutung, als künftig mit einer weiteren Erhöhung des Schädlingsdrucks gerechnet werden muss. In der KWRA 2021 des Bundes wurde mithilfe des PHENIPS-Modells[382] die potenzielle Anzahl der Vermehrungszyklen des Buchdruckers berechnet. Da die Brutzeit des Buchdruckers nicht nur von der Tageslänge, sondern auch von der Temperatur beeinflusst ist, wird erwartet, dass es in Zukunft zu einer steigenden Anzahl von Vermehrungszyklen kommen wird. Im Bezugszeitraum 2017–2000 waren in Schleswig-Holstein zwei Vermehrungszyklen pro Jahr möglich. Unter den Bedingungen des RCP8.5 könnten es bis zur Mitte des Jahrhundert zwei und bis zum Ende des Jahrhundert drei zusätzliche Zyklen sein, was einen deutlich erhöhten Schädlingsdruck zur Folge hätte.

Künftige Schäden an den Laubbaumarten sind nur schwer zu projizieren, da es noch immer unzureichende Erfahrungswerte mit der Klimaresilienz der einzelnen Laubbaumarten gibt. Insbesondere die Einflüsse durch ein verändertes Schaderregerauftretens lassen sich für die Zukunft nur schwer abschätzen. So ist die Zuwanderung und darauf folgende Ausbreitung neuer Schaderregerarten kaum vorhersehbar. Dem Schaderregermonitoring wird daher in Zukunft eine weiter wachsende Bedeutung zukommen. Im besonderen Fokus stehen dabei die Insekten, da sich von steigenden Temperaturen und zunehmender Trockenheit am stärksten profitieren. Für Schleswig-Holstein wird mit einer weiteren Zunahme von Heißen Tagen und der Dauer von Hitzeperioden bis zur Mitte und zum Ende des Jahrhunderts gerechnet (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Für die Niederschlagsmengen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27) sowie die Anzahl und Dauer von Trockenperioden (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29) sind die projizierten Entwicklungen uneindeutig. Je nach zugrunde liegendem Emissionsszenario könnte es aber auch hier zu einer Zunahme und damit zu steigendem Trockenstress und einer damit verbundenen sinkenden Vitalität von Bäumen kommen.

[380] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt FW-I-3: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/schadholz.pdf

[381] MLLEV o.J., s. Fußnote 343

[382] Baier et al. 2007 und Schopf et al. 2009 zitiert in Renner et al. 2021, s. Fußnote 264: S. 292

Gemäß den aktuellen Klimaprojektionen wird die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Schleswig-Holstein bis zum Ende des Jahrhunderts eher abnehmen[383]. Windprojektionen sind allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass heftigere Stürme mit kurzfristig hohen Windgeschwindigkeiten in Zukunft auch häufiger auftreten und diesen Stürmen dann auch Wälder zum Opfer fallen.

Mit Blick auf die künftige Vorrats- und Zuwachsentwicklung wird absehbar das Risiko hoher Schadholzaufkommen insbesondere im Nadelwald eher sinken. Aktuell steht – den üblichen Zielstärkenvorgaben entsprechend – ein Großteil der Nadelbäume kurz vor oder bereits in der Hauptnutzung. Die vorratsstarken Fichtenbestockungen werden also sukzessive abgebaut werden, sodass auch das Risiko eines Anfalls großer Schadholzmengen nach witterungsbedingten Extremereignissen eher zurückgehen wird.

Mit Blick auf den hohen Anteil von Privatwald und dessen ungünstiger Größenstruktur ist für die Zukunft wichtig, dass forstwirtschaftliche Zusammenschlüssen weiter gestärkt werden. Dies verbessert die Voraussetzungen, dass auch auf diesen Flächen ein gezielter Umbau hin zu klimaresilienteren Bestockungen stattfinden kann.

[383] GERICS – Climate Service Center Germany: Klimaausblick Schleswig-Holstein. https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

10 Handlungsfeld Menschliche Gesundheit

10.1 Relevanz des Handlungsfelds

Die Gesundheit des Menschen ist ein Schlüsselfaktor für hohe Lebensqualität. Als wichtige Voraussetzung für Aktivitäten in allen Lebensbereichen – von Freizeit und Erholung über Bildung und Arbeit bis hin zu gesellschaftlichem Miteinander und sozialer Teilhabe – prägt sie den Alltag. Ebenso facettenreich wie ihre Bedeutung ist das Spektrum der Faktoren, die Einfluss auf die menschliche Gesundheit nehmen. Merkmale wie Alter, Geschlecht und genetische Ausstattung bestimmen die Gesundheit ebenso wie individuelle Lebensgewohnheiten und -umstände, soziale Netze sowie allgemeine sozioökonomische, kulturelle und politische Rahmenbedingungen. In diesem komplexen Zusammenspiel kommt auch der natürlichen Umwelt eine zentrale Rolle zu. Das Klima und seine Veränderung wirken direkt auf das körperliche und psychische Wohlbefinden. Die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Gesundheit erfolgen zudem indirekt, indem sie die Umwelt zum Beispiel über die Luft- und Wasserqualität, das Vorkommen von potenziell gesundheitsschädlichen Umweltmedien oder die Verfügbarkeit und Nutzung von Erholungsräumen gestalten. Mit dem fortschreitenden Klimawandel sind zunehmende Belastungen für die menschliche Gesundheit, aber auch für das Gesundheitssystem zu erwarten. Die Weltgesundheitsorganisation bezeichnet den Klimawandel als eine fundamentale Gesundheitsbedrohung für die Menschheit. Schätzungen gehen davon aus, dass zwischen 2030 und 2050 jährlich rund 250.000 zusätzliche Todesfälle infolge des Klimawandels auftreten werden. Die zusätzlichen Kosten für den Gesundheitssektor weltweit werden bis 2030 auf etwa 2 bis 4 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt.[384]

Schleswig-Holstein zählt mit derzeit rund drei Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern zwar nicht zu den bevölkerungsreichen deutschen Bundesländern, die Entwicklung der vergangenen rund 70 Jahre ist aber durch einen nahezu kontinuierlichen Bevölkerungsanstieg geprägt. Mit anhaltendem Wachstum ist innerhalb des Landes von einer steigenden potenziellen Betroffenheit auszugehen. Hinzu kommt, dass Schleswig-Holstein aufgrund seiner Küstenlage zwischen Nord- und Ostsee, seiner vielfältigen Natur- und Kulturlandschaften sowie seines breiten Freizeit- und Erholungsangebots zu den beliebtesten Reiseländern Deutschlands gehört. Neben der Wohnbevölkerung halten sich daher insbesondere in den Ferien- und Urlaubszeiten zahlreiche Touristinnen und Touristen im Land auf, deren Gesundheit durch Wetter, Witterung und Klima beeinträchtigt werden kann. Der Klimawandel betrifft verschiedene Bevölkerungsgruppen in unterschiedlicher Weise. Zu den besonders vulnerablen Gruppen gehören unter anderem chronisch Kranke, Menschen mit eingeschränkter Mobilität, Schwangere sowie Kinder und Betagte. Der demografische Wandel hin zu einer immer älteren Bevölkerung erhöht das gesundheitliche Risiko zusätzlich.

Der Schutz der Gesundheit von Bevölkerung und Gästen ist ein zentrales öffentliches Anliegen und fester Bestandteil der Vorsorge- und Daseinsaufgaben des Landes. Schleswig-Holstein verfügt über ein leistungsfähiges Gesundheitssystem. Es zeichnet sich durch ein flächendeckendes Netz ambulanter und stationärer Versorgungseinrichtungen, Krankenhäuser sowie spezialisierter medizinischer Angebote aus. Mit den Universitätskliniken in Kiel und Lübeck bestehen zwei bedeutende Institutionen zur medizinischen Forschung und Lehre, die zugleich eine wichtige Rolle in der regionalen und überregionalen Versorgung übernehmen. Ergänzt wird das Gesundheitssystem durch einen gut ausgebauten Rettungsdienst, den Öffentlichen Gesundheitsdienst sowie zahlreiche Einrichtungen der Pflege und Rehabilitation. Die bestehenden Strukturen bilden bereits ein solides Fundament, um die Gesundheit der Bevölkerung Schleswig-Holsteins auch zukünftig sicherzustellen. Um den wachsenden Anforderungen infolge des Klimawandels an die Infrastruktur und das Personal zu begegnen, bildet die weitere Stärkung des Gesundheitssystems einen Kern der Klimaanpassung im Gesundheitsbereich. Zentrale Handlungserfordernisse und Aktivitäten bestehen außerdem darin, aktuelle Gesundheitsgefahren zu reduzieren, potenzielle zukünftige Gesundheitsgefahren frühzeitig zu erkennen, darüber zu informieren und gegenzusteuern sowie die Resilienz der Bevölkerung gegenüber klimabedingten Gesundheitsgefahren zu stärken.

[384] WHO – Weltgesundheitsorganisation 2023: Climate Change.
https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

10.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

10.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze

Hitze zählt zu den klimatischen Parametern mit besonderer Relevanz für die menschliche Gesundheit. Infolge des Klimawandels steigen nicht nur die Durchschnittstemperaturen der Luft, sondern es kommt auch häufiger zu intensiveren und länger andauernden Hitzeperioden. Der menschliche Körper reagiert auf hohe Temperaturen unter anderem mit Schwitzen und einer verstärkten Hautdurchblutung, um die Wärmeabgabe zu steigern.[385] Diese Regulationsmechanismen belasten den Kreislauf, wirken sich auf unterschiedliche Organe aus und können dadurch bereits bestehende Beschwerden verstärken.[386] Beeinträchtigungen des allgemeinen Wohlbefindens umfassen eine eingeschränkte Konzentrationsfähigkeit, Leistungsabfall und psychische Belastungen. Eine schnellere Herzfrequenz und gesteigerter Sauerstoffbedarf können insbesondere bei Menschen mit Vorerkrankungen des Herzens Komplikationen wie Ischämie, Infarkt oder Kreislaufkollaps verursachen. Höherer Flüssigkeitsverlust infolge der Schweißproduktion kann zu Dehydrierung und reduzierter Blutviskosität führen. Dadurch steigt unter anderem das Risiko für Thrombosen. Hitze steht auch in Verbindung mit respiratorischen Beeinträchtigungen. Zu den häufigsten hitzebedingten Erkrankungen des Atemsystems gehören das Lungenödem, das akute Atemnotsyndrom sowie hitzebedingte Hyperventilation. In schwerwiegenden Fällen kann die Hitzeeinwirkung zum Tod führen.[387]

Bisher ist Hitze nicht Bestandteil der offiziellen Todesursachenstatistik. Systematisch erfasste Zahlen zur hitzebedingten Morbidität und Mortalität liegen daher nicht vor. Allerdings deuten Schätzungen des Robert Koch Instituts auf der Grundlage eines statistischen Modells darauf hin, dass es in den letzten Jahren immer wieder zu hitzebedingten Sterbefälle in Schleswig-Holstein gekommen ist. In außergewöhnlich heißen Jahren und in Sommern mit extremer Hitze wie 1994, 2006 und 2008 traten mehr Sterbefälle auf. Vor allem aufgrund der günstigen klimatischen Ausgangslage liegen die Anzahlen in Schleswig-Holstein bisher aber vergleichsweise niedrig. Zur quantitativen Abschätzung des zukünftigen Risikos wurde für diese Klimawirkung eine Verschneidung von räumlichen Projektionsdaten zur zukünftigen Anzahl Heißer Tage mit Daten der Bevölkerungsvorausberechnung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der gewählten Parameterkombination bis zur Mitte des Jahrhunderts das relativ höchste Risiko für das Auftreten hitzebedingter gesundheitlicher Beeinträchtigungen im Süden Schleswig-Holsteins konzentriert. In den Landkreisen Pinneberg, Segeberg und Stormarn treffen vergleichsweise hohe Bevölkerungszahlen auf die unter den Bedingungen des RCP8.5-Szenarios für Schleswig-Holstein meisten projizierten Heißen Tage. In den genannten drei Landkreisen konzentrieren sich zudem Gemeinden mit einer zukünftig hohen absoluten Zahl von Hochbetagten, die als vulnerable Gruppe besonders anfällig gegenüber hitzebedingten Gesundheitsbeeinträchtigungen sind. Die Analyse stellt aufgrund der limitierten Parameterzahl allerdings nur eine vereinfachte Risikoabschätzung dar. Mit Blick auf die Maßnahmenentwicklung und -umsetzung ist zu berücksichtigen, dass grundsätzlich die gesamte Bevölkerung Schleswig-Holsteins von der Klimawirkung betroffen sein kann.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 10.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator GE-I-1: Hitzebedingte Sterbefälle[388]
Indikator GE-I-2: Hitzewarnungen[389]

[385] Winklmayer C., Matthies-Wiesler F., Muthers S., Buchien S., Kuch B., an der Heiden M., Mücke H. G. 2023: Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. Gesundheitsberichterstattung des Bundes gemeinsam getragen von RKI und Destatis. Journal of Health Monitoring, 8, S4. https://doi.org/10.25646/11645

[386] Ebi K., Capon A., Berry P., Broderick C., de Dear R., Havenith G., Honda Y., Kovats S., Ma W., Malik A., Morris N., Nybo L., Seneviratne S., Vanos J., Jay O. 2021: Hot weather and Heat Extremes: Health Risks. The Lancet, 398, 10301.

[387] Winklmayer et al. 2023, s. Fußnote 385

[388] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/hitze_sterbefaelle.pdf

[389] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/hitzewarnung.pdf

10.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)

Der Klimawandel beeinflusst atmosphärische Zirkulationsmuster und dadurch auch Sonnenscheindauer, Bewölkung und den Ozonhaushalt. Vor allem bei wolkenarmen Wetterlagen und bei Niedrigozonereignissen, die im Zuge steigender Temperaturen und stabilerer Hochdrucklagen häufiger auftreten, erreicht mehr potenziell gesundheitsschädliche UV-Strahlung die Erdoberfläche. Messungen der UV-Strahlung an einzelnen Stationen in Schleswig-Holstein lagen insbesondere in sonnenscheinreichen Sommern wie 2018, 2020 und 2022 im Bereich einer sehr hohen gesundheitlichen Gefährdung. Belastbare Aussagen zu langfristigen Trends der UV-Strahlung sind aufgrund begrenzter Messreihen aber bisher nicht möglich. Gleichzeitig führen höhere Temperaturen und sonniges Wetter zu veränderten Verhaltensmustern, da sich Menschen vermehrt und länger im Freien aufhalten. Erhöhte UV-Strahlungsexposition kann Haut und Augen schädigen. Zu den gesundheitlichen Beeinträchtigungen zählen unter anderem Sonnenbrand und eine beschleunigte Alterung der Haut infolge von Zellschäden. Besonders kritisch ist die Zunahme des Risikos für Hautkrebs, der im Falle der malignen Variante in schweren Fällen zum Tod führen kann.

Die gesundheitlichen Auswirkungen spiegeln sich in der Krebsstatistik wider: Die Zahl der Neuerkrankungen am malignen Melanom der Haut ist in Schleswig-Holstein seit Ende der 1990er Jahre statistisch signifikant gestiegen. Im Durchschnitt der 20 Jahre 2003–2022 starben in Schleswig-Holstein jährlich knapp 100 Personen an schwarzem Hautkrebs. Wissenschaftliche Untersuchungen und Modelle deuten darauf hin, dass die Menge der bodennahen besonders gesundheitsschädlichen UV-B-Strahlung trotz einer teilweisen Erholung der schützenden Ozonschicht im Verlauf des 21. Jahrhunderts zunehmen könnte. Damit ist auch für Schleswig-Holstein von einem steigenden Risiko für UV-bedingte Gesundheitsschäden auszugehen. Eine besondere Betroffenheit ergibt sich neben den bevölkerungsreichen Landkreisen im Süden des Landes auch für die Küstenregionen, in denen Menschen vor allem in den warmen und sonnenscheinreichen Monaten viel Zeit in der Sonne verbringen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 10.5

Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft

Die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse beeinflussen die Verbreitung und phänologische Entwicklung von Pflanzen. Der Klimawandel wirkt sich damit unmittelbar auf die Belastung der menschlichen Gesundheit durch pflanzliche Aeroallergene aus. Steigende Temperaturen führen infolge einer verlängerten Vegetationsperiode zu einer längeren Pollensaison und einer veränderten Pollenzusammensetzung. Wärmere Bedingungen begünstigen zudem die Ausbreitung bestimmter invasiver allergener Pflanzenarten wie der Beifuß-Ambrosie. Ihre hochpotenten Pollen können bereits in geringen Konzentrationen starke allergische Reaktionen auslösen. Neben der lokalen Pollenproduktion trägt auch die Fernverfrachtung allergener Pollen aus anderen Regionen Deutschlands zur Belastung in Schleswig-Holstein bei. Die gesundheitlichen Folgen reichen von allergischer Rhinitis über Bindehautentzündungen bis hin zur Verschlechterung bestehender Atemwegserkrankungen und können die Lebensqualität erheblich beeinträchtigen.

In Schleswig-Holstein sind phänologische Veränderungen bei allergenen Pflanzen zu beobachten. Daten zeigen für die Hängebirke und das Wiesen-Knäuelgras einen signifikant früheren Blühbeginn über die vergangenen Jahrzehnte. Historische Pollenflugstatistiken weisen zudem auf eine Zunahme starker Belastungssituationen hin. Zuletzt kam es in einzelnen Jahren nahezu ganzjährig zu Belastungen durch Gräserpollen. Konkrete Projektionsdaten zum zukünftigen Vorkommen von Aeroallergenen oder zur Verlängerung der Pollensaison liegen nicht vor. Projektionen für diese Parameter unterlägen ohnehin großen Unsicherheiten, da sie zahlreichen klimatischen und nicht-klimatischen Einflussfaktoren unterliegen. Grundsätzlich ist aber aufgrund der projizierten Erwärmung bei gleichzeitig ausreichenden Niederschlägen zukünftig von einer weiteren Verlängerung der Vegetations- und Pollensaisons auszugehen. Im Süden des Landes blühen allergene Pflanzen schon heute früher, sodass dort mit einer höheren Betroffenheit als im Norden zu rechnen ist. Auch den Küstenregionen kommt aufgrund möglicher Fernverfrachtung von Pollen und hoher Exposition von Einheimischen und Urlaubsgästen wachsende Bedeutung zu.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 10.6

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator BD-I-1: Wildpflanzenphänologie

10.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[390] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 38 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 38: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Verbreitung und Abundanzveränderung von möglichen Vektoren, Veränderung der Inzidenz vektorassoziierter Krankheiten	Die Problematik der Verbreitung und Abundanz von Vektoren sowie der Inzidenz vektorassoziierter Krankheiten hat in den vergangenen Jahren bundesweit an Bedeutung gewonnen, ist für Schleswig-Holstein derzeit jedoch noch von geringer Relevanz. Kritische, vom Klimawandel begünstigte Vektoren wie die Asiatische Tigermücke oder Zecken, die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen, sind bislang nicht etabliert. Die Datenlage ist schwach, da kein systematisches Vektormonitoring existiert und verfügbare Informationen überwiegend aus Einzelfunden und Citizen-Science-Projekten stammen. Langfristig ist davon auszugehen, dass sich infolge des Klimawandels und begünstigt durch die intensiven Handels- und Tourismusaktivitäten als Quellen der Einschleppung Vektoren in Schleswig-Holstein etablieren und stärker verbreiten könnten.
Veränderung der Badegewässerqualität	Steigende Wassertemperaturen und ein verändertes Niederschlagsregime können das Wachstum von potenziell gesundheitsschädlichen Cyanobakterien, Vibrionen und weiteren aquatischen Mikroorganismen begünstigen. Vibrionen treten insbesondere in küstennahen Bereichen der Ostsee auf, während in Binnengewässern vor allem Zerkarien nach längeren Warmwetterperioden gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen können. Die Klimawirkung wird grundsätzlich als relevant für Schleswig-Holstein eingeschätzt, unter anderem mit Blick auf die hohe Bedeutung sicherer Badegewässer für die touristische Nutzung. Die Datenlage ist jedoch eingeschränkt, da weder zur Konzentration von Vibrionen noch für Zerkarien oder Algen ein regelmäßiges, standardisiertes und engmaschiges Monitoring besteht. Zudem fehlen belastbare Schwellenwerte für Risikobewertungen. Projektionen deuten darauf hin, dass sich mit fortschreitendem Klimawandel künftig früher im Jahr günstige Bedingungen für das Vorkommen der Mikroorganismen einstellen könnten. Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator GE-I-3: Badewarnungen und -verbote[391]
Atembeschwerden (aufgrund von Luftverunreinigungen)	Atembeschwerden stehen in Verbindung mit bodennahem Ozon, dessen Bildung durch erhöhte Sonneneinstrahlung begünstigt wird, sowie mit erhöhten Feinstaubbelastungen bei länger anhaltenden Trockenperioden. Für Schleswig-Holstein wird insgesamt eine geringe Betroffenheit angenommen, da günstige Windverhältnisse – insbesondere in Küstennähe – zur raschen Verdünnung und Verwehung von Luftschadstoffen beitragen. Infolge des Klimawandels könnten eine zunehmende (Wind-)Erosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie Wald- und Moorbrände die Feinstaubkonzentrationen punktuell erhöhen. In Schleswig-Holstein spielen Waldbrände sowohl bislang als auch voraussichtlich zukünftig eine untergeordnete Rolle.

[390] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Climate Change 24/2021. Dessau-Roßlau, 261 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit

[391] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GE-I-3:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/badewarnungen.pdf

Klimawirkung	Erläuterungen
Verletzungen und Todesfälle infolge von Extremereignissen	Die Klimawirkung wird grundsätzlich als relevant eingeschätzt. Auswirkungen von extremer Hitze auf die Morbidität und Mortalität sind in einer separaten Klimawirkung vertieft untersucht (siehe Seite 190). Zu Verletzungen und Todesfällen infolge anderer klimatischer Extremereignisse gibt es keine systematische Datenerfassung. Solche Ereignisse lassen sich zudem nur mit hoher Unsicherheit projizieren. Dies erschwert belastbare Risikoabschätzungen. Schnittstellen bestehen mit vorgelagerten Klimawirkungen zum Auftreten von Hitze, Hochwasser oder zur Eigenbetroffenheit von Katastrophenschutzkräften in den Handlungsfeldern „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft" sowie „Bevölkerungsschutz".
Auswirkungen auf das Gesundheitssystem	Die Klimawirkung wird grundsätzlich als relevant eingeschätzt, da hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen, vektorassoziierte Krankheiten oder auch Verletzungen infolge von Extremwetterereignissen die medizinische Infrastruktur und das Personal zusätzlich belasten können. Die konkreten Auswirkungen lassen sich anhand der verfügbaren Daten derzeit jedoch nicht gezielt quantifizieren. Aspekte dieser Klimawirkung finden Berücksichtigung in den vertieften und verkürzten Ausarbeitungen dieses Handlungsfelds. Schnittstellen bestehen mit Klimawirkungen in den Handlungsfeldern „Gebäude" und „Bevölkerungsschutz".

10.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit bewerteten Klimawirkungen sind von hoher bis sehr hoher sozialer Bedeutung. Eine sehr hohe soziale Bedeutung sahen die bewertenden Fachleute bei den Klimawirkungen „Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze", „UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)" sowie „Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft" (siehe Tabelle 39). Eine hohe ökologische Bedeutung wurde hingegen nur den Veränderungen der Badewasserqualität zugewiesen. Dazu hat der Bewertungsprozess zudem den Hinweis hervorgebracht, dass mit dem fortschreitenden Klimawandel (mehr Sommertage und Heiße Tage, mehr Sonneneinstrahlung) die Problematik der Sonnencremerückstände in Badegewässern zunehmen könnte.

Die Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung der Klimawirkungen des Handlungsfelds Menschliche Gesundheit war nicht immer eindeutig. Hoch bis sehr hoch könnte die wirtschaftliche Bedeutung einer Veränderung der Badegewässerqualität sein. In Schleswig-Holstein sind Tourismus und Tagestourismus von hoher wirtschaftlicher Bedeutung, auch wenn Badeseen einen eher geringen Anteil daran haben. Von hoher wirtschaftlicher Bedeutung könnte auch die Verbreitung und Abundanzveränderung von möglichen Vektoren sowie die Veränderung der Inzidenz vektorassoziierter Krankheiten sein. Eindeutig als wirtschaftlich hochbedeutend bewertet wurden die Klimawirkungen „UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)" und „Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft". Letzteres kann die Leistungsfähigkeit Betroffener deutlich herabsetzen.

Handlungsbedarf sahen die Fachleute bei UV-bedingten Gesundheitsschäden, insbesondere hinsichtlich Bewusstseinsbildung und Aufklärung. Zur Verbreitung und Abundanzveränderung von möglichen Vektoren ist ebenfalls Handlungsbedarf gegeben. Dieser liegt klar auf politischer Ebene bei der Klärung von Zuständigkeiten und der Erarbeitung eines bundesweiten Rahmens zu Monitoring und Bekämpfung von Vektoren (siehe Tabelle 40). Aktuell sind Monitoring und Bekämpfung in diesem Bereich in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich geregelt.

Tabelle 39: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze	sehr hoch	gering	gering	-*	-**
UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)	sehr hoch	gering	hoch	-	-
Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft	sehr hoch	gering	hoch	-	-
Verbreitung und Abundanzveränderung von möglichen Vektoren, Veränderung der Inzidenz vektorassoziierter Krankheiten	hoch	gering	uneinheitlich (gering bis hoch)	ökologische Bedeutung schwer abschätzbar, da abhängig von Bekämpfungsstrategien (Adultizide gegen Stechmücken beispielsweise mit breitem Wirkspektrum auch gegen andere Arten etc.)	keine Bewertung vorgenommen
Veränderung der Badegewässerqualität	hoch	hoch	sehr hoch	-	Hinweis zur ökologischen Bedeutung: Sonnencreme-Rückstände gelangen in Badegewässer (Verbindung zu UV-bedingten Gesundheitsschäden) nur hohe wirtschaftliche Bedeutung (1 Votum)

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 40: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze	nein	-*	-**
UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)	ja	verstärkte Informationsaufbereitung zu möglichen gesundheitlichen Folgen von UV-Strahlung (beispielsweise Internetauftritt) notwendig	-
Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft	nein	-	-
Verbreitung und Abundanzveränderung von möglichen Vektoren, Veränderung der Inzidenz vektorassoziierter Krankheiten	ja	Klärungsbedarf bei Zuständigkeiten (Land oder Kommunen); Erstellung länderübergreifender Aktionspläne beispielsweise hinsichtlich Monitoring und Bekämpfung notwendig	-
Veränderung der Badegewässerqualität	nein	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

10.4 Klimawirkung „Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze“

10.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Infolge des Klimawandels steigen die Durchschnittstemperaturen der Luft. Zudem kommt es häufiger zu intensiver Hitze und länger andauernden Hitzeperioden. Um die Körperinnentemperatur des Menschen auch bei hoher Umgebungstemperatur stabil zu halten, wird vor allem über die Thermoregulation durch Schwitzen sowie durch Vasodilatation, das heißt eine verstärkte Hautdurchblutung, die Wärmeabgabe des Körpers gesteigert.[392] Diese Regulationsmechanismen belasten den Kreislauf, wirken sich auf andere Organe aus und können bestehende Beschwerden verstärken.[393] Beeinträchtigungen des allgemeinen Wohlbefindens infolge intensiver Hitze umfassen unter anderem eine eingeschränkte Konzentrationsfähigkeit, Leistungsabfall und psychische Belastungen. Die Vasodilatation geht mit einer schnelleren Herzfrequenz und gesteigertem Sauerstoffbedarf einher. Insbesondere bei Menschen mit Vorerkrankungen am Herzen kann die gesteigerte Herzaktivität Komplikationen wie Ischämie, Infarkt oder Kreislaufkollaps verursachen. Höherer Flüssigkeitsverlust infolge der Schweißproduktion kann zu Dehydrierung und reduzierter Blutviskosität führen. Dadurch steigt unter anderem das Risiko für Thrombosen. Hitze steht auch in Verbindung mit respiratorischen Beeinträchtigungen. Zu den häufigsten hitzebedingten Erkrankungen des Atemsystems gehören das Lungenödem, das akute Atemnotsyndrom sowie hitzebedingte Hyperventilation. In schwerwiegenden Fällen kann die Hitzeeinwirkung zum Tod führen.[394]

10.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Unter den Klimasignalen kommt der absoluten **Lufttemperatur** die größte Bedeutung zu. Je höher die Umgebungstemperatur über der Körperinnen- beziehungsweise Hautoberflächentemperatur liegt, desto stärker wird die Thermoregulation des Körpers zur Wärmeabgabe nach außen eingeschränkt und das Risiko einer Überhitzung steigt. Den Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der Mortalität der Bevölkerung hat unter anderem das Robert Koch-Institut (RKI) in seinen wissenschaftlichen Untersuchungen nachgewiesen.[395] Eine besonders deutliche Korrelation wurde dabei für die Wochenmitteltemperatur und den Mortalitätsverlauf festgestellt. Da Rasterdaten zur Wochenmitteltemperatur nicht direkt im Open Data Portal des DWD abrufbar und nur mit erhöhtem Aufwand zu berechnen sind, wird im Folgenden als Indikator für das Auftreten hoher Lufttemperaturen die Entwicklung der Heißen Tage betrachtet. An Heißen Tagen liegt gemäß der Definition des DWD die Tageshöchsttemperatur bei mindestens 30 °C. Ab diesen Temperaturen ist von einem erhöhten Risiko für hitzebedingte Beeinträchtigungen der Gesundheit auszugehen. Dies gilt insbesondere für Schleswig-Holstein, da die Bevölkerung im Norden Deutschlands Hitze weniger gewohnt ist und dadurch sensitiver auf hohe Lufttemperaturen reagiert.[396]

Aufgrund der nördlichen Lage und des maritimen Einflusses von Nord- und Ostsee kommt es in Schleswig-Holstein seltener zu Heißen Tagen als in südlicheren Regionen Deutschlands. Dennoch zeigt die Analyse historischer Klimadaten, dass auch Schleswig-Holstein immer wieder von Hitze betroffen ist. Im Laufe der letzten rund 70 Jahre ist die durchschnittliche jährliche Anzahl der Heißen Tagen signifikant gestiegen. Während es im langjährigen Mittel der Jahre 1961–1990 pro Jahr nur rund 1,5 Heiße Tage gab, waren es im Mittel der Jahre 1991–2020 mehr als doppelt so viele. In einzelnen

[392] Winklmayer C., Matthies-Wiesler F., Muthers S., Buchien S., Kuch B., an der Heiden M., Mücke H. G. 2023: Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. Gesundheitsberichterstattung des Bundes gemeinsam getragen von RKI und Destatis. Journal of Health Monitoring, 8, S4. https://doi.org/10.25646/11645

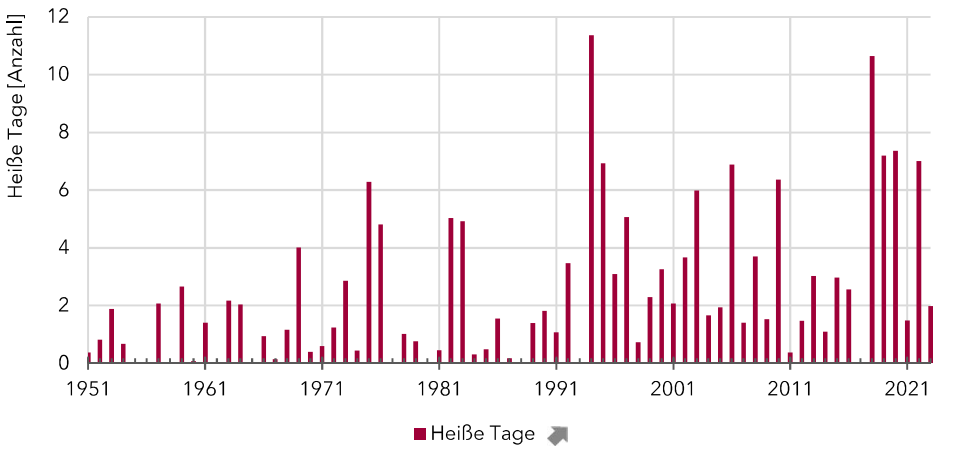
[393] Ebi K., Capon A., Berry P., Broderick C., de Dear R., Havenith G., Honda Y., Kovats S., Ma W., Malik A., Morris N., Nybo L., Seneviratne S., Vanos J., Jay O. 2021: Hot weather and Heat Extremes: Health Risks. The Lancet, 398, 10301.

[394] Winklmayer et al. 2023, s. Fußnote 392

[395] an der Heiden M., Muthers S., Niemann H., Buchholz U., Grabenhenrich L., Matzarakis A. 2019: Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsblatt, 62, 571–579. https://doi.org/10.1007/s00103-019-02932-y

[396] an der Heiden M., Muthers S., Niemann H., Buchholz U., Grabenhenrich L., Matzarakis A. 2020: Hitzebedingte Mortalität – Eine Analyse der Auswirkungen von Hitzewellen in Deutschland zwischen 1992 und 2017. Deutsches Ärzteblatt International, 117, 603-9. https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0603

deutschlandweit sehr heißen Jahren wie 1994 oder 2018–2020 kam es auch in Schleswig-Holstein zu sprunghaften Anstiegen der Heißen Tage (siehe Abbildung 26:).



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 80: Entwicklung der Anzahl Heißer Tage in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1951–2023

Innerhalb Schleswig-Holsteins nimmt die Anzahl der Heißen Tage von Nord nach Süd zu. Im Mittel der zehn Jahre 1994–2023 traten im südlich gelegenen Landkreis Herzogtum Lauenburg acht Heiße Tage pro Jahr auf. In den nördlicheren Küstenregionen des Landes waren es mit durchschnittlich ein bis vier Heißen Tagen deutlich weniger. Die räumliche Differenzierung ist in der Klimaanalyse[397] (siehe dort Abbildung 7) einzusehen.

Das gesundheitliche Risiko steigt außerdem mit der **Dauer der Hitzeeinwirkung**. Gesundheitsgefährdend wirken vor allem länger andauernde und dicht aufeinanderfolgende Hitzeperioden, da sich dann die für den Körper wichtigen Erholungsphasen verkürzen.[398] Infolge der Erwärmung und der Zunahme von Hitzeextremen sind in Schleswig-Holstein auch häufigere sommerliche Hitzewellen zu erwarten. Bisher traten diese allerdings nur vereinzelt auf. Die gesundheitliche Belastung nimmt auch in Phasen mit Tropennächten zu, in denen nachts keine ausreichende Abkühlung erfolgt. Bleibt die Temperatur in der Nacht auf hohem Niveau, fehlt dem Körper die Möglichkeit zur Regeneration. Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C fällt, gab es in Schleswig-Holstein seit Beginn der Wetteraufzeichnungen ebenfalls nur wenige. Betroffen war dann vor allem der Südosten des Landes. Gemäß den Wetteraufzeichnungen des DWD gab es in Lübeck beispielsweise zwischen 1985 und 2022 insgesamt vier Tropennächte in den heißen Jahren 1994, 2010 und 2018.

Die Lufttemperatur beeinflusst die physiologischen Prozesse im Körper und das menschliche Wohlbefinden unmittelbar. Andere Klimaparameter wirken eher modulierend auf die thermische Belastung und die Effektivität der körpereigenen Wärmeabgabe. Herrscht bei hohen Lufttemperaturen beispielsweise gleichzeitig eine hohe relative **Luftfeuchte**, ist die Verdunstung von der Hautoberfläche trotz intensiver Schweißabsonderung des Körpers nur eingeschränkt oder gar nicht möglich.[399] Bei diesen Bedingungen kommt es schneller zu einer Überhitzung. „Feuchte Hitze" wird aus diesem Grund meist belastender wahrgenommen als „trockene Hitze". Die Luftfeuchte findet deshalb auch bei der Bestimmung der Gefühlten Temperatur Berücksichtigung. Als Küstenbundesland ist Schleswig-Holstein von einer im Vergleich zu anderen Bundesländern höheren durchschnittlichen relativen Luftfeuchte geprägt. Durch den Einfluss des Klimawandels lässt sich ein leichter Rückgang der sommerlichen relativen Luftfeuchtigkeit seit den 1960er Jahren feststellen: Warme Luft kann mehr Wasser aufnehmen, wodurch die relative Luftfeuchtigkeit über Landflächen tendenziell abnimmt. Dadurch könnte sich die körperliche Hitzebelastung zukünftig abschwächen.[400] Aufgrund der geringen Größenordnung der beobachteten und erwarteten Veränderungen ist allerdings für die Klimarisikoanalyse nicht von einem relevanten Effekt auszugehen.

[397] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[398] Winklmayer et al. 2023, s. Fußnote 392

[399] Sobolewski A., Młynarczyk M., Konarska M., Bugajska J. 2021: Effect of previous lowering of skin temperature on the time of safe exposure to a hot environment: a case study. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 27, 1, 237-246. https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1699728

[400] Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Deutscher Wetterdienst 2025: Norddeutscher Klimamonitor - Schleswig-Holstein und Hamburg: Bisherige Entwicklung der relativen Luftfeuchte im Sommer. https://www.norddeutscher-klimamonitor.de/klimaentwicklung/1961-2015/sommer/relative-luftfeuchte/schleswig-holstein-hamburg/coastdat-2/zeitreihe.html

Strahlung und lange **Sonnenscheindauer** können die Wirkung von Hitze auf den Organismus verstärken. Die Einstrahlung trägt zum einen direkt zu einer Erhöhung der Lufttemperatur bei, beeinflusst aber auch das subjektive Wärmeempfinden und damit die Gefühlte Temperatur. In Schleswig-Holstein schwankt die Sonnenscheindauer von Jahr zu Jahr, hat aber langfristig seit Mitte der 1980er Jahre zugenommen. Infolge des Klimawandels könnte die Sonnenscheindauer zukünftig zunehmen. Da der Parameter in direktem Zusammenhang mit der Temperaturentwicklung steht, ist eine separate Betrachtung in der Klimarisikoanalyse nicht erforderlich.

Die Effektivität der körpereigenen Thermoregulation hängt auch von den **Windverhältnissen** ab: Bei bewegter Luft wird die isolierende warme und feuchtigkeitsgesättigte Luftschicht, die sich an der Hautoberfläche bildet, kontinuierlich durch kühlere, trockene Luft ersetzt.[401] Dieser Vorgang erhöht die konvektive Wärmeabgabe, was zu einer rascheren Abkühlung des Körpers führen kann. Im Gegensatz dazu führt stehende Luft dazu, dass sich feuchte und warme Luft auf der Haut staut. Dies schränkt sowohl die Verdunstung als auch den konvektiven Wärmeaustausch ein. Schleswig-Holstein gilt grundsätzlich als windreiches Bundesland. Die Ergebnisse der Klimaanalyse zum Klimaparameter Wind sind in der Klimaanalyse (siehe Abbildungen 21 bis 23) dargestellt. Bisher beobachtete Entwicklungen der Windverhältnisse zeigen eine Abfolge von windreicheren und windärmeren Phasen. Insgesamt ist allerdings keine eindeutige langfristige Entwicklungstendenz zu erkennen. Im Klimareport 2023 des DWD wird aber darauf hingewiesen, dass die mittlere geostrophische Windgeschwindigkeit und die Zahl der Sturmtage an der Nordseeküste und im Binnenland an einzelnen Stationen eher abnimmt.[402] Da Projektionen zu Windparametern mit großen Unsicherheiten verbunden und die zukünftigen Entwicklungen daher insgesamt ungewiss sind, wird auf eine weitere Betrachtung des Parameters in der Klimarisikoanalyse verzichtet.

10.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

10.4.3.1 Exposition

Die Klimawirkung hat unter anderem deshalb eine hohe Relevanz, weil sie die gesamte **Bevölkerung** betrifft. Extreme Hitze kann sich grundsätzlich auf alle Bevölkerungsschichten auswirken. Abbildung 81 verdeutlicht, dass die Gesamtbevölkerung Schleswig-Holsteins im Laufe der letzten rund 70 Jahre nahezu kontinuierlich auf knapp drei Millionen im Jahr 2024 gewachsen ist. Mit der steigenden Zahl an Menschen in Schleswig-Holstein gibt es auch mehr Personen, deren Gesundheit durch zunehmende Hitze beeinträchtigt werden kann.

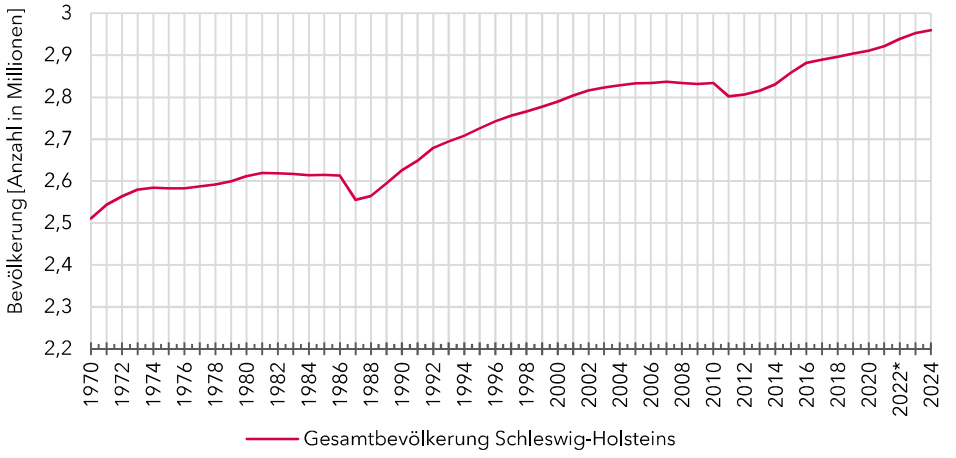


Abbildung 81: Entwicklung der Bevölkerung in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1970–2024

* ab 2022: Ergebnisse auf Grundlage des Zensus 2022

Quelle: Statistisches Bundesamt (Bevölkerungsstand), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Die meisten Menschen leben gemäß den Daten des Statistikamts Nord mit Stand 2024 in den Landkreisen Pinneberg, Segeberg und Rendsburg-Eckernförde, gefolgt von der Landeshauptstadt Kiel. Die geringsten Bevölkerungszahlen weisen

[401] WHO – World Health Organization 2024: Heat and health.
https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health

[402] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 36f.
https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

die kreisfreien Städte Neumünster und Flensburg sowie der Kreis Plön auf. Die höchsten Bevölkerungsdichten haben die kreisfreien Städte aufgrund der Konzentration der dort lebenden Menschen auf kleinerem Raum.

Hinzu kommt, dass Schleswig-Holstein insbesondere mit seinen attraktiven Badestränden an der Nord- und Ostsee als beliebtes Reiseziel vor allem in den heißen Sommermonaten zahlreiche Touristinnen und Touristen anlockt. **Urlaubsgäste** halten sich bei ihren Aktivitäten meist länger im Freien auf und sind dabei in besonderem Maße hitzeexponiert. Die Anzahl der Gäste in Schleswig-Holstein ist zwischen 2010 und 2019 kontinuierlich gestiegen. Aufgrund der weltweiten Covid 19-Pandemie und den damit verbundenen Reisebeschränkungen kam es in den Jahren 2020 und 2021 zu einem deutlichen Rückgang der Gästezahlen. Seit 2022 nimmt die Zahl der Gäste wieder zu und lag 2023 bereits über dem Niveau vor der Pandemie. Rund die Hälfte der Gästeankünfte entfällt auf die Urlaubsregion „Ostsee", etwa ein Viertel auf die Region „Nordsee". Es ist davon auszugehen, dass sich Gäste in diesen Regionen in Verbindung mit Badeaktivitäten besonders lange und auch bei extremer Hitze draußen aufhalten. Touristinnen und Touristen können allerdings bei der Wahl ihres Aufenthaltsorts und bei der Gestaltung der täglichen Aktivitäten meist flexibel auf Hitze reagieren und so angemessen Vorsorge betreiben, um ihre Exposition zu reduzieren. Auswirkungen der Temperatur- und Niederschlagsveränderungen auf den Tourismus werden im Handlungsfeld Tourismus beleuchtet, sodass die Gästezahlen für die vorliegende Klimawirkung nicht als weiterer Parameter für die Operationalisierung herangezogen werden.

10.4.3.2 Sensitivität

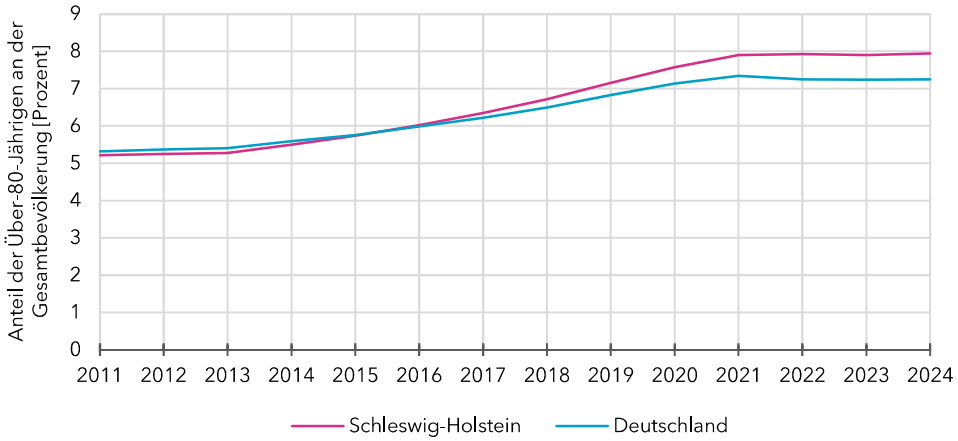
Bestimmte Bevölkerungsgruppen gelten als besonders vulnerabel für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitze. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist das **Alter**: Neben Säuglingen und kleinen Kindern ist das Risiko auch für ältere Menschen, insbesondere Hochbetagte ab 80 Jahren, erhöht.[403] Sowohl bei Kleinkindern als auch bei Menschen mit hohem Alter ist das Wärmeregulationssystem weniger leistungsfähig. Diese Bevölkerungsgruppen sind zudem häufiger auf betreuende Personen angewiesen, um adäquat auf Hitze reagieren zu können. Hochbetagte Menschen leiden darüber hinaus häufiger an chronischen Erkrankungen, die zu gesundheitlichen Komplikationen in Verbindung mit Hitze führen können. Tabelle 41 stellt die aktuelle Altersstruktur in Schleswig-Holstein mit einem Fokus auf besonders vulnerable Altersgruppen dar.

Tabelle 41: Bevölkerung Schleswig-Holsteins in den Jahren 2023 und 2024 nach Altersgruppen

Altersgruppe	**Anteil an der Gesamtbevölkerung (2024)**	**Bevölkerung (2024)**	**Bevölkerung (2023)**	**Veränderung zum Vorjahr**
Jahre	%	Anzahl	Anzahl	%
> 0 bis 1	0,7	21.788	22.280	-2,2
> 1 bis 5	3,4	100.757	103.229	-2,4
> 5 bis 10	4,7	138.687	138.234	+0,3
> 10 bis 15	4,6	136.365	134.867	+1,1
> 15 bis 20	4,8	142.445	142.160	+0,2
> 20 bis 65	57,8	1.709.972	1.712.725	-0,2
> 65 bis 70	6,4	189.499	183.649	+3,2
> 70 bis 75	5,4	158.496	157.684	+0,5
> 75 bis 80	4,3	126.477	125.103	+1,1
> 80	7,9	235.031	233.271	+0,8

Die Bevölkerung Schleswig-Holsteins ist im Laufe der letzten Jahrzehnte älter geworden. Dies ist insbesondere auf rückläufige Geburtenzahlen bei gleichzeitig steigender Lebenserwartung zurückzuführen. verdeutlicht, dass der Anteil der besonders vulnerablen Hochbetagen, das heißt über 80-Jährigen, an der Gesamtbevölkerung in den letzten Jahren gestiegen ist. Seit 2016 liegt der Anteil in Schleswig-Holstein höher als im bundesweiten Durchschnitt.

[403] RKI (Hrsg.) 2025: Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2023 und 2024. Epidemiologisches Bulletin, 19, 1–12.



Quelle: Statistik Nord, destatis (Bevölkerungsstatistik), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 82: Entwicklung des Anteils der über 80-Jährigen in Schleswig-Holstein und Deutschland im Zeitraum 2011–2024

Die absolute Zahl der Hochbetagten ist im Wesentlichen in den bevölkerungsstarken Landkreisen am höchsten. Zu den Landkreisen mit geringerer Gesamtbevölkerung, aber dennoch verhältnismäßig vielen Über-80-Jährigen gehören Ostholstein und Plön. Der Landkreis Ostholstein wies im Jahr 2023 mit 28,7 % den höchsten Anteil von Hochbetagten an der Bevölkerung auf. Aufgrund der hohen Relevanz wird die Zahl der Hochbetagen als Sensitivitätsparameter in der Klimarisikoanalyse betrachtet.

Neben dem Alter beeinflusst auch die **gesundheitliche Verfassung** der Menschen ihre Sensitivität. Bei Vorerkrankten besteht infolge der Grundbelastung des Körpers und einer häufig reduzierten Reaktions- und Anpassungskapazität ein höheres Risiko für Komplikationen in Verbindung mit extremer Hitze.[404] Betroffen sind vor allem Menschen mit kardiovaskulären, respiratorischen, neurologischen und psychischen Vorerkrankungen. Auch Personen mit Diabetes tragen ein erhöhtes Risiko für hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen. Menschen mit geistigen Behinderungen sind besonders vulnerabel, da sie sich vor allem bei schweren kognitiven Einschränkungen schlechter selbst vor Hitze schützen können. Darüber hinaus spielen Faktoren wie die persönliche Vorsorge und Medikation eine Rolle. Gesundheitsparameter lassen sich nur sehr vereinzelt mit Daten unterlegen. Die Diagnose- und Krankenhausstatistik liefert Hinweise zur Häufigkeit ausgewählter Krankheiten in Schleswig-Holstein. Eine Berücksichtigung des Gesundheitszustands der Bevölkerung ist jedoch im Rahmen der Klimarisikoanalyse aufgrund der damit verbundenen hohen Komplexität nicht möglich.

Bei den sozioökonomischen Sensitivitätsparametern spielen die **Wohnsituation** und die **soziale Integration** eine Rolle. Alleinlebende Menschen gelten als besonders gefährdet bei Hitzeereignissen, da ihnen in kritischen Situationen keine direkte Unterstützung oder Hilfe zur Verfügung steht. Insbesondere ältere Alleinlebende können Warnzeichen wie Dehydratation, Verwirrtheit oder Kreislaufbeschwerden verspätet wahrnehmen oder nicht angemessen darauf reagieren. Fehlende soziale Kontakte erschweren zudem organisatorische Maßnahmen wie das Beschaffen von ausreichend Trinkwasser, das Kühlen der Wohnung, die Entlastung bei Hausarbeiten und dem Einkaufen oder die Anpassung der Medikation. Studien zeigen, dass Einpersonenhaushalte, darunter vor allem diejenigen mit geringem Haushaltseinkommen, häufiger von hitzebedingten Gesundheitsproblemen betroffen sind.[405] Geringe finanzielle Ressourcen erschweren den Betroffenen die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Im Jahr 2019 lag der Anteil der Einpersonenhaushalte an allen Haushalten in Schleswig-Holstein bei 41,5 % und war damit etwas geringer als im bundesweiten Durchschnitt.

Die Sensitivität hängt zuletzt auch mit den **individuellen Expositionsmustern** der Bevölkerung zusammen und steigt mit längeren Aufenthalten im Freien. Zu den besonders betroffenen Bevölkerungsgruppen zählen deshalb auch Personen, die im Freien arbeiten, vor allem in Verbindung mit schwerer körperlicher Arbeit. Informationen zur Zahl der in Schleswig-Holstein im Freien Arbeitenden liegen nicht vor. Darüber hinaus gelten Obdachlose im öffentlichen Raum als besonders gefährdet, da ihre Möglichkeiten zum Aufsuchen kühler Schutz- und Rückzugsorte und ihr Zugang zu hygienischen Trinkwasserquellen eingeschränkt sind. Obdachlose Menschen, die auf der Straße leben, werden allerdings nicht systematisch erfasst.

[404] Winklmayer et al. 2023, s. Fußnote 392

[405] Osberghaus D., Abeling T. 2022: Heat vulnerability and adaptation of low-income households in Germany. Global Environmental Change, 72, 102446. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102446

10.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

10.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Hitze ist bisher nicht Bestandteil der offiziellen Todesursachenstatistik und wird deshalb in der Regel nicht als direkte Todesursache erfasst. Zur Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Morbidität und Mortalität der Bevölkerung sind deshalb statistische Verfahren erforderlich. Das RKI hat ein eigenes Modell zur Schätzung hitzebedingter Sterbefälle entwickelt, das auf dem Zusammenhang zwischen der Wochenmitteltemperatur und der Mortalität der Bevölkerung basiert.[406] Abbildung 83 zeigt die Entwicklung der hitzebedingten Sterbefälle in Schleswig-Holstein von 1992 bis 2024. Zusätzlich sind die oberen und unteren Prädiktionsgrenzen angegeben. Diese zeigen das 95 %-Prädiktionsintervall. Es markiert den Bereich, in dem die geschätzte Übersterblichkeit mit 95-%iger Wahrscheinlichkeit liegt, wenn die Modellannahmen zutreffen. Die Daten liegen nicht regionalisiert und nur für die Landesebene vor. Allerdings sind die Anzahlen hitzebedingter Sterbefälle in Schleswig-Holstein insgesamt vergleichsweise gering. Es gibt viele Jahre ohne nachweislich hitzebedingte Sterbefälle. Eine weitere räumliche Aufschlüsselung der Daten wäre nicht möglich beziehungsweise sinnvoll.

Zu den bisher meisten hitzebedingten Sterbefällen in Schleswig-Holstein kam es im Jahr 1994, als auch die bisher meisten Heißen Tage im Land auftraten. Auch im Rekordsommer des Jahres 2018 litten die Menschen in ganz Deutschland unter einer der längsten Hitzeperioden seit Aufzeichnungsbeginn. Anpassungen im öffentlichen Gesundheitswesen und ein stärkeres Bewusstsein für hitzebedingte Gesundheitsgefahren in der Bevölkerung könnten dazu geführt haben, dass die Zahl der Hitzetoten 2018 jedoch geringer ausfiel als 1994. Ein signifikanter Trend liegt bisher nicht vor. Weiterführende Informationen zur Interpretation der Zeitreihe und zur Berechnungsmethodik des Indikators sind dem Faktenblatt im Klimafolgenmonitoring zu entnehmen.

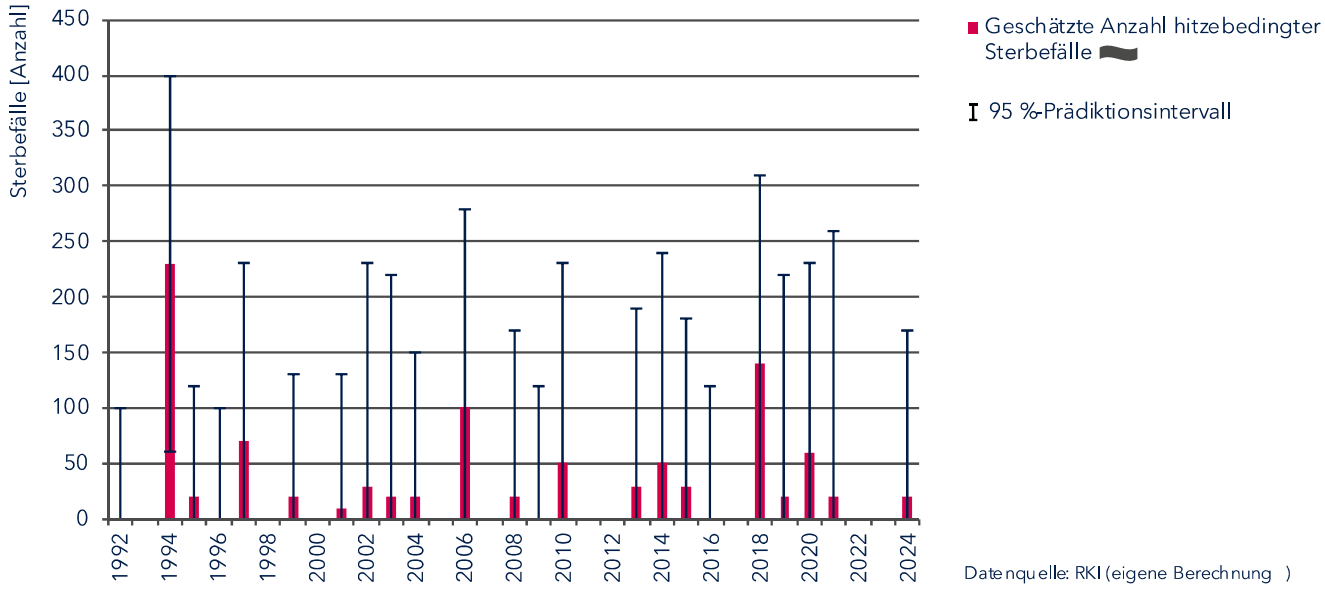


Abbildung 83: Geschätzte Anzahl hitzebedingter Sterbefälle in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1992–2024 mit 95 %-Prädiktionsintervall auf Grundlage eines Berechnungsmodells des RKI (Quelle: Klimafolgenmonitoring, Indikator GE-I-1[407])

10.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Die zukünftigen Auswirkungen zunehmender Hitze auf die Morbidität und Mortalität der Bevölkerung in Schleswig-Holstein lassen sich nicht direkt projizieren. Anhand ausgewählter Parameter, die sich unter Berücksichtigung von Relevanz und Datenverfügbarkeit zur Operationalisierung von Klimasignal, Exposition und Sensitivität eignen, lässt sich aber eine vereinfachte Risikoabschätzung ableiten. Die zur Operationalisierung ausgewählten Parameter sind in Tabelle 25 dargestellt.

[406] an der Heiden et al. 2019, s. Fußnote 395

[407] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GE-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/hitze_sterbefaelle.pdf

Tabelle 42: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisiko-analyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	Anzahl der Heißen Tage	> 2,0 bis 5,5 > 5,5 bis 9,0 > 9,0 bis 12,5	DWD, CDC
Exposition	Bevölkerungszahl	> 75.000 bis 160.000 > 160.000 bis 245.000 > 245.000 bis 330.000	Statistikamt Nord, Bevölkerungsvorausberechnung 2021
Sensitivität	Anzahl der Hochbetagten	> 300 bis 1.000 > 1.000 bis 2.000 > 2.000 bis 3.000 > 3.000 bis 7.000	Statistikamt Nord, Bevölkerungsvorausberechnung 2021

10.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Zur Operationalisierung des Klimasignals stehen Projektionsdaten des DWD zur Verfügung. Diese Daten basieren auf einem vom DWD zusammengestellten Ensemble aus globalen und regionalen Klimamodellen und sind in ihrer modellierten Bandbreite für unterschiedliche Szenarien und Projektionszeiträume in der Klimaanalyse dargestellt (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Unter Annahme des RCP2.6-Szenarios reicht die Spannbreite der projizierten Änderung zwischen dem 15. und 85. Perzentil für die Mitte des Jahrhunderts von einer geringen Abnahme bis zu einer Zunahme um rund sechs Heiße Tage. Im Norden ist mit einer geringeren Veränderung zu rechnen als im Süden. Für das RCP8.5-Szenario wird im Süden bis zur Mitte des Jahrhunderts ein Anstieg der Zahl Heißer Tage um bis zu sieben Tage projiziert. Für das Ende des Jahrhunderts wird unter Annahme des RCP8.5-Szenarios eine weitere deutliche Zunahme projiziert: Das 85. Perzentil zeigt sechs bis 20 Heiße Tage mehr als in der Referenzperiode 1971–2000. Weitere Ausführungen zur Grafik sind in der Klimaanalyse zu lesen.

10.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Gemäß der Bevölkerungsvorausberechnung 2021 wird die Bevölkerung in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 2020 bis 2040 insgesamt um knapp 47.000 Personen schrumpfen. Innerhalb des Landes zeigt sich eine differenzierte Entwicklung (siehe Abbildung 84). Zu den Landkreisen mit den größten absoluten sowie relativen Rückgängen der Bevölkerungszahl gehören die Kreise Ostholstein, Steinburg, Dithmarschen und Plön. Auch in den drei nördlicher gelegenen Landkreisen Nordfriesland, Schleswig-Flensburg und Rendsburg-Eckernförde wird die Bevölkerung schrumpfen. Vor allem in den südlichen Landkreisen sowie in den kreisfreien Städten Flensburg und Kiel wird dagegen eine Bevölkerungszunahme erwartet. Die Landkreise Pinneberg und Segeberg gehören bereits heute zu den einwohnerstärksten Kreisen Schleswig-Holsteins.

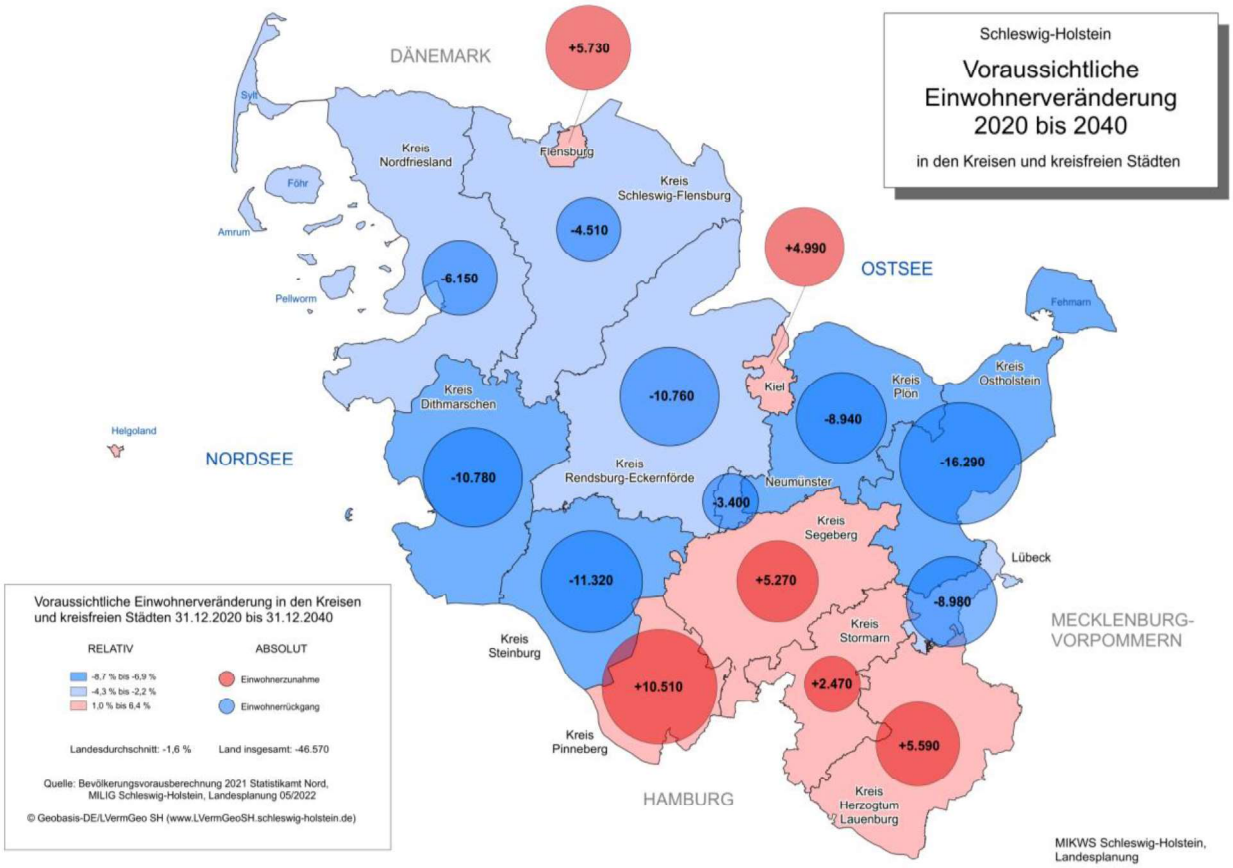


Abbildung 84: Erwartete Bevölkerungszu- und -abnahmen bis 2040 auf Grundlage der Bevölkerungsvorausberechnung 2021 des Statistikamts Nord (Quelle: Landesportal – Karten der Landesplanung[408])

10.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Aus der Verschneidung von Projektionsdaten zur Anzahl Heißer Tage mit Informationen zur erwarteten Bevölkerungszahl und -verteilung sowie zur Lage der Gemeinden mit einer hohen Anzahl von Hochbetagten in Schleswig-Holstein im Jahr 2040 lassen sich Hinweise zum künftigen regionalen Risiko für das Auftreten hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen ableiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Betroffenheit Schleswig-Holsteins aufgrund der klimatischen und sozio-demografischen Rahmenbedingungen grundsätzlich niedriger einzuschätzen ist als beispielsweise in südlicheren Bundesländern und Binnenregionen Deutschlands. Aussagen zum künftigen Risiko erfolgen daher stets relativ zur räumlichen Differenzierung innerhalb des Landes Schleswig-Holstein.

Aus der Ergebniskarte in Abbildung 85 wird deutlich, dass sich auf der Grundlage der gewählten Parameterkombination bis zur Mitte des Jahrhunderts das relativ höchste Risiko für das Auftreten hitzebedingter gesundheitlicher Beeinträchtigungen im Süden Schleswig-Holsteins konzentriert. In den Landkreisen Pinneberg, Segeberg und Stormarn treffen vergleichsweise hohe Bevölkerungszahlen auf die unter den Bedingungen des RCP8.5-Szenarios für Schleswig-Holstein meisten projizierten Heißen Tage. Bei den stärker betroffenen Regionen handelt es sich um Landkreise, für die bis 2040 eine Bevölkerungszunahme erwartet wird. In den genannten drei Landkreisen konzentrieren sich zudem die Gemeinden mit einer zukünftig hohen Zahl von Hochbetagten, sodass dort auch die Sensitivität am höchsten liegt. Aufgrund des Bevölkerungsreichtums in den Landkreisen Rendsburg-Eckernförde und Herzogtum Lauenburg ergibt sich dort ebenfalls ein relativ hohes Risiko. Die Sensitivität ist dort aber aufgrund einer geringeren Anzahl von Hochbetagten niedriger als in den Landkreisen Pinneberg, Segeberg und Stormarn. Das tatsächliche Auftreten hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen und Sterbefälle in all diesen Regionen hängt allerdings von weiteren Faktoren ab, darunter der individuellen Exposition jeder Person und ihrer gesundheitlichen Verfassung.

[408] Landesportal Schleswig-Holstein: Karten der Landesplanung. Voraussichtliche Einwohnerveränderung 2020 bis 2040 (Karte). https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/D/demografie/Downloads/ergebnisse_karte.pdf

Für einen wirksamen Gesundheitsschutz der Bevölkerung kann die Karte Anreiz zur gezielten regionalen Sensibilisierung und Anpassung sein. Mögliche Maßnahmen umfassen beispielsweise die Entwicklung und Umsetzung von Hitzeaktionsplänen, gezielte Aufklärungskampagnen vor allem für vulnerable Bevölkerungsgruppen sowie die Verbesserung der medizinischen und sozialen Infrastruktur, etwa durch die Schaffung kühler öffentlicher Rückzugsräume. Auch niederschwellige Maßnahmen wie die Etablierung von Nachbarschaftshilfe oder die Einrichtung mobiler Beratungsangebote können sinnvoll sein.

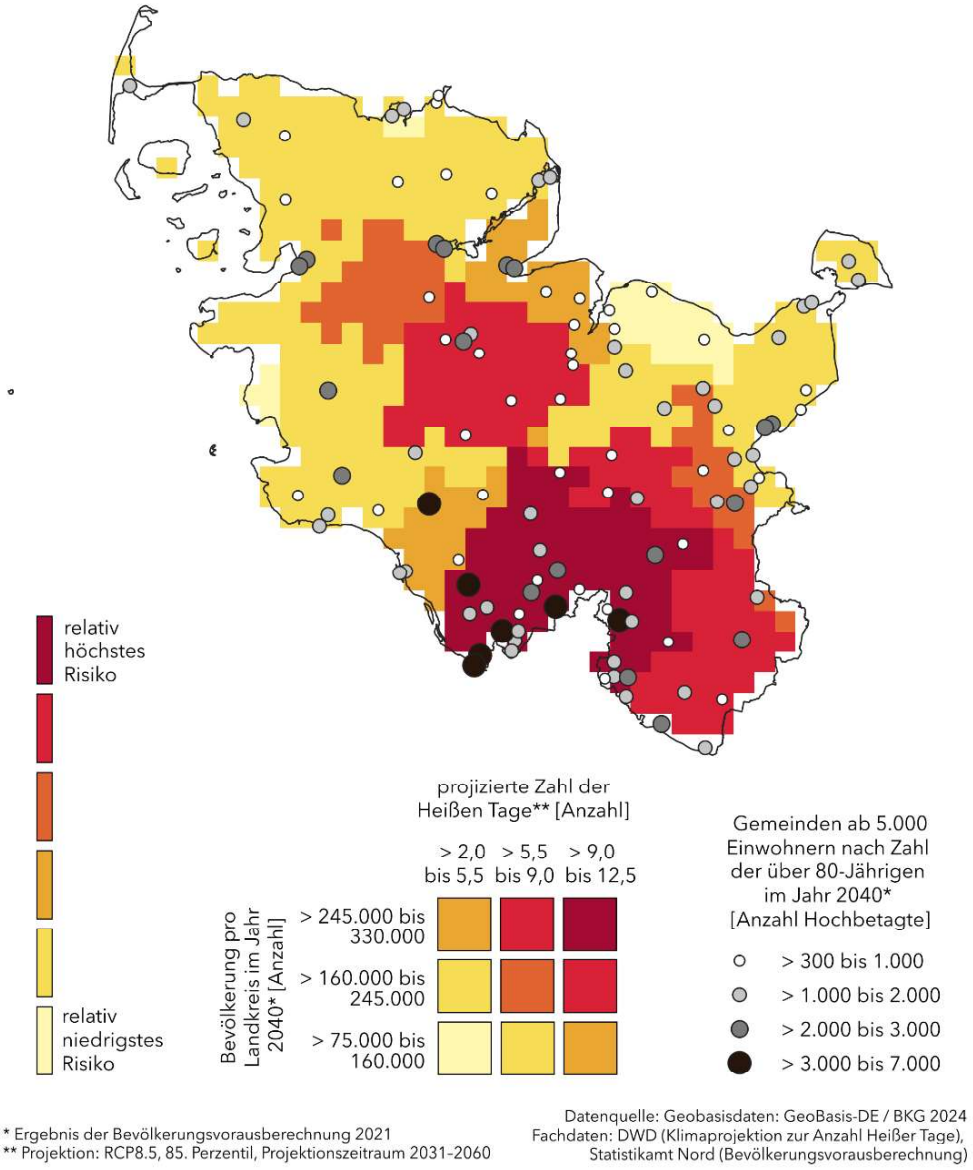


Abbildung 85: Risikoabschätzung zur Klimawirkung auf Grundlage einer Parameterverschneidung

Die vorliegende Klimarisikoanalyse ermöglicht aufgrund der limitierten Parameterzahl nur eine vereinfachte Abschätzung. Vor allem mit Blick auf die Maßnahmenentwicklung und -umsetzung ist zu berücksichtigen, dass grundsätzlich die gesamte Bevölkerung von der Klimawirkung betroffen sein kann. Maßnahmen sollten sich aus diesem Grund nicht auf die in der Karte ausgewiesenen Gebiete mit erhöhtem Risiko beschränken, sondern ganz Schleswig-Holstein in den Blick nehmen. Dadurch wird sichergestellt, dass auch für weitere sensitive Regionen wie beispielsweise für den Landkreis Ostholstein mit erhöhter Zahl Hochbetagter oder die Küstenregionen mit hoher Zahl sommerlicher Urlaubsgäste Vorsorge getroffen wird.

10.5 Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)“

10.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Der Klimawandel beeinflusst atmosphärische Zirkulationsmuster und wirkt sich in der Folge unter anderem auf die Sonnenscheindauer, die Wolkenbedeckung und den Ozonhaushalt aus. Vor allem bei Niedrigozonereignissen und bei wolkenlosem Himmel, der sich im Rahmen stabiler Wetterlagen und durch steigende Lufttemperaturen häufiger einstellt, fällt mehr potenziell gesundheitsschädliche ultraviolette Strahlung beziehungsweise UV-Strahlung bis zur Erdoberfläche ein. Neben meteorologisch-physikalischen Veränderungen beeinflussen auch menschliche Verhaltensänderungen die Strahlungsexposition: Bei höheren Temperaturen und Sonnenschein verbringen die Menschen mehr Zeit im Freien und setzen sich potenziell gesundheitsschädlicher Strahlung aus. In Schleswig-Holstein als beliebtem Reiseland gilt dies nicht nur für die eigene Bevölkerung, sondern auch für Touristinnen und Touristen, die sich vor allem im Sommer länger in wenig verschatteten Außenbereichen wie Stränden aufhalten. Erhöhte UV-Strahlungsexposition kann Haut und Augen schädigen. Zu den gesundheitlichen Beeinträchtigungen zählen unter anderem Sonnenbrand und eine beschleunigte Alterung der Haut infolge von Zellschäden. Gesundheitlich besonders kritisch ist die Zunahme des Risikos für Hautkrebs, der im Falle der malignen Variante in schweren Fällen zum Tod führen kann.

10.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

10.5.2.1 Klimasignale

Die Ausprägung der Klimawirkung wird maßgeblich durch den Anteil der **UV-Strahlung** bestimmt, der die Erdoberfläche erreicht. In Abhängigkeit der Wellenlänge werden die langwelligere UV-A-, die UV-B- sowie die kurzwelligere UV-C-Strahlung unterschieden. Je kürzer die Wellenlänge der Strahlung ist, desto energiereicher und stärker gesundheitsgefährdend ist sie.[409] An der Erdoberfläche besteht die ultraviolette Strahlung überwiegend aus langwelligerer UV-A-Strahlung und einem geringen Anteil UV-B-Strahlung. Die UV-C-Strahlung wird vollständig von Ozonschicht und Atmosphäre absorbiert. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreibt in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen ein deutschlandweites UV-Messnetz. In Schleswig-Holstein befinden sich vier Messstationen zur Erfassung der ultravioletten Strahlung an der Erdoberfläche. Die Daten dienen unter anderem zur kontinuierlichen Berechnung des UV-Gefahrenindex. Dabei handelt es sich um eine von der Weltgesundheitsorganisation eingeführte und international standardisierte Kennzahl, die die tagesaktuelle, erythemwirksame, das heißt sonnenbrandwirksame, UV-Strahlung an der Erdoberfläche beschreibt. Der Index wird in mehrere Gefahrenbereiche unterteilt und dient so als Orientierung für das individuelle Gesundheitsrisiko: Je höher der Indexwert ist, desto größer ist die gesundheitliche Belastung bei einer Exposition.[410] In Schleswig-Holstein erreichte der UV-Index in den letzten Jahren Tageshöchstwerte bis 9. Das entspricht einer sehr hohen gesundheitlichen Gefährdung. Solche hohen Werte traten allerdings bisher nur vereinzelt in den Sommermonaten Juni und Juli auf. Das Mittel des Gesamtjahres schwankt zwischen Werten von 2 und 3. Das höchste Jahresmittel der letzten Jahre betrug auf Sylt etwa 2,7 im Jahr 2018. An der Messstation Todendorf östlich von Kiel an der Ostseeküste traten jeweils mit rund 2,9 die höchsten Jahresmittelwerte in den Jahren 2020 und 2022 auf.[411] Aufgrund der Kürze der einzelnen Messreihen sind auf der Grundlage dieser Daten bisher noch keine gesicherten Aussagen zur langfristigen Entwicklung der UV-Strahlung in Schleswig-Holstein möglich. Allerdings ist davon auszugehen, dass die klimatischen Veränderungen infolge des Klimawandels eine Zunahme begünstigt haben. Auch in anderen Teil Deutschlands und Mitteleuropas zeigen datengestützte Studien steigende UV-Belastungen im Laufe der letzten Jahrzehnte, insbesondere während der 2010er Jahre in Verbindung mit einer Phase besonders geringer Bewölkung.[412]

---

[409] Błażejczyk K., Błażejczyk A. 2012: Changes in UV radiation intensity and their possible impact on skin cancer in Poland. Geographia Polonica, 85, 2, 57–64. https://doi.org/10.7163/GPol.2012.2.11

[410] DWD 2025: Tagesaktuelle Daten zum UV-Index und Einteilung der Gefahrenbereiche. https://www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrenindizesuvi/gefahrenindexuvi.html

[411] BfS 2025: Geoportal. Zeitreihen zum Tageshöchstwert des UV-Index. https://www.imis.bfs.de/geoportal/

[412] Lorenz S., Heinzl F., Bauer S., Janßen M., De Bock V., Mangold A., Scholz-Kreisel P., Weiskopf D. 2024: Increasing solar UV radiation in Dortmund, Germany: data and trend analyses and comparison to Uccle, Belgium. Photochemical & Photobiological Sciences 23, 2173–2199. https://doi.org/10.1007/s43630-024-00658-8

Eine zunehmende UV-Strahlungsintensität hängt eng mit der Veränderung anderer Klimasignale zusammen. Dazu gehören insbesondere die **Sonnenscheindauer** und der **Bewölkungsgrad**. Auswertungen der Daten des UV-Messnetzes durch das Bundesamt für Strahlenschutz zeigen, dass in sonnenscheinreichen Jahren auch die über das Jahr aufsummierten Tagessummen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke erhöht ist.[413,414] In Schleswig-Holstein schwankt die Sonnenscheindauer von Jahr zu Jahr, hat aber langfristig seit Mitte der 1980er Jahre zugenommen (siehe Klimaanalyse[415], Abbildung 17). Dies ist zum einen auf die erfolgreiche Umsetzung von Luftreinhaltemaßnahmen zurückzuführen. Zum anderen tragen Veränderungen großräumiger Wetterlagen dazu bei: Im Sommer stellen sich in Schleswig-Holstein zunehmend stabile Hochdrucklagen mit geringerer Bewölkung ein. Besonders lang schien die Sonne in den Jahren 2018, 2020 und 2022. In diesen Jahren wurden an den Stationen des UV-Messnetzes die bisher höchsten Jahresdurchschnittswerte des UV-Index gemessen.

Für die Klimawirkung sind zuletzt auch **Lufttemperatur** und **Niederschlag** relevant, da sie das individuelle Expositionsmuster der Menschen beeinflussen. Bei höheren Temperaturen und sonnigem, niederschlagsarmem Wetter halten sich Personen verstärkt im Freien auf, insbesondere in den Sommermonaten. Analysen langjähriger Messungen des DWD zeigen, dass sowohl die Jahresdurchschnittstemperatur als auch die durchschnittlichen Temperaturen in den einzelnen Jahreszeiten in Schleswig-Holstein im Laufe der letzten Jahrzehnte gestiegen sind (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 2 bis 5). Für den Niederschlag sind die Entwicklungen weniger eindeutig. Im Winter wird eine leichte Zunahme der Niederschlagsmengen beobachtet, im Sommer konzentrieren sich die Niederschläge in der Tendenz auf weniger Regentage. In der Kombination dieser Klimasignale hat sich zuletzt auch die Zahl der Tage, an denen optimale klimatische Bedingungen für Touristinnen und Touristen herrschen, erhöht (siehe Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen“, Seite 339). Dies ist deshalb relevant, da Tages- und Urlaubsgäste besonders viel Zeit in der Sonne verbringen, beispielsweise beim Baden an den Stränden, und sich dabei besonders stark der UV-Strahlung aussetzen.

10.5.2.2 Exposition

Die Klimawirkung betrifft grundsätzlich die gesamte **Bevölkerung** Schleswig-Holsteins, da jeder Mensch bei einem Aufenthalt im Freien der natürlichen UV-Strahlung und damit einem Risiko für UV-bedingte Gesundheitsschäden ausgesetzt ist. Im Laufe der letzten rund 70 Jahre ist die Bevölkerungszahl Schleswig-Holsteins nahezu kontinuierlich auf knapp drei Millionen im Jahr 2024 gewachsen. Neben den Einwohnerinnen und Einwohner sind die **Urlaubsgäste** zu berücksichtigen. Vor allem in den sonnenscheinreichen Sommermonaten zieht Schleswig-Holstein mit seinen attraktiven Badestränden an der Nord- und Ostsee zahlreiche Touristinnen und Touristen an. Urlaubsgäste halten sich bei ihren Aktivitäten meist länger im Freien auf und sind dabei in besonderem Maße hitzeexponiert. Die Anzahl der Gäste in Schleswig-Holstein ist zwischen 2010 und 2023 auf zuletzt rund acht Millionen gestiegen.

10.5.2.3 Sensitivität

Ein wesentlicher Sensitivitätsparameter ist die **Bevölkerungsstruktur**, insbesondere das Alter der Menschen. Es ist davon auszugehen, dass Säuglinge, Kinder und Jugendliche aufgrund einer empfindlicheren Haut grundsätzlich ein höheres Risiko für UV-bedingte Gesundheitsschädigungen aufweisen. Ihre Haut ist dünner und das Pigmentsystem je nach Alter noch nicht vollständig entwickelt. Eine hohe UV-Exposition sowie Hautschäden in jungen Jahren erhöhen das Hautkrebsrisiko im späteren Leben deutlich. Auch ältere Menschen gelten als besonders sensitiv: Durch kumulative Exposition im Laufe des Lebens steigt das Risiko für eine Hautkrebserkrankung.

Die Sensitivität wird vor allem durch **individuelle Expositionsmuster** beeinflusst. Das gesundheitliche Risiko hängt maßgeblich davon ab, wie lange und unter welchen Bedingungen sich Menschen im Freien aufhalten und welche Schutzvorkehrungen (zum Beispiel Kleidung, Sonnenschutzmittel, Schatten) getroffen werden. Personen, die berufsbedingt oder durch ihre Freizeitgestaltung besonders viel Zeit draußen verbringen, sind stärker exponiert. Dazu gehören etwa Kinder, die beim Spielen häufig ungeschützt in der Sonne sind, Touristinnen und Touristen, die ihren Urlaub in der Region oft am Strand oder auf dem Wasser verbringen, sowie bestimmte Berufsgruppen wie Arbeitende auf Baustellen oder in der Landwirtschaft.

---

[413] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Climate Change 24/2021. Dessau-Roßlau, 261 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit

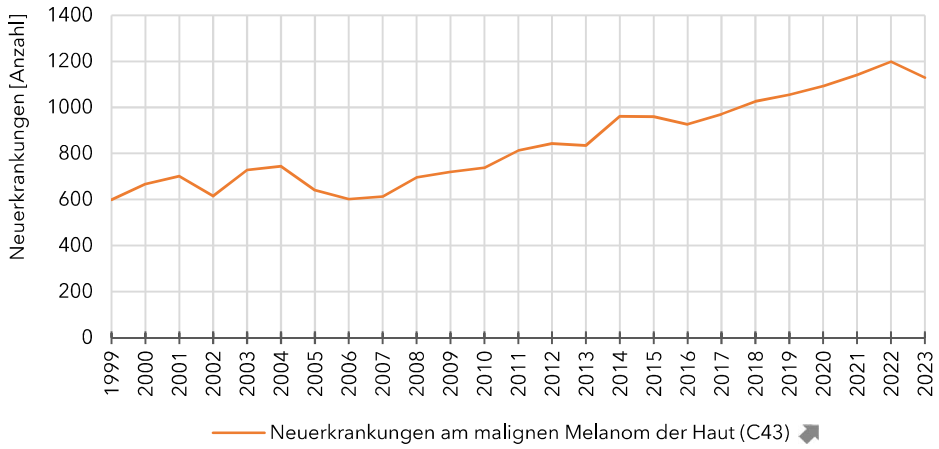
[414] Baldermann C., Lorenz S. 2019: UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Bundesgesundheitsbl 62, 639–645. https://doi.org/10.1007/s00103-019-02934-w

[415] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

10.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

10.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Die Auswirkungen der UV-Belastung auf die Gesundheit der Bevölkerung spiegeln sich unter anderem in Daten der Gesundheitsstatistik wider. Da der Fokus der Klimawirkung auf Hautkrebs liegt, werden für die Analyse die Daten des Krebsregisters Schleswig-Holstein herangezogen. Hautkrebs zählt hierzulande zu den häufigsten Krebserkrankungen. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen dem weißen Hautkrebs – dazu gehören das Basalzellkarzinom sowie das Plattenepithelkarzinom – und dem schwarzen Hautkrebs (malignes Melanom). Während weißer Hautkrebs deutlich häufiger und vor allem im höheren Lebensalter auftritt, gilt das maligne Melanom trotz geringerer Fallzahlen als besonders gefährlich, da es früh metastasieren kann und mit einer höheren Sterblichkeit verbunden ist.[416] Abbildung 86 zeigt die jährliche Zahl der Neuerkrankungen am malignen Melanom der Haut in Schleswig-Holstein. Im Laufe der letzten knapp 25 Jahre ist die Anzahl statistisch signifikant gestiegen. Im Jahr 2022 kam es mit insgesamt 1.198 Neuerkrankungen an schwarzem Hautkrebs zu den meisten Fällen seit 1999.[417]



Quelle: Krebsregister SH (Krebsinzidenz), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 86: Jährliche Anzahl der Neuerkrankungen am malignen Melanom der Haut in Schleswig-Holstein zwischen 1999 und 2023

Im Vergleich der altersstandardisierten Erkrankungsraten zählte Schleswig-Holstein in den letzten Jahren zu den Bundesländern mit relativ hoher Inzidenz.[418] Innerhalb des Landes zeigen sich – auf der Grundlage von Daten der Jahre 2001 bis 2010 – räumliche Unterschiede beim Risiko, neu an schwarzem Hautkrebs zu erkranken. Schleswig-Holstein ist nahezu entlang der Achse Kiel–Pinneberg zweigeteilt: Nordwestlich dieser Linie – einschließlich der gesamten Nordseeküste und der nördlichen Ostseeküste – liegen die Raten deutlich unter dem Landesdurchschnitt, während sie südöstlich der Linie darüber liegen. Diese räumliche Verteilung der Melanominzidenz zeigt Parallelen zum räumlichen Muster der durchschnittlichen jährlichen Sonnenscheindauer.[419]

Im Durchschnitt der 20 Jahre 2003–2022 starben in Schleswig-Holstein jährlich etwa 93 Personen an schwarzem Hautkrebs. Insgesamt gab es in diesem Zeitraum 1.861 Todesfälle. Die Sterblichkeit ist bei Männern höher als bei Frauen. In jedem der letzten fünf Jahre des genannten Zeitraums führte der Hautkrebs bei mehr als 60 Männern zum Tod. Bei den Frauen waren weniger als 50 pro Jahr betroffen. Eine räumliche Analyse zeigt, dass das Risiko, an Krebs zu versterben, in den nördlichen Landesteilen höher liegt als in den südlichen. Die räumlichen Daten zur Mortalität sind aufgrund geringerer Anzahlen allerdings mit Unsicherheiten verbunden.[420]

[416] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 413

[417] Krebsregister Schleswig-Holstein 2025: Interaktiver Bericht. Krebsinzidenz (Neuerkrankungen) C43 – bösartiges Melanom der Haut. https://www.krebsregister-sh.de/iWOB/index.html#/database/timeline

[418] Länderatlas des Deutsches Krebsregisters e. V. (DKR) 2025: Malignes Melanom der Haut (ICD-10 C43). Inzidenz 2020. https://www.dkr.de/dkr-atlas/index.html#/de/

[419] Pritzkuleit R., Eisemann N., Richter A., Holzmann M., Gerdemann U., Maier W., Katalinic A. 2016: Krebsatlas Schleswig-Holstein: Räumliche Verteilung von Inzidenz, Mortalität und Überleben in den Jahren 2001 bis 2010. Institut für Krebsepidemiologie e.V., Lübeck. https://www.krebsregister-sh.de/download/1456/

[420] Pritzkuleit et al. 2016, s. Fußnote 419

10.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Die Intensität der UV-Strahlung am Boden hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Entwicklung der Ozonschicht, aber auch Wolkenbildung, Luftverschmutzung und atmosphärische Zirkulation. Das Zusammenwirken dieser Faktoren in unterschiedlichen Höhenlagen ist äußerst komplex und lässt sich nur mit großen Unsicherheiten modellieren. Eleftheratos et al. (2020)[421] projizieren in ihrer Studie eine Zunahme der DNA-schädigenden UV-B-Strahlung pro Jahrzehnt um etwa 1,3 % ab dem Jahr 2050. Ursachen für diese Entwicklung ist demnach vor allem eine geringere Wolkenbedeckung. Watanabe et al. (2011)[422] projizieren für die mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre und unter Annahme des RCP4.5-Szenarios für die zweite Hälfte des Jahrhunderts eine Zunahme der UV-B-Strahlung in ähnlicher Größenordnung pro Dekade. Unter Annahme des RCP8.5-Szenarios könnte sich aufgrund der weiter steigenden Treibhausgasemissionen, insbesondere von Methan, die Ozonschicht allerdings weiter erholen und dadurch die UV-B-Strahlung an der Erdoberfläche abnehmen. Die Studie von Bais et al. (2011)[423] kommt zu dem Ergebnis, dass die bodennahe UV-B-Strahlung in den nördlichen mittleren Breiten im Verlauf des 21. Jahrhunderts trotz einer allmählichen Erholung der Ozonschicht wahrscheinlich zunehmen wird. Wolkenbedeckung und Aerosolbelastung, die einen natürlichen Schutz gegen UV-Strahlung darstellen, werden abnehmen und den Effekt der sich erholenden Ozonschicht überlagern. Mit Blick auf diese Studienergebnisse ist für Schleswig-Holstein zukünftig mit einer Zunahme der UV-Belastung auszugehen.

Ein zukünftig höheres Risiko für UV-bedingte Hauterkrankungen besteht in denjenigen Regionen, in denen die gemäß den Studien voraussichtlich zunehmende UV-B-Strahlung auf eine hohe Zahl an (exponierten) Menschen trifft. Unter Berücksichtigung der Daten der Bevölkerungsvorausberechnung 2021 werden im Jahr 2040 die meisten Menschen Schleswig-Holsteins in den Landkreisen Pinneberg, Rendsburg-Eckernförde, Segeberg und Stormarn leben. Das sind auch diejenigen Landkreise mit einem relativ hohen Anteil an besonders vulnerablen Hochbetagten im Alter von über 80 Jahren. In den Küstenregionen könnte zukünftig aufgrund der erwarteten wachsenden Zahl an Touristinnen und Touristen vor allem in den Sommermonaten das Risiko zusätzlich steigen. Wissenschaftliche Belege, dass es an den Küsten aufgrund der höheren Feuchtigkeit und der Seewinde häufiger zu Wolkenbedeckung und damit geringerer UV-B-Strahlung kommt, liegen nicht vor. Es empfiehlt sich, Maßnahmen zur Aufklärung und zur Unterstützung der Selbstvorsorge, beispielsweise Informationsmaterial oder die Installation von UV-Ampeln an öffentlichen Plätzen, ebenso wie technische Maßnahmen zum UV-Schutz vor Ort, beispielsweise durch die Schaffung schattenspendender Strukturen wie Sonnenschutzeinrichtungen oder Bäume, in besonders betroffenen Regionen sowie in allen Einrichtungen für besonders vulnerable Personen, darunter Schulen, Kitas und Kindergärten, Altenheime und Krankenhäuser, priorisiert umzusetzen. Darüber hinaus sind Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber eine zentrale Zielgruppe für eine entsprechende Sensibilisierung, um im Rahmen des Arbeitsschutzes Maßnahmen für diejenigen Erwerbstätigen umzusetzen, die aufgrund der Arbeit im Freien einer erhöhten Exposition ausgesetzt sind. Das Plattenepithelkarzinom ist als eine Art des nichtmelanozytären Hautkrebses bereits als Berufskrankheit anerkannt.[424] Da aber grundsätzlich die gesamte Bevölkerung Schleswig-Holsteins von einem steigenden Risiko für UV-bedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen betroffen ist, ergibt sich landesweit Bedarf für entsprechende Schutz- und Präventionsmaßnahmen.

[421] Eleftheratos K., Kapsomenakis J., Zerefos C. S., Bais A. F., Fountoulakis I., Dameris M., Jöckel P., Haslerud A. S., Godin-Beekmann S., Steinbrecht W., Petropavlovskikh I., Brogniez C., Leblanc T., Liley J. B., Querel R., Swart D. P. J. 2020: Possible Effects of Greenhouse Gases to Ozone Profiles and DNA Active UV-B Irradiance at Ground Level. Atmosphere 11, 3, 228. https://doi.org/10.3390/atmos11030228

[422] Watanabe S., Sudo K., Nagashima T., Takemura T., Kawase H., Nozawa T. 2011: Future projections of surface UV-B in a changing climate. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116, 16, Article D16118. https://doi.org/10.1029/2011JD015749

[423] Bais A. F., McKenzie R. L., Bernhard G., Aucamp P. J., Ilyas M., Madronich S., Tourpali K. 2015: Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. Photochem Photobiol Sci 14, 1, S. 19–52. https://doi.org/10.1039/C4PP90032D

[424] Diehl K., Dursun E., Görig, T. 2024: Berufskrankheit UV-induzierter Hautkrebs. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie, 74, 241–247. https://doi.org/10.1007/s40664-024-00544-1

10.6 Klimawirkung „Allergische Reaktionen durch Zunahmen von Aeroallergenen pflanzlicher Herkunft“

10.6.1 Die Klimawirkung im Überblick

Pflanzen stehen in ständiger Wechselwirkung mit ihrer Umwelt und reagieren auf physikalische, chemische und biologische Einflüsse. Die klimatischen Veränderungen infolge des Klimawandels spiegeln sich daher auch unmittelbar in der Pflanzenentwicklung und -verbreitung wider. Für die menschliche Gesundheit besonders relevant sind allergene Pflanzen, deren Pollen, Sporen oder andere Bestandteile allergische Reaktionen auslösen können. Kritisch sind vor allem Aeroallergene – luftgetragene Partikel, die mit dem Wind über weite Distanzen verbreitet und leicht eingeatmet werden können. Zu Gesundheitsbelastungen in Schleswig-Holstein können daher auch Pollen führen, die mit dem Wind aus anderen Teilen Deutschlands verfrachtet werden. Steigende Temperaturen infolge des Klimawandels führen in Schleswig-Holstein und darüber hinaus zu einer verstärkten Pollenproduktion und einer veränderten Pollenzusammensetzung. Gleichzeitig verlängert sich die Vegetationsperiode. Dadurch erweitert sich der Zeitraum, in dem allergene Pollen in der Luft vorhanden sind. Zudem verändert der Klimawandel die Lebensraumbedingungen vieler Pflanzenarten: Wärmeliebende Arten profitieren und besiedeln zunehmend Regionen, die zuvor klimatisch ungeeignet waren. Dazu zählen auch invasive allergene Arten wie die Beifuß-Ambrosie, deren Pollen bereits in geringen Konzentrationen starke allergische Reaktionen auslösen können. Die gesundheitlichen Folgen aeroallergener Belastungen reichen von allergischer Rhinitis und Bindehautentzündungen bis hin zu Verschlechterungen bestehender Atemwegserkrankungen wie Asthma. Wiederkehrende oder verstärkte Symptome können die Lebensqualität erheblich beeinträchtigen und zu einem erhöhten medizinischen Versorgungsbedarf, zu Arbeitsausfällen und weiteren sozialen sowie ökonomischen Folgewirkungen führen.

10.6.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

10.6.2.1 Klimasignale

Das Pflanzenwachstum und die Dauer sowie die Intensität der Pollenproduktion werden aufgrund der komplexen Interaktionen zwischen Pflanzen und ihrer Umwelt von vielfältigen klimatischen Parametern beeinflusst. Der **Lufttemperatur** kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Höhere Temperaturen verlängern in den gemäßigten Breiten die Vegetationsperiode und beschleunigen die Pflanzenentwicklung vom Austrieb bis zur Blüte.[425] Die Pollenfreisetzung setzt dadurch meist früher im Jahr ein und hält länger an. Gleichzeitig beeinflusst Wärme den Stoffwechsel der Pflanzen, unter anderem die photosynthetische Aktivität. Dies kann zu einer erhöhten Biomassebildung und damit zu einer größeren Anzahl potenzieller Blütenstände mit mehr Pollenkörnern pro Blüte führen.[426] In Schleswig-Holstein ist die Jahresmitteltemperatur im Laufe der letzten knapp 150 Jahre angestiegen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts schwankte die durchschnittliche Lufttemperatur um 8 °C. Nur einzelne deutlich wärmere Jahre wie 1934 oder Ende der 1940er Jahre stechen heraus. Ein starker und kontinuierlicher Anstieg der Jahresmitteltemperatur vollzieht sich insbesondere seit Ende der 1980er Jahre. Innerhalb der letzten 30 Jahre (1995–2025) lag die durchschnittliche Jahrestemperatur nur in zwei Jahren unterhalb des langjährigen Mittels (1961–1990), in allen anderen darüber. Vor allem in den letzten Jahren betrug die Abweichung teilweise mehr als +2 °C. Der Temperaturanstieg ist nicht nur für das Gesamtjahr zu beobachten, sondern auch für jede einzelne Jahreszeit. Weitere Informationen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Lufttemperaturen in Schleswig-Holstein sind der Klimaanalyse[427] (siehe Abbildungen 2 bis 5) zu entnehmen.

Steigen die Temperaturen im Frühjahr zeitiger an, setzt auch die phänologische Pflanzenentwicklung früher ein, beispielsweise die Knospenöffnung, Blattentfaltung und Blüte. Gleichzeitig verzögern mildere Herbsttemperaturen den Eintritt von Blattfall und Wachstumsruhe, sodass Pflanzen länger aktiv bleiben. Insgesamt verlängert sich die **Dauer der**

[425] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Climate Change 24/2021. Dessau-Roßlau, 261 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit

[426] Bergmann K.-C., Brehler R., Endler C., Höflich C., Kespohl S., Plaza M., Raulf M., Standl M., Thamm R., Traidl-Hoffmann C., Werchan B. 2023: Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen in Deutschland. Journal of Health Monitoring, 8, S4, 82–110. https://doi.org/10.25646/11648

[427] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

Vegetationsperiode, das heißt der Zeitraum, in dem pflanzenphysiologische Prozesse ablaufen können. Ausführlichere Daten und Grafiken zur Entwicklung der Dauer der Vegetationsperiode sind Bestandteil der Klimaanalyse (Abbildungen 18 bis 20). In den zurückliegenden zehn Jahren 2014–2023 setzte die Vegetationsperiode im Durchschnitt eine Woche früher ein als in den zehn Jahren zu Beginn der Aufzeichnungen 1992–2001. Ein signifikanter Trend liegt allerdings nur für das Vegetationsende vor. Es setzt im Vergleich derselben Zeiträume durchschnittlich um 11 Tage später ein. Auch ein Indikator des Klimafolgenmonitorings zeigt „phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten" in Schleswig-Holstein über die letzten rund 70 Jahre. Der phänologische Frühling dauert länger und setzt im langjährigen Durchschnitt der Jahre 1991–2020 etwa 20 Tage früher ein als im Zeitraum 1951–1980. Auch der phänologische Herbst umfasst inzwischen mehr Tage und endet etwas später im Jahr. Weiterführende Informationen zum Indikator sind dem Faktenblatt im Klimafolgenmonitoring[428] zu entnehmen. Mit der verlängerten Vegetationsperiode geht eine längere Pollensaison einher.

Für die Pflanzen- und Pollenentwicklung sind weitere klimatische Faktoren relevant. So beeinflussen neben der Lufttemperatur auch die **Niederschlagsverhältnisse**, **Sonnenscheindauer**, **Verdunstung** und **Bodenfeuchte** das Wachstum, die phänologische Entwicklung sowie die Verbreitung von Pflanzen. Veränderungen in den Niederschlagsmustern – wie längere Trockenphasen oder unregelmäßig auftretende Starkregen – können das Pflanzenwachstum sowohl hemmen als auch unter bestimmten Voraussetzungen begünstigen. Bei ausreichender Bodenfeuchte fördern regelmäßige Niederschläge die Blatt- und Blütenbildung und führen in der Folge zu einer höheren Pollenproduktion. Langanhaltende Trockenheit hingegen kann Stress bei Pflanzen auslösen, die Blütezeit verkürzen und die Menge produzierter Pollen reduzieren.[429] Die Entwicklung der Niederschläge in Schleswig-Holstein ist weniger eindeutig als die der Lufttemperatur. Langjährige Messungen des DWD zeigen eine leichte Zunahme der Jahresniederschläge in Schleswig-Holstein. Allerdings bestehen dabei regionale Unterschiede. Die küstennahen Regionen und Inseln sowie nördlichen und nordwestlichen Landesteile weisen tendenziell höhere Niederschlagsmengen auf als das Binnenland sowie der Süden und Südosten (siehe Klimaanalyse, Abbildung 11). Die Zunahme der Niederschlagsmenge ist vor allem auf steigende Winterniederschlagsmengen zurückzuführen. Für die Sommermonate ist in Schleswig-Holstein bisher kein signifikanter Anstieg der Niederschlagsmengen zu beobachten. Insgesamt ist Schleswig-Holstein ein niederschlagsreiches Bundesland. Länger andauernde Trockenperioden treten nur selten auf. Mit den steigenden Lufttemperaturen ist von einer zunehmenden Verdunstung und damit verknüpft möglicherweise sinkenden Bodenfeuchte auszugehen. Analysen zur Entwicklung der Bodenfeuchte beziehungsweise zum Auftreten von Bodentrockenheit sind Gegenstand der Klimawirkung „Wassermangel im Boden" im Handlungsfeld Boden (siehe Seite 116). Einblicke liefert auch der Indikator „Bodentrockenheit" des Klimafolgenmonitorings. Aufgrund der hohen und nach wie vor relativ kontinuierlichen Niederschlagsmengen in Schleswig-Holstein wird bei den genannten Parametern allerdings insgesamt von einer geringeren Relevanz für die Klimawirkung ausgegangen. Der Fokus der Klimarisikoanalyse liegt stattdessen auf der erwarteten Temperaturentwicklung und der damit verbundenen Veränderung der Vegetationsperiode.

Für die allergische Belastung durch Pollen in Schleswig-Holstein ist nicht nur die lokale Pollenproduktion maßgeblich, sondern auch der Eintrag von Pollen aus anderen Regionen Deutschlands. Viele allergen wirksame Pollen – etwa von Birke, Gräsern oder Ambrosia – können durch großräumige Luftströmungen über weite Distanzen transportiert werden und Schleswig-Holstein selbst dann erreichen, wenn die lokale Hauptblüte noch nicht begonnen hat oder bereits abgeschlossen ist. Diese Fernverfrachtung verstärkt die Gesamtpollenbelastung, verlängert die Expositionsdauer und kann insbesondere bei stark allergenen Arten zu zusätzlichen Belastungsspitzen führen. Die Verfrachtung von luftgetragenen Pollen nach Schleswig-Holstein ebenso wie die Verteilung der lokal produzierten Pollen wird durch das **Wind**geschehen beeinflusst. Aufgrund der Lage zwischen Nord- und Ostsee treten in Schleswig-Holstein tendenziell höhere Windgeschwindigkeiten als in südlicheren und im Binnenland liegenden Bundesländern auf. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten entlang der Küsten auf, die niedrigsten im Süden Schleswig-Holsteins. Die langjährigen vom DWD gemessenen mittleren Windgeschwindigkeiten an verschiedenen Messstationen in Schleswig-Holstein unterliegen deutlichen Schwankungen. Ein klarer Entwicklungstrend liegt für diese Daten nicht vor, allerdings wird im Klimareport 2023 des DWD darauf hingewiesen, dass die mittlere geostrophische Windgeschwindigkeit und die Zahl der Sturmtage an der Nordseeküste und im Binnenland an einzelnen Stationen eher abnimmt.[430] Zu einer Fernverfrachtung von Pollen nach Schleswig-Holstein kommt es insbesondere im Falle von Wetterlagen, bei denen aus der Mittelmeerregion mehrere Tage lang zum Beispiel in Verbindung mit

[428] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt BD-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/_functions/TB_faktenblaetter/teaserbox_faktenblaetter?nn=2542ad21-1568-4e0c-b04e-894e95c9bb77

[429] Diehl et al. 2014, s. Fußnote 426

[430] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 36f. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

föhnartigen Winden warme Luft nach Schleswig-Holstein gelangt. Wissenschaftliche Untersuchungen zu Veränderungen der großräumigen Zirkulationsmuster über Europa zeigen, dass sich derartige Wetterlagen mit südlichen Winden in den letzten Jahren häufiger eingestellt haben.[431]

10.6.2.2 Exposition

Grundsätzlich ist die gesamte **Bevölkerung** durch die Klimawirkung betroffen. Bei Aktivitäten im Freien kommen alle Menschen mit natürlichen Umweltfaktoren in Kontakt und sind damit potenziell gesundheitlichen Belastungen durch Aeroallergene ausgesetzt. Die Bevölkerung Schleswig-Holsteins ist in den vergangenen rund 70 Jahren nahezu stetig gewachsen und erreichte im Jahr 2024 knapp drei Millionen Einwohnerinnen und Einwohner.

Neben den dauerhaft hier lebenden Menschen sind auch die **Touristinnen und Touristen** zu berücksichtigen. Vor allem in den warmen Sommermonaten halten sie sich verstärkt in den Küstenregionen auf, die aufgrund der höheren Windstärken eine erhöhte Pollenbelastung aufweisen können. Zudem halten sich Urlaubsgäste verstärkt im Freien auf und setzen sich dadurch länger potenziellen Aeroallergenen aus. Menschen, die Schleswig-Holstein speziell zur Gesundheitsförderung besuchen, beispielsweise in den Kur- und Erholungsorten, können im Falle von starker Pollenbelastung in besonderem Maße beeinträchtigt werden. Dies kann sich bei wiederkehrenden und längeren Belastungssituationen negativ auf die ökonomische Wertschöpfung des Gesundheits- und Erholungstourismus in Schleswig-Holstein auswirken. Die Zahl der Urlauberinnen und Urlauber ist von 2010 bis 2023 kontinuierlich gestiegen und erreichte zuletzt rund acht Millionen. Weitere Informationen zu klimatischen Auswirkungen auf den Tourismus und die Tourismusstruktur in Schleswig-Holstein sind in der Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen" (siehe Seite 339) im Handlungsfeld Tourismus nachzulesen.

10.6.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität der Bevölkerung wird im Wesentlichen durch den Grad der **Sensibilisierung** beziehungsweise die Anfälligkeit von Personen für die Entwicklung einer Sensibilisierung bestimmt. Diese Parameter hängen von einer Vielzahl individueller und umweltbezogener Einflussfaktoren ab – etwa von genetischen Dispositionen, dem Lebensalter, dem Ausmaß und der Häufigkeit des Kontakts mit allergenen Stoffen, der Ernährung sowie dem allgemeinen Gesundheitszustand, insbesondere bestehenden Erkrankungen des Atem- oder Immunsystems. Während sich nicht sensibilisierte Personen Pollen oft ohne Beschwerden aussetzen können, können bereits geringe Allergenbelastungen der Luft bei sensibilisierten Menschen deutliche Symptome hervorrufen. Es gibt Hinweise darauf, dass städtische Bevölkerungsgruppen tendenziell empfindlicher auf Aeroallergene reagieren als Menschen im ländlichen Raum und dass Kreuzallergien eine zusätzliche Rolle spielen könnten, jedoch fehlen hierfür verlässliche empirische Daten. Aufgrund fehlender Daten zur Sensibilisierung – sowohl für die Vergangenheit als auch im Rahmen von Projektionen für die Zukunft – lassen sich die Sensitivitätsparameter für die Klimarisikoanalyse nicht abbilden.

10.6.3 Ausprägung der Klimawirkung

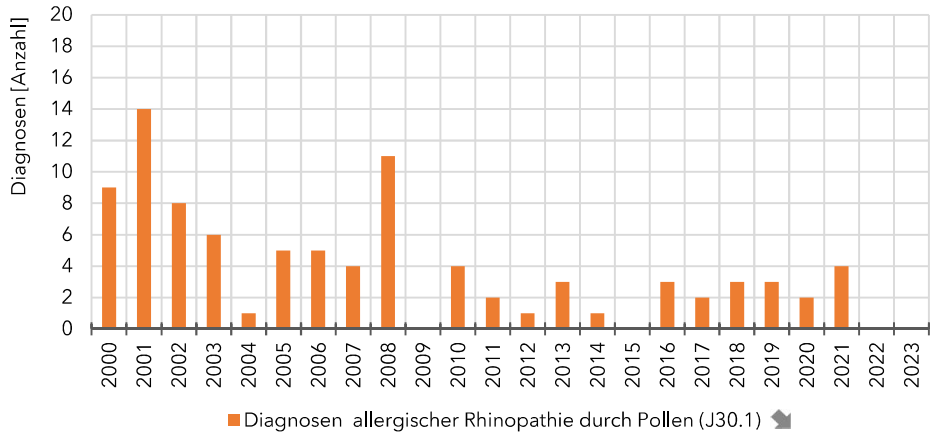
10.6.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen infolge einer Belastung durch Aeroallergene sind vielfältig und nicht vollständig abbildbar. Weder zur Sensibilisierung der Bevölkerung noch zu einem Großteil der pollenbedingten Erkrankungen und Symptomatiken werden systematisch Daten in ausreichender Auflösung erfasst. Eine Ausnahme bildet die allergische Rhinopathie beziehungsweise allergische Rhinitis, die als medizinisch relevante Diagnose nach ICD-10 klassifiziert und dadurch dokumentationspflichtig ist. Es handelt sich um die häufigste Immunkrankheit und eine der häufigsten chronischen Erkrankungen in Deutschland.[432] Die allergische Rhinitis ist eine symptomatische Erkrankung der Nase, hervorgerufen durch eine Entzündung der Nasenschleimhaut nach Allergenkontakt. Zu unterscheiden sind verschiedene Auslöser, darunter saisonal vorhandene pflanzliche Pollen, aber auch ganzjährig vorkommende nicht-pflanzliche Allergene wie Hausstaubmilben, Tierhaare und -schuppen sowie Schimmelpilzsporen. Die allergische Rhinopathie aufgrund von Pollen, zum Beispiel der Heuschnupfen, wird gemäß der ICD-10-Klassifikation unter J30.1 gesondert geführt. Zu den typischen

[431] Vautard R., Cattiaux J., Happé T., Singh J., Bonnet R., Cassou C., Coumou D., D'Andrea F., Faranda D., Fischer E., Ribes A., Sippel S., Yiou P. 2023: Heat extremes in Western Europe increasing faster than simulated due to atmospheric circulation trends. Nature Communications, 14, Article 6803. https://doi.org/10.1038/s41467-023-42143-3

[432] Klimek L. 2020: Allergische Rhinitis – Diagnostik und Therapieoptionen. Drug Research, 70, S 01, S7–S9. https://doi.org/10.1055/a-1119-2665

Symptomen der Erkrankung gehören unter anderem Niesen, Sekretion und eine verstopfte Nase.[433] Abbildung 87 zeigt die in Schleswig-Holstein jährlich seit dem Jahr 2000 erfasste Anzahl der Diagnosen einer allergischen Rhinopathie durch Pollen (J30.1 gemäß ICD-10-Klassifikation). Deutlich wird, dass es über die gesamte Zeitreihe hinweg pro Jahr nur zu einer geringen Zahl an Diagnosen gekommen ist und die Häufigkeit zudem signifikant abgenommen hat. Die niedrigen dokumentierten Diagnosen für die allergische Rhinopathie durch Pollen in Schleswig-Holstein spiegeln allerdings nicht zwangsläufig die tatsächliche Krankheitsprävalenz wider. Ein Heuschnupfen wird mitunter nicht als Hauptdiagnose festgestellt, sondern nur als Nebendiagnose erfasst. Die Symptome in Verbindung mit einer Rhinitis können zudem auch unter anderen alternativen Codes dokumentiert worden sein. Außerdem suchen viele Betroffene bei milden oder saisonal begrenzten Symptomen keine ärztliche Behandlung, sodass keine formale Diagnose gestellt wird. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren ist anzunehmen, dass die offiziellen Zahlen die tatsächliche Prävalenz der allergischen Rhinitis unterschätzen. Bei der Interpretation der Daten ist zu berücksichtigen, dass das Auftreten der Erkrankung nicht ausschließlich durch klimatische Faktoren beeinflusst wird, sondern maßgeblich auch durch individuelle personenbezogene Faktoren. Dazu gehören beispielsweise die spezifischen Lebensumstände der Betroffenen, ihr Alter, ihr gesundheitlicher Allgemeinzustand sowie die individuellen Expositionsmuster. Rückschlüsse auf den klimatischen Einfluss sind bei den Diagnosedaten unsicher.



Quelle: Destatis (Gesundheitsberichterstattung), Auswertung Bosch & Partner GmbH

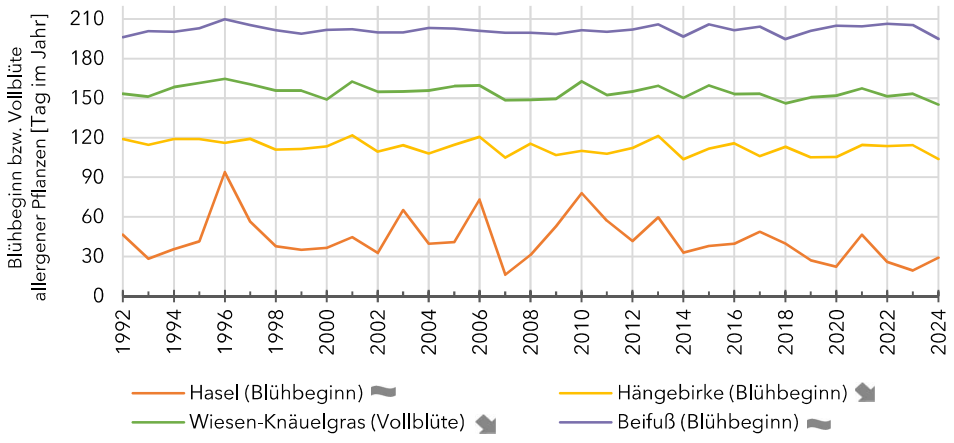
Abbildung 87: Jährliche Anzahl von Diagnosen der allergischen Rhinopathie durch Pollen in Schleswig-Holstein im Zeitraum 2000–2023

Aussagekräftiger können phänologische Daten zur Entwicklung der Blühphasen ausgewählter allergener Pflanzen sein, da die Phänologie direkt abhängig von den klimatischen Bedingungen ist. Abbildung 88 zeigt für die Hasel (*Corylus avellana*), die Hängebirke (*Betula pendula*) und den Gemeinen Beifuß (*Artemisia vulgaris*) den jährlichen mittleren Blühbeginn in Schleswig-Holstein. Für das Wiesen-Knäuelgras (*Dactylis glomerata*) ist der mittlere Zeitpunkt der Vollblüte pro Jahr angegeben. Grundlage sind interpolierte Rasterdatensätze des DWD auf Basis der verfügbaren Meldungen der phänologischen Jahresmelder. Beim Beifuß ist keine signifikante Veränderung des mittleren Blühbeginns festzustellen. Die Blüte setzt im Landesdurchschnitt um den 202. Tag des Jahres ein, das heißt etwa am 20. beziehungsweise 21. Juli. Bei Hasel und Hängebirke hat sich der mittlere Blühbeginn nach vorne verlagert. Im Durchschnitt der letzten zehn Jahre (2015–2024) setzte die Blüte bei der Hängebirke sechs Tage früher ein als in den zehn Jahren zu Beginn der Zeitreihe. Bei der Hasel beträgt die Differenz sogar zwölf Tage. Allerdings ist der Trend zu einem zeitigeren Blühbeginn aufgrund der starken interannuellen Schwankungen bei der Hasel nur bei der Hängebirke statistisch signifikant. Das Wiesen-Knäuelgras kommt signifikant früher im Jahr zur Vollblüte: Statt am 5. Juni, wie im Mittel der Jahre 1992–2001, setzte die Vollblüte im Mittel der letzten zehn Jahre bereits Ende Mai ein.

Die Entwicklung hin zu einer zeitigeren Blüte bei gleichzeitig längerer Andauer der Vegetationsphase im Herbst aufgrund der höheren Temperaturen lässt die Pollensaison länger werden. Dadurch erhöht sich das Risiko für Allergikerinnen und Allergiker. Dies zeigen auch die historischen Aufzeichnungen zur Pollenflugstatistik des DWD.[434] Im Vergleich der Jahre 1997 bis 2025 wird deutlich, dass die Häufigkeit starker Belastungssituationen mit Pollen verschiedener allergener Pflanzen zugenommen hat. Im Jahr 2025 kam es in Schleswig-Holstein zu besonders starken Belastungen durch Haselpollen. Im Jahr 2024 kam es erstmals seit Beginn der systematischen Datenerfassung zu einer nahezu ganzjährigen Belastung durch Gräserpollen.

[433] DWD 2023, s. Fußnote 432

[434] DWD 2025: Pollenflugstatistik. https://www.dwd.de/DE/leistungen/pollen/pollenstatistik.html?nn=16102



Quelle: DWD (Phänologische Jahresmelder), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 88: Entwicklung des mittleren beobachteten Blühbeginns bzw. des mittleren Zeitpunkts der Vollblüte von allergenen Pflanzen in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1992–2024

Eine höhere Belastung der Bevölkerung ergibt sich allerdings nicht nur aufgrund von Veränderungen des zeitlichen Auftretens von Pollen, sondern auch infolge einer gesteigerten Pflanzen- beziehungsweise Pollenproduktion. Daten des Polleninformationsdienstes zeigen für ausgewählte Messstellen die Tendenz einer Zunahme der Jahressummen relevanter allergener Pollen.[435,436] Allerdings unterliegt die Pollenkonzentration jährlichen Schwankungen. Besonders viele Pollen treten in zyklischen Mastjahren auf, bei denen bestimmte Baumarten eine gesteigerte Samenproduktion aufweisen. Es gibt Hinweise darauf, dass sich die zeitlichen Abstände von Mastjahren infolge des Klimawandels verkürzen könnten. Problematisch ist zudem die Etablierung neuer, auch invasiver allergener Arten in Schleswig-Holstein. Dadurch kommt es zu Veränderungen im Spektrum der allergenen Pollen. Steigende Temperaturen, mildere Winter und längere Vegetationsperioden begünstigen die Etablierung wärmeliebender Neophyten. Ein besonders hohes allergenes Potenzial geht von der Beifuß-Ambrosie aus (*Ambrosia artemisiifolia*), deren hochpotente Pollen bereits in sehr geringen Konzentrationen starke allergische Reaktionen auslösen können.[437] Inzwischen ist die Beifuß-Ambrosie auch in Schleswig-Holstein verbreitet.[438,439]

10.6.3.2 Klimarisikoanalyse

Die Projektionen des DWD zeigen für Schleswig-Holstein eine weitere Erhöhung der mittleren jährlichen Lufttemperatur. Je nach Szenario ist bis zur Mitte des Jahrhunderts von einer weiteren Erwärmung um bis zu 2,5 °C auszugehen, bis zum Ende des Jahrhunderts könnte sie sogar bis zu 4,7 °C im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000 betragen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 24). In dieser Größenordnung liegen auch die Projektionen des Klimaausblicks von GERICS.[440] Für den Osten und Süden des Landes wird eine stärkere Erwärmung projiziert als für die westlichen und nördlichen Landesteile. Es ist zu erwarten, dass sich mit der Erwärmung zukünftig auch die Vegetations- und Pollensaisons entsprechend verlängern werden. Der Süden gehört aufgrund der regionalen klimatischen Rahmenbedingungen bereits heute zu den Gebieten mit frühem Beginn der Vegetationsperiode und vergleichsweise frühem Blühbeginn ausgewählter Pflanzen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 20). Vor allem im Süden könnte zukünftig das Risiko für eine verlängerte Pollensaison und häufigere starke Pollenbelastung steigen. Von der weiteren Erhöhung der mittleren Lufttemperatur in Schleswig-Holstein profitieren auch die wärmeliebenden allergenen Pflanzenarten wie die Beifuß-Ambrosie. Diese Arten könnten sich ausgehend von der aktuellen Verbreitung und abhängig von umgesetzten Managementmaßnahmen zukünftig schneller und weiter verbreiten.

Konkrete Projektionsdaten zum zukünftigen Vorkommen von Aeroallergenen oder zur Verlängerung der Pollensaison liegen nicht vor. Projektionen für diese Parameter unterlägen ohnehin großen Unsicherheiten, da sie von zahlreichen Einflussfaktoren abhängen, für die keine entsprechenden Daten vorliegen oder deren Projektionen selbst unsicher sind. In der

[435] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 429

[436] PID – Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst 2025: Pollenmessstationen in Deutschland. https://www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenmessstationen-in-deutschland.html

[437] Bais et al. 2015, s. Fußnote 425

[438] MEKUN 2025: Zentrales Artenkataster Schleswig-Holstein (ZAK-SH). https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/fachauswertungweb/

[439] Otto C., Alberternst B., Klingenstein F., Nawrath, S. 2008: Verbreitung der Beifußblättrigen Ambrosie in Deutschland – Problematik und Handlungsoptionen aus Naturschutzsicht. BfN-Skripten 235, Bonn.

[440] Pfeifer S., Rechid D., Bathiany S. 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.). https://gerics.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes wurde die Klimawirkung über die Entwicklung des Blühbeginns der Erle operationalisiert.[441] Die Analyse basiert auf einem Temperatursummenmodell, das tägliche Lufttemperaturen als zentrale Eingangsgröße nutzt. Ab einem definierten Starttag, der das Vorhandensein eines für die Erle erforderlichen Kältereizes berücksichtigt, werden die täglichen Temperaturen aufsummiert. Als Blühbeginn wird derjenige Tag festgelegt, an dem eine für die Erle spezifische Temperatursumme erreicht wird. Dieser Zielwert wurde mithilfe historischer phänologischer Beobachtungen kalibriert. Die Modellierung erfolgte für die nahe Zukunft (2031–2060) und die ferne Zukunft (2071–2100) unter Annahme des RCP8.5-Emissionsszenarios. Die Ergebnisse zeigen für beide Projektionszeiträume, dass die Erle in den südlichen und westlichen Landesteilen Schleswig-Holsteins früher blühen wird als in den nördlichen und östlichen Gebieten. Dies ist im Wesentlichen auf die ohnehin bereits heute im Süden und Westen tendenziell früher beginnende Vegetationsperiode zurückzuführen. In ganz Schleswig-Holstein wird zukünftig eine weitere Verlagerung des Blühbeginns der Erle nach vorne projiziert. In den östlichen Landesteilen, in denen bisher der Blühbeginn etwas später einsetzt als im Süden und Westen, wird dabei eine stärkere Änderung gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 erwartet. Hier könnte die Erle zum Ende des Jahrhunderts bis zu 16 Tagen früher blühen als im langjährigen Mittel 1971–2000.

Besondere Bedeutung wird zukünftig auch den Küstenregionen zufallen. Es ist davon auszugehen, dass die Schleswig-Holsteinische Küste aufgrund der klimatischen Entwicklungen hierzulande, aber auch in den touristischen Hotspots in Südeuropa, wo künftig mit intensiverer und länger andauernder Hitze zu rechnen ist, touristisch attraktiver werden, und die Zahl der Urlaubsgäste zunehmen könnte. Aufgrund der typischerweise ausgedehnten Aufenthalte im Freien gehören Urlaubsgäste zu den besonders exponierten Personengruppen. Aber auch Einheimische nutzen die Küsten bei entsprechenden Bedingungen für ausgedehnte Aufenthalte im Freien. Gleichzeitig könnte es infolge der Temperaturentwicklungen in angrenzenden Bundesländern und im Ausland zu erhöhter Produktion von Pollen kommen, die nach Schleswig-Holstein, insbesondere an die Küste, verfrachtet werden.

[441] Bais et al. 2015, s. Fußnote 425

11 Handlungsfeld Bevölkerungsschutz

11.1 Relevanz des Handlungsfelds

Der Bevölkerungsschutz umfasst die beiden Teilbereiche Katastrophenschutz und Zivilschutz. Der Zivilschutz ist Aufgabe des Bundes und beinhalt alle nicht-militärischen Maßnahmen, um die Bevölkerung, Betriebe und öffentliche Einrichtungen im Verteidigungs- beziehungsweise Kriegsfall zu schützen. Für den Umgang mit Wetterextremen und ihren Folgen spielt er keine primäre Rolle. Hierfür ist – für den Fall, dass die Ereignisse katastrophale Ausmaße annehmen – der Katastrophenschutz zuständig, der in den Aufgabenbereich der Länder, Kreise und kreisfreien Städte fällt. Zu seinen Kernaufgaben gehört es, die Sicherheit von Bürgerinnen und Bürgern im Katastrophenfall zu gewährleisten. Der Katastrophenschutz fasst dabei alle Maßnahmen für den Schutz von Menschen, Sachgütern und der natürlichen Umwelt vor drohenden oder tatsächlichen Katastrophen[442] zusammen.

Für den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein arbeiten die Katastrophenschutzbehörden des Landes und der Kommunen eng mit den öffentlichen und privaten Hilfsorganisationen zusammen, bei Bedarf werden benachbarte Bundesländer und Staaten in die Zusammenarbeit eingebunden.[443] Mit diesem integrierten Hilfeleistungssystem

- werden vorbereitende Maßnahmen zur Bekämpfung zukünftiger Katastrophen geplant und umgesetzt;
- wird im Katastrophenfall effektiv Hilfe für Menschen in Notsituationen geleistet und der Schutz vor materiellen Verlusten bestmöglich gewährleistet;
- wird nach einer Katastrophe die Beseitigung von Schäden unterstützt.

Den unteren Katastrophenschutzbehörden in den Kreisen und kreisfreien Städten Schleswig-Holsteins sowie auf Helgoland kommen dabei alle Aufgaben zur Vorbereitung und Abwehr vor Ort zu, unter anderem das Krisenmanagement zum Beispiel mit einem Krisenstab oder die Ausbildung des von öffentlichen und privaten Trägern übernommenen Katastrophenschutzdienstes. Das schleswig-holsteinische Innenministerium hat als oberste Katastrophenschutzbehörde die Fachaufsicht über die unteren Katastrophenschutzbehörden und führt die Katastrophenschutzbehörden bei Bedarf unter einheitlicher Leitung zum Einsatz zusammen.[444]

Eine tragende Säule des Bevölkerungsschutzes sind die öffentlichen und privaten Katastrophenschutzdienste, die in Notlagen mit ihren zumeist ehrenamtlichen Helferinnen und Helfern einen großen Teil der praktischen Arbeit vor Ort übernehmen. Zu den öffentlichen Träger zählen wesentlich die Gemeinden mit ihren Feuerwehren, die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW), der Landesfeuerwehrverband Schleswig-Holstein sowie THW-Landesverband Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein. Private Träger des Katastrophenschutzes sind verschiedenen Hilfsorganisationen. In Schleswig-Holstein sind insbesondere das Deutsches Rotes Kreuz (DRK), die Johanniter-Unfall-Hilfe (JUH), der Arbeiter-Samariter-Bund (ASB), der Malteser Hilfsdienst (MHD) sowie die Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG) im Einsatz.[445]

Die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels können den Katastrophenschutz auf verschiedene Weise treffen. Durch zunehmende und teilweise gleichzeitig auftretende oder sich verstärkende extreme Wetterereignisse können die Anzahl und die Andauer von Einsätzen steigen. Für die Einsatzkräfte kann dies mit höheren Belastungen und mit einer

[442] Eine Katastrophe ist nach §1 Abs. 1 des Landeskatastrophenschutzgesetzes Schleswig-Holstein (LKatSG) „ein Ereignis, welches das Leben, die Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung zahlreicher Menschen, bedeutende Sachgüter oder in erheblicher Weise die Umwelt in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass Hilfe und Schutz wirksam nur gewährt werden können, wenn verschiedene Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzdienstes sowie die zuständigen Behörden, Organisationen und die sonstigen eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung der Katastrophenschutzbehörde zusammenwirken."

[443] Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein – Staatskanzlei (Hrsg.) 2026a: Bevölkerungsschutz. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/inneres-sicherheit-verwaltung/bevoelkerungsschutz

[444] Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein – Staatskanzlei (Hrsg.) 2026b: Bevölkerungsschutz – Kommunen / Unternehmen – Organisation und Aufbau. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/inneres-sicherheit-verwaltung/bevoelkerungsschutz/kommunen-unternehmen/_documents/fh_organisation

[445] Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein – Staatskanzlei (Hrsg.) 2026c: Bevölkerungsschutz – Kommunen / Unternehmen – Ehrenamtlich engagiert im Katastrophenschutz https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/inneres-sicherheit-verwaltung/bevoelkerungsschutz/kommunen-unternehmen/ehrenamt

gegebenenfalls steigenden Eigenbetroffenheit verbunden sein, beispielsweise durch Wärmebelastungen oder durch Überflutungen nach Starkregen. Zudem steigt mit zunehmenden Wetterextremen auch die Gefahr, dass Liegenschaften und Material von Einsatzorganisationen direkt von deren Folgen betroffen sind und Einsätze dadurch erschwert oder die Einsatzfähigkeit beeinträchtigt werden können.

Diese Entwicklungen treffen den Bevölkerungsschutz in einer Zeit, in der er einerseits infolge von multiplen Krisen und zunehmenden Bedrohungslagen seitens der Öffentlichkeit eine zunehmende Erwartungshaltung erfährt. Andererseits wurde der Personalbestand seit den 1990er Jahren deutlich reduziert, aufgrund der demografischen Entwicklung ist die Situation im Ehrenamt angespannt und es besteht ein Nachholbedarf an Investitionen bezüglich Ausstattung und Material. Unter diesen Rahmenbedingungen wird eine strategische Weiterentwicklung des Bevölkerungsschutzes in Schleswig-Holstein für notwendig erachtet, die auf eine verstärkten Verzahnung von ehrenamtlich getragenen Katastrophenschutzdiensten und staatlichem Krisenmanagement mit Politik und Bevölkerung zielt. Eine solche Weiterentwicklung kann auch mit Blick auf die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels hilfreich sein. Wesentliche Aspekte sind die Stärkung des Ehrenamts, eine verbesserte Einbindung ungebundener spontaner Helferinnen und Helfer, die Formulierung von Schutzzielen unter Einbeziehung von Politik und Bevölkerung, die Stärkung der Selbsthilfefähigkeit in der Bevölkerung sowie eine stärkere Beachtung des Vorsorgeprinzips bei der Siedlungsentwicklung und mit Blick auf kritische Infrastrukturen.[446]

11.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

11.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes

Extreme Wetter- und Witterungsereignisse und ihre Folgen können Schäden oder Störungen von Einrichtungen der öffentlichen und privaten Träger des Bevölkerungsschutzes verursachen und dessen Leistungsfähigkeit gegebenenfalls beeinträchtigen. In aller Regel verfügen Feuerwehren, Rettungs- und Katastrophenschutzdienste, THW und private Hilfsorganisationen über eigene Liegenschaften, Gebäude und Fahrzeuge, die von Starkregen, Sturm, Sturmfluten, Hagelschlag, Hitze und Trockenheit sowie deren Folgen, wie Überflutungen, umgestürzte Bäume oder Vegetationsbrände, direkt oder indirekt betroffen sein können. Eine Betroffenheit kann auch durch Schäden oder Störungen der Verkehrsanbindung oder des Wasser-, Strom- oder Telefon- und Datennetzes gegeben sein. Eine solche Betroffenheit ist für vergangene Extremereignisse beispielsweise für das Ostseesturmhochwasser 2023 dokumentiert, als einer von zwei Zufahrtswegen der Feuerwache in Eckernförde wegen Überschwemmung nicht mehr nutzbar war.

Durch die Klimaerwärmung treten in Schleswig-Holstein einige Wetter- und Klimaextreme und ihre Folgen bereits heute häufiger und / oder intensiver auf als in früheren Zeiten. Während bei Stark- und Dauerregen sowie bei den Windspitzen bisher keine signifikanten Trends für eine Zunahme festzustellen sind, laufen Sturmfluten bereits heute an der Mehrheit der im Klimafolgenmonitoring berücksichtigten Pegel dem Meeresspiegelanstieg folgend signifikant höher auf als in der Vergangenheit. Hohe Temperaturen treten ebenfalls signifikant häufiger auf. In den vergangenen rund 70 Jahre ist es in Schleswig-Holstein zu einem signifikanten Anstieg an Heiße Tagen gekommen, an denen die Temperatur ein Maximum von wenigstens 30 °C erreicht. Hinsichtlich Trockenheit wurde noch keine statistisch signifikante Entwicklung festgestellt. Die Situation kann sich von Jahr zu Jahr stark unterscheiden, wobei einzelne Jahre wie etwa 2018, 2020 und 2022 aber sehr trocken ausfallen und durch das Auftreten von Dürreperioden gekennzeichnet sein können.

Für die Zukunft deuten die Projektionen und Analysen auf eine Zunahme von Extremwetterereignissen hin. Mit dem fortschreitenden Klimawandel steigt grundsätzlich das Risiko für Starkregenereignisse vor allem im Sommerhalbjahr. Für Schleswig-Holstein deuten die Projektionen, bei einer großen Bandbreite, auf eine Zunahme an Tagen mit einem Niederschlag von mindestens 20 mm hin. Hinsichtlich Stürmen sind ab der Mitte des Jahrhunderts mehr Starkwindereignisse und starke Böen über der Nordsee und Nordwestdeutschland wahrscheinlich. Der Meeresspiegel, wird bis Mitte des Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1995–2014 um weitere bis zu 0,3 m ansteigen, bis Ende des Jahrhunderts kann der

[446] MILI – Ministerium für Inneres, ländliche Räume und Integration des Landes Schleswig-Holstein 2018: Katastrophenschutzbedarfsplanung – Risikoorientierte Ermittlung eines rechnerischen Mindestbedarfs für den Katastrophenschutzdienst in Schleswig-Holstein. Bericht zur Auswertung auf Landesebene. Unveröffentlicht.

Anstieg bis zu 1,0 m betragen. Sturmfluten werden dementsprechend höher auflaufen. Der Temperaturanstieg wird sich den Projektionen zufolge ebenfalls weiter fortsetzen und bis Mitte des Jahrhunderts zu mehr Heißen Tagen und, vor allem im städtischen Bereich, auch zu mehr Tropennächten führen. Bezogen auf Trockenheit bilden die Projektionen eine große Bandbreite möglicher Entwicklungen ab. Im schlechten Fall kann es in Teilen Schleswig-Holsteins bis Ende des Jahrhunderts bis zu eine 14-tägige Trockenperiode mehr je Jahr geben.

Für die zukünftige Entwicklung der Infrastruktur des Bevölkerungsschutzes wird davon ausgegangen, dass diese sich auf die Erhaltung und den gezielten Ausbau der Kapazitäten der Fachdienste fokussiert und auf die bedarfsweise (bauliche) Erweiterung bestehender Standorte konzentriert. Unter dieser Annahme steigt das Risiko für eine Betroffenheit von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes vor allem entsprechend dem sich ändernden Auftreten von Wetterextremen an. Die potenzielle Betroffenheit durch starke Niederschläge steigt in Schleswig-Holstein insgesamt an, insbesondere im Norden und Westen des Landes. Ebenso wird für ganz Schleswig-Holstein eine allgemeine Zunahme von Starkwindereignissen und starken Böen erwartet. Die von höher auflaufenden Sturmfluten ausgehenden Gefahren betreffen offensichtlich im Wesentlichen Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes in küstennahen Bereichen und Niederungen sowie in Bereichen mit einer Hochwassergefahr durch den Rückstau in Flüssen und Kanälen. Mit der steigenden Temperatur werden Heiße Tage und Wärmebelastungen in Schleswig-Holstein insgesamt zunehmen. Hiervon können insbesondere Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes im Südosten des Landes betroffen. Dort kann im Zusammenhang mit der möglichen zunehmenden Trockenheit auch die höchste Gefahr durch Vegetationsbrände für Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes bestehen.

Neben dem höheren Risiko für Beschädigungen und Betroffenheiten von Infrastrukturen können sich Risiken für die Leistungsfähigkeit des Bevölkerungsschutzes auch aus den Auswirkungen von zunehmend häufigeren und intensiveren Wetterextremen auf die überwiegend ehrenamtlich tätigen Einsatzkräfte ergeben. Durch die oben beschriebene mögliche Zunahme extremer Ereignisse kann es zum einen zu höheren Einsatzbelastungen sowie zum anderen zu einer zunehmenden Eigenbetroffenheit von Einsatzkräften kommen. Beide Entwicklungen können sich auf die Personalsituation im Einsatzfall und in der Folge auf die Leistungsfähigkeit des Bevölkerungsschutzes auswirken.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 11.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator EN-I-1: Unterbrechungen der Stromversorgung[447]
Indikator GB-I-1: Elementarschäden an Gebäuden[448]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[449]

11.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

In der KWRA des Bundes aus dem Jahr 2021[450] wurden verschiedene Formen der Eigenbetroffenheit des Bevölkerungsschutzes beschrieben, die als Auswirkungen des Klimawandels entstehen oder sich verschärfen können. So können extreme Wetterereignisse zu hohen Einsatzbelastungen bis an die Kapazitätsgrenzen führen, Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes können geschädigt oder beeinträchtigt werden. Auch kann es der KWRA 2021 zufolge zu Personalausfällen infolge von privater Eigenbetroffenheit von Bevölkerungsschutzkräften zum Beispiel durch Hitze oder Unwetterschäden kommen, oder es kann infolge von hohen Belastungen oder Überlastungen von Managementstrukturen die Aufgabenerfüllung des Bevölkerungsschutzes beeinträchtigt sein. Im Rahmen eines handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops wurden die in der nachfolgenden Tabelle 43 aufgeführten, aus den möglichen Formen der Eigenbetroffenheit abgeleiteten Klimawirkungen mit Expertinnen und Experten diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für

[447] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt EN-I-1 und EN-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/stromversorgung.pdf

[448] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturm_hagel.pdf

[449] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[450] Kahlenborn W., Linsenmeier M., Porst L., Voß M., Dorsch L., Lacombe S., Huber B., Zebisch M., Bock A., Klemm J., Crespi A., Renner K., Lutz C., Becker L., Ulrich P., Distelkam M., Behmer J., Walter A., Leps N., Wehring S., Nilson E., Jochumsen K. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland - Teilbericht 1: Grundlagen. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Band 20.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_20-2021_kwra2021_grundlagen.pdf

Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 43: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Einsatzbelastung der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes	Extreme großflächige oder in mehreren Regionen gleichzeitig ablaufende Wetterereignisse können zu hohen Einsatzbelastungen der Bevölkerungsschutzkräfte führen. Der akut bestehende Hilfebedarf und der Aufwand für die Bewältigung der entstandenen Schäden können die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen und deren Einsatzkräfte gegebenenfalls bis an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit bringen. Durch den fortschreitenden Klimawandel können extreme Wetter- und Witterungsereignisse häufiger auftreten und es kann möglicherweise auch vermehrt zu sogenannten konzertierten Ereignissen kommen. In der Folge kann die Einsatzbelastung für die Organisation und die Einsatzkräfte des Bevölkerungsschutzes ansteigen. In der Ausarbeitung zur Klimawirkung „Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes" sind in Kapitel 11.4.3 „Ausprägung der Klimawirkung" weitere Informationen zum Thema Einsatzbelastung enthalten.
Personalausfälle infolge Eigenbetroffenheit von Katastrophenschutzkräften durch extreme Wetterereignisse	Die Bewältigung von unwetterbedingten Schadenslagen kann auch durch eine personelle Unterbesetzung infolge von Personalausfällen erschwert sein.[451] Schon im Rahmen einer Befragung von Bevölkerungsschutzeinheiten im Jahr 2011 wurden unter anderem personelle Einschränkungen durch Hitze sowie private Betroffenheiten etwa durch Sturmschäden oder Überschwemmungen als Ursachen dafür angeführt, dass Bevölkerungsschutzeinheiten teilweise in Unterbesetzung agieren müssen.[452] Mit dem fortschreitenden Klimawandel können extreme Wetter- und Witterungsereignisse häufiger auftreten und es kann möglicherweise auch vermehrt zu sogenannten konzertierten Ereignissen kommen, in deren Folge die Eigenbetroffenheit von Katastrophenschutzkräften weiter zunehmen kann. Personalausfälle infolge von Eigenbetroffenheit werden ebenfalls in der Klimawirkung „Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes" in Kapitel 11.4.3 „Ausprägung der Klimawirkung" thematisiert.
Beeinträchtigung von Managementstrukturen im Katastrophenschutz	Bei Extremereignissen und insbesondere bei großflächigen Ereignissen mit multiplen Ereignistypen können Managementstrukturen des Bevölkerungsschutzes gestresst und überlastet werden, da nicht genügend ausgebildete Personalressourcen zur Verfügung stehen. Zudem kann es durch Eigenbetroffenheit zu Personalengpässen kommen, sodass ein Katastrophenmanagement mit den regulären Einsatz- und Führungsstrukturen unter Umständen nicht mehr möglich ist. Dadurch können Überlastungen entstehen, die Stabsarbeit und Hilfeleistung einschränken können. Mit der fortschreitenden Klimaerwärmung können solche Situationen zukünftig häufiger auftreten. Zu der Thematik sind keine spezifischen Informationen für Schleswig-Holstein bekannt, weshalb im Workshop entschieden wurde, die Klimawirkungen nicht weiter zu bearbeiten.
Beeinträchtigung von KRITIS	Der Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS) unter anderem vor den Auswirkungen extremer Wetter- und Witterungsereignisse gehört grundsätzlich zu den Aufgaben des Bevölkerungsschutzes. Mit dem im Januar 2026 im Bundestag verabschiedeten KRITIS-Dachgesetz[453] wurden die Definitionen und Prozesse zu den KRITIS an die

[451] BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) 2021: Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung (KlamEx). Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel": S. 28
www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Klimawandel/klamex-abschlussbericht.pdf

[452] BBK (Hrsg.) 2019: Klimawandel - Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz, Band 5. S. 48
www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/PiB/PiB-05-klimawandel.html

[453] Das Dachgesetz zur Stärkung der physischen Resilienz kritischer Anlagen (KRITIS-Dachgesetz – KRITISDachG) wurde vom Bundestag am 29.01.2026 verabschiedet, der Bundesrat hat dem Gesetz am 6. März 2026 zugestimmt.

Klimawirkung	Erläuterungen
	Anforderungen der EU-Richtlinie über die Resilienz kritischer Einrichtungen (CER-Richtlinie[454]) angepasst. Mit dem Gesetz werden Betreiber kritischer Anlagen in allen KRITIS-Sektoren verpflichtet, geeignete und verhältnismäßige Maßnahmen zum physischen Schutz kritischer Anlagen zu treffen. Im KRITIS-Dachgesetz ist ein Prozess angelegt für die Erarbeitung von Risikobewertungen in allen Sektoren, für die Erstellung von Resilienzplänen durch die Betreiber und für die Entwicklung branchenspezifischer Resilienzstandards in den verschiedenen Sektoren. Da die verschiedenen notwendigen Schritte im Wesentlichen bei den Betreibern der jeweiligen Infrastrukturen liegen, wurde im Rahmen des Workshops entschieden, die Klimawirkung nicht in der KRA zu bearbeiten.

11.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Im Handlungsfeld Bevölkerungsschutz wurden die Klimawirkungen „Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes" und „Einsatzbelastung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes" bewertet (siehe Tabelle 44). Die an der Bewertung beteiligten Fachleute sahen für beide Klimawirkungen eine sehr hohe soziale und wirtschaftliche Bedeutung. Die ökologische Bedeutung beider Klimawirkungen wurde hingegen als gering bewertet. Handlungsbedarf seitens der Landesregierung besteht zu beiden Klimawirkungen (siehe Tabelle 45), um den Bevölkerungsschutz und den Katastrophenschutzdienst personell und technisch an die Folgen des Klimawandels anzupassen.

[454] EU-Richtlinie 2022/2557 über die Resilienz kritischer Einrichtungen und zur Aufhebung der Richtlinie 2008/114/EG des Rates. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32022L2557

Tabelle 44: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Bevölkerungsschutz

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes	sehr hoch	gering	sehr hoch	-*	-**
Einsatzbelastung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes	sehr hoch	gering	sehr hoch	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 45: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?"

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes	ja	-*	-**
Einsatzbelastung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes	ja	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

11.4 Klimawirkung „Beschädigungen und Beeinträchtigungen von Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes“

11.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Extreme Wetter- und Witterungsereignisse wie Stark- und Dauerregen einschließlich ihrer jeweiligen Folgen wie Überflutungen und Überschwemmungen, aber auch Orkane, Hagelschauer oder Vegetationsbrände infolge von Hitze und Trockenheit können sich direkt auf Infrastruktur, Gerät und Material des Bevölkerungsschutzes auswirken. Feuerwehren, Hilfsorganisationen und das Technische Hilfswerk verfügen in der Regel über eigene Liegenschaften und Fahrzeuge, die von Unwettern und ihren Folgen betroffen sein können, beispielsweise wenn Dächer abgedeckt oder durch Hagel beschädigt werden, wenn Keller, Gerätehallen oder ganze Liegenschaften unter Wasser stehen, wenn Zufahrtswege durch umgestürzte Bäume oder Überflutungen unpassierbar sind oder stromabhängige Gerätschaften und Kommunikationsmittel ausfallen. Zur direkten Betroffenheit von Infrastruktur und Gerät können die Folgen von Ausfällen der verschiedenen Versorgungssparten, also der öffentlichen Stromversorgung, der Wasserversorgung beziehungsweise -entsorgung oder der Telekommunikationsnetze kommen, an die die Organisationen angeschlossen sind. Außerdem kann eine steigende Beanspruchung bei einer zunehmenden Häufigkeit und Intensität von Unwettern den Verschleiß von Ausrüstung und Material wie Pumpen, Generatoren und Schutzkleidung erhöhen. Die skizzierten Schäden oder Beeinträchtigungen von Infrastrukturen, Gerät und Material können das Reaktionsvermögen und die Leistungsfähigkeit des Bevölkerungsschutzes einschränken. Des Weiteren kann sich eine steigende Einsatzbelastung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes durch häufiger auftretende und / oder länger andauernde Schadenereignisse von einer möglicherweise höheren Komplexität negativ auf die Leistungsfähigkeit des Bevölkerungsschutzes auswirken. Letzteres gilt insbesondere auch für sogenannte konzertierte Lagen, bei denen verschiedene Typen von Extremereignissen gleichzeitig oder in einem engen zeitlichen Zusammenhang auftreten, beispielsweise wenn starker trockener Wind mit einer Waldbrandlage zusammentrifft. Auch können die Bevölkerungsschutzkräfte selbst verstärkt von zunehmenden extremen Wetterlagen und ihren Folgen betroffen und dadurch in ihrer Einsatzfähigkeit eingeschränkt sein. Neben den Folgen der genannten Unwetter können hierbei auch die gesundheitlichen Folgen von Hitze eine Rolle spielen.

11.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

11.4.2.1 Klimasignale

Die wesentlichen Klimasignale für die vorliegende Klimawirkung sind die Häufigkeit, Intensität und Dauer von extremen Wetter- und Witterungsereignissen und ihrer jeweiligen Folgewirkungen. Von Bedeutung sind dabei vor allem die folgenden Ereignistypen:

Stark- und Dauerregen: Diese Niederschlagsereignisse zeichnen sich dadurch aus, dass bezogen auf eine definierte Zeiteinheit außergewöhnlich viel Regen fällt. Sie können grundsätzlich überall auftreten. Der DWD unterscheidet bei seinen Warnkriterien (konvektive) Starkregen und Dauerregen nach der Andauer der jeweiligen Ereignisse. Die Warnkriterien für (konvektiven) Starkregen beziehen sich auf die erwartete Regenmenge in 1 beziehungsweise 6 Stunden. (Weitere Informationen zur zeitlichen und räumlichen Verteilung von konvektiven Starkregen und deren Intensität finden sich in der Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen“.) Für Dauerregen sind die Warnkriterien für die erwarteten Niederschlagsmengen in 12, 24, 48 und 72 Stunden definiert.[455] Abhängig von der topografischen Situation können die Ereignisse in flachem Gelände zu Gefahren durch Überflutungen oder in stärker bewegtem Gelände durch Überflutungen führen (siehe ebenfalls Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen“). Die Niederschlagsmengen von Dauerregen können sich je nach betroffenem Einzugsgebiet zu mitunter hohen Abflüssen in Flüssen akkumulieren und gegebenenfalls großräumige Überschwemmungen auslösen. Beispielsweise waren die Elbe-Hochwasser in den Jahren 2002 und 2013 durch Flusshochwasser eine Folge von Dauerregen im Einzugsgebiet des Oberlaufs der Elbe einschließlich ihrer Nebenflüsse. In Schleswig-Holstein selbst wurde eine vergleichsweise hohe Zahl an Dauerregenereignissen insbesondere in den Jahren 2006 bis 2008 in den Katalogen der Starkregenereignisse (CatRaRE) registriert, relativ viele Dauerregenstunden traten zudem im Jahr 2017 auf (siehe Abbildung *89*). Eine weitere Folge von Stark- und Dauerregen können auch in

[455] DWD 2025: Warnkriterien. https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html

Schleswig-Holstein Hangrutschungen sein. Ein Beispiel hierfür ist die Hangrutschung am Butterberg bei Lauenburg, für deren Entstehen auch starke Niederschläge verantwortlich gemacht werden.[456]

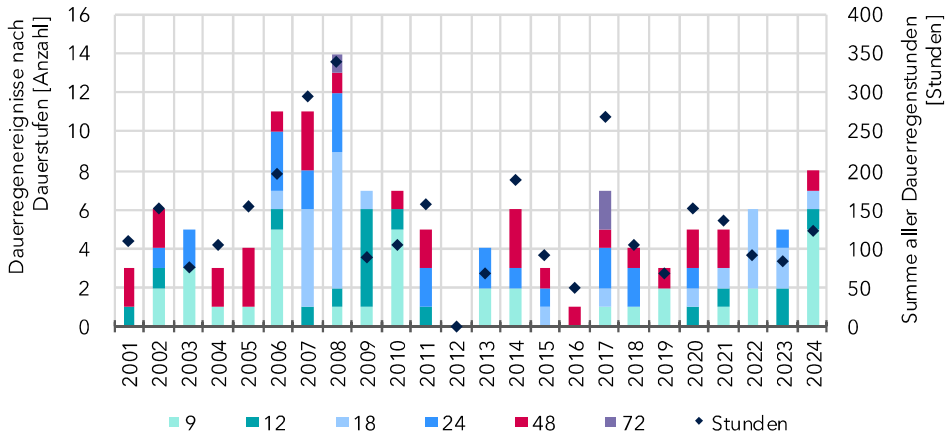


Abbildung 89: Dauerregenereignisse in Schleswig-Holstein nach Dauerstufen

Quelle: DWD (CatRaRe), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Stürme und Sturmfluten: In Schleswig-Holstein sind Stürme und insbesondere Sturmfluten wichtige Klimasignale für die vorliegende Klimawirkung. Basierend auf Messungen an DWD-Stationen lassen sich eine Konzentration hoher Windgeschwindigkeiten auf die Küstengebiete und ein Nord-Süd-Gefälle der mittleren Windspitze, also der über das Jahr gemittelten höchsten täglichen Windgeschwindigkeit, erkennen. Als besonders windreiche Jahre an den DWD-Stationen in Schleswig-Holstein treten die Jahre 1990, 1998, 2007 und 2015 hervor (siehe Klimaanalyse[457], Abbildung 23). Für den Bevölkerungsschutz können Stürme zur Herausforderung werden, wenn durch Astbruch oder umstürzende Bäume Straßen- und Schienenverkehrswege blockiert oder Freileitungen der Stromversorgung unterbrochen werden (Klimafolgenmonitoring, Indikator EN-I-1[458]). Auch eigene Gebäude und Liegenschaften können grundsätzlich von Ast- oder Baumbruch betroffen sein, ebenso durch Hagelschlag. Als besonders schadensträchtig auch für Gebäude gelten Hagelschauer mit großen Körnern ab 5 cm Durchmesser (Klimafolgenmonitoring, Indikator GB-I-2[459]). Kritische Situationen infolge von starkem Wind können vor allem aber auch im Zusammenhang mit Sturmfluten entstehen, die zu den größten Naturgefahren in den deutschen Küstenregionen gehören. Wichtige Faktoren für die Häufigkeit und die Schwere von Sturmfluten an den deutschen Küsten sind Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Winddauer und die Gezeiten. An der Nordsee entstehen Sturmfluten durch eine Überlagerung der aktuellen Tide mit gleichzeitigem Windstau durch einen starken auflandigen Wind. An der Ostsee beeinflussen zudem mögliche Eigenschwingungen des Wasserkörpers und der Füllstand des Meeres die Stärke und die Dauer der Sturmhochwasser. Den Füllstand bedingt im Wesentlichen zu- und ablaufendes Wasser aus der beziehungsweise in die Nordsee bei Starkwinden. Die Auswirkungen von Sturmfluten hängen neben den genannten Faktoren auch von der Beschaffenheit der Küstengewässer und den vorhandenen Hochwasserschutzmaßnahmen ab. Ohne ausreichende Schutzmaßnahmen können sie zu Überschwemmungen in den Küstenniederungen sowie zu starken Landabbrüchen und Erosionen an den sandigen Küsten führen (Klimafolgenmonitoring, Indikator KUE-I-2[460]). Im Rahmen des Klimafolgen-Monitorings wurden die Zeitreihen der jährlichen höchsten (Tide-)Hochwasserstände (im gleitenden 19-jährigen Mittel) von vier ausgewählten Pegeln mit einer statistischen Trendanalyse untersucht. Bei einer grundsätzlich hohen natürlichen Variabilität, die eine Bewertung auch langfristiger Entwicklungen erschwert, zeigen drei der vier analysierten Zeitreihen signifikant steigende Werte. Das bedeutet, dass an diesen Pegeln die Sturmfluten in der Tendenz dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Veränderungen der Windverhältnisse einschließlich des Windstaus und damit zusammenhängend von Stärke, Häufigkeit und Andauer von Sturmfluten sind bisher nicht erkennbar. Der aktuell gültige

[456] dpa 2024: Erste Arbeiten für Hangsanierung in Lauenburg gestartet. dpa:241007-930-253896/1. Zitiert nach: https://www.zeit.de/news/2024-10/07/erste-arbeiten-fuer-hangsanierung-in-lauenburg-gestartet

[457] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[458] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt EN-I-1 und EN-I-2: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/stromversorgung.pdf

[459] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt GB-I-2: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturm_hagel.pdf

[460] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

Referenzwasserstand HW200 wurde nach Angabe des Generalplans Küstenschutz in den vergangenen hundert Jahren nur an einem von 25 dargestellten Pegeln einmalig um 1 Zentimeter überschritten.[461]

Hitze und Trockenheit können sich auf Bauteile der Gebäudehülle auswirken, die beispielsweise erhöhten Temperaturschwankungen im Tag- und Nachwechsel ausgesetzt sind. Auch können sich mit der Klimaerwärmung die Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen erhöhen und zu höheren Spannungsdifferenzen führen. Eine geringere Luftfeuchtigkeit und Austrocknung kann, gegebenenfalls unterstützt durch eine stärkere UV-Strahlung, zu Versprödung und Rissbildung führen. Infolge der Auswirkungen auf unterschiedliche Materialien, die in der Gebäudehülle eingesetzt werden, sich Hitze und Trockenheit in vielfältiger Weise auf Bauteile der Gebäudehülle auswirken und verschiedene Risiken für Schadensbilder mit sich bringen.[462] Des Weiteren können Hitze und Trockenheit in Abhängigkeit von ihrer Andauer und Intensität die Gefahr von Vegetationsbränden mit sich bringen und verstärken, von denen Risiken für Gebäude und Siedlungen einschließlich der Liegenschaften des Bevölkerungsschutzes und für ihn wichtiger Infrastrukturen ausgehen. Sogenannte Heiße Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 30 °C haben in Schleswig-Holstein über die vergangenen rund 70 Jahre mit statistisch signifikantem Trend zugenommen. Jahre mit einer hohen Anzahl solcher Tage treten zusehends häufiger auf. Auch im klimatologischen Vergleich von 30-jährigen Mittelwerten wird die Zunahme an Heißen Tagen in Schleswig-Holstein deutlich: Ihre mittlere Anzahl stieg im Vergleich der Referenzperiode 1961–1990 und dem Zeitraum 1991–2020 von etwa 1,5 Tagen auf über 3,6 Tage (siehe Klimaanalyse[463], Abbildung 6). Innerhalb Schleswig-Holsteins bestehen dabei deutliche räumliche Unterschiede mit einem Gefälle von Süd nach Nord. Die Spanne reicht im Mittel der letzten zehn Jahre (1994–2023) von durchschnittlich zwischen zwei und drei Heißen Tagen an der Nord- und Ostseeküste bis zu über acht Heißen Tagen im Süden Schleswig-Holsteins (siehe Klimaanalyse, Abbildung 7).

Längere Trockenperioden von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm traten in Schleswig-Holstein im Referenzzeitraum 1971–2000 zwischen zwei und drei Mal jährlich auf. In den östlichen Landesteilen kam es häufiger zu solch trockenen Phasen, während sie im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Geest seltener auftraten. Diese räumliche Verteilung entspricht im Wesentlichen der grundsätzlichen Niederschlagsverteilung im Land (siehe Klimaanalyse, Seite 22). Die Situation kann dabei von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein. Aus den vergangenen Jahren sind vor allem die Jahre 2014, 2018, 2020 und 2022 als sehr trockene Jahre mit auftretenden Dürreperioden in Erinnerung. Diese Jahre zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass mehrere Jahreszeiten von einer deutlichen Trockenheit gekennzeichnet sind. Der Trockenheitsindex nach de Martonne[464] (siehe Abbildung 90) zeigt beispielsweise im Jahr 2018 in Sommer und Herbst sehr niedrige Werte und geben damit an, dass die Niederschlagsmengen im Verhältnis zur Temperatur sehr gering ausgefallen sind. Laut der Handlungsempfehlung Vegetationsbrandbekämpfung mehren sich auch in Schleswig-Holstein die Vegetationsbrandlagen, insbesondere im Zusammenhang mit trockenen Sommern und in dieser Zeit stattfindenden Erntearbeiten.[465] Dagegen spielen Waldbrände im Land bisher eine untergeordnete Rolle. Selbst im extremen Trockenjahr 2018 lag die Waldbrandfläche im Land bei nur 1,1 Hektar.

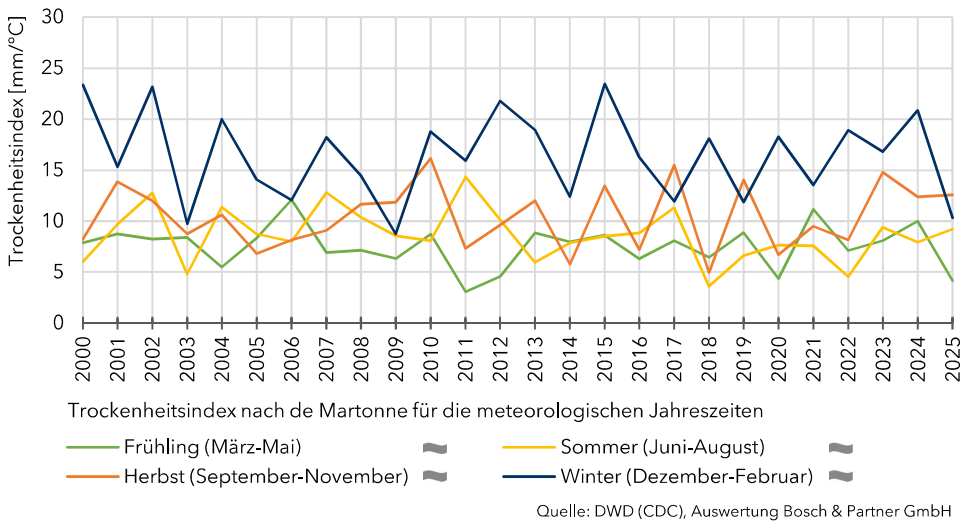
[461] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022. S. 86 f. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

[462] Lösch C., Delfs L., Schwegmann M. 2024: Risikoszenarien für Gebäude und Bauteile resultierend aus Hitze, Trockenheit und Dürre. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.). S. 6 ff. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/jahr/2024/risikoszenarien/endbericht.pdf

[463] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[464] DWD 2026: Raster des monatlichen Trockenheitsindex nach de Martonne. https://dwd-geoportal.de/products/GRD_DEU_P1M_DI-M/

[465] Landesfeuerwehrverband Schleswig-Holstein 2023: Vegetationsbrandbekämpfung - Handlungsempfehlung für die Feuerwehren in Schleswig-Holstein. S. 1 f. https://www.lfv-sh.de/fileadmin/download/_Facharbeit/4_IuK-Einsatz/Download_Einsatz/Handlungsempfehlung_Vegetationsbrandbekaempfung_1.pdf



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 90: Jahreszeitlicher Trockenheitsindex nach de Martonne für Schleswig-Holstein

11.4.2.2 Exposition

Zu den **Einrichtungen und Infrastrukturen des Katastrophenschutzes**, die gegenüber den Folgen des Klimawandels exponiert sind, zählen die Gebäude und Liegenschaften von Organisationen, die Aufgaben des Katastrophenschutz übernehmen. Zu diesen gehören wesentlich die Organisationen des Brandschutzes (freiwillige Feuerwehren der Kommunen, Berufsfeuerwehren, Werksfeuerwehren), die Wasserrettung, die im Sanitäts- und Betreuungsdienst tätigen Hilfsorganisationen (Deutsches Rotes Kreuz, Arbeiter-Samariter-Bund, Malteser Hilfsdienst, Deutsche Lebensrettungsgesellschaft, Johanniter Unfallhilfe etc.) sowie die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW). Zu den relevanten Infrastrukturen zählen des Weiteren alle Versorgungseinrichtungen, die zum Betrieb dieser Gebäude und Liegenschaften erforderlich sind, also die Versorgung mit Strom und Wärme, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Wasserver- und -entsorgung (Wasserleitungen, Kanalisation), ebenso wie die Zufahrtswege und -straßen zu den Liegenschaften. Ein vollständiger, räumlich konkreter Datensatz zu den konkreten Liegenschaften und den jeweiligen Versorgungsinfrastrukturen liegt allerdings nicht vor, sodass eine diesbezügliche Beschreibung der Exposition nicht möglich ist.

Für einen Überblick über die Infrastruktur der Katastrophenschutzes wird daher auf die Ergebnisse einer im Zuge der Katastrophenschutzbedarfsplanung im Jahr 2018 durchgeführten Bestandsaufnahme zugegriffen.[466] Damals wurden durch die unteren Katastrophenschutzbehörden der Kreise und kreisfreien Städte des Landes Schleswig-Holstein nach einer durch das Innenministerium vorgegebenen Herangehensweise die Risiken für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich nach einem einheitlichen Muster erfasst und daraus eine Aufstellung der benötigten Ressourcen zu deren Bewältigung gemäß dem Handbuch zur risikoorientierten Ermittlung des Mindestbedarfs für den Katastrophenschutzdienst.[467] Für die Bedarfsplanung wurde den ermittelten, zur Bewältigung des größten Szenarios benötigten Ressourcen der aktuelle Bestand an Katastrophenschutzfähigkeiten gegenübergestellt und aus dem Saldo von Ressourcen und Bestand der gegebenenfalls noch zu deckende Bedarf abgeleitet. Um in diesem Schritt zu landesweit vergleichbaren Ergebnissen kommen zu können, mussten die unteren Katastrophenschutzbehörden die Leistungsfähigkeit des Katastrophenschutzes in ihrem Zuständigkeitsbereich sowohl qualitativ als auch quantitativ einheitlich beschreiben. Eine Beschreibung anhand der Stärke und Ausstattung der Katastrophenschutz-Einheiten wäre hierfür nicht aussagekräftig gewesen, da diese aus historischen Gründen in den Kreisen und kreisfreien Städten nicht einheitlich ist. Für die Beschreibung der Leistungsfähigkeit wurden Fähigkeiten (Welche Aufgabe kann die erfasste Einheit übernehmen?) und Kapazitäten (In welchem Umfang können die Aufgaben erledigt werden?) einheitlich definiert und von den unteren Katastrophenschutzbehörden für die Bestandsaufnahme zu folgenden Fachdienste verwendet. Tabelle 7 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Bestandsaufnahme.

- Betreuungsdienst: Aufgaben sind etwa das Einrichten und der Betrieb von Aufnahmestellen, die Registrierung evakuierter Personen, die Versorgung mit Unterkunft (Zelte, Feldbetten) sowie Getränken und Nahrungsmitteln.

[466] MILI (Hrsg.) 2018: Katastrophenschutzbedarfsplanung – Risikoorientierte Ermittlung eines rechnerischen Mindestbedarfs für den Katastrophenschutzdienst in Schleswig-Holstein. Bericht zur Auswertung auf Landesebene. Unveröffentlicht.

[467] MILI (Hrsg.) 2017: Handbuch zur Methode ‚Risikoorientierte Ermittlung eines rechnerischen Mindestbedarfs für den Katastrophenschutzdienst in Schleswig-Holstein. Unveröffentlichtes internes Dokument. Zitiert in: Brüggemann G., Hamann M., Ueth R. 2019: Berechnung des Mindestbedarfs für den Katastrophenschutzdienst in Schleswig-Holstein. IzR (Informationen zur Raumentwicklung) (4): S. 42 ff. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/izr/2019/4/downloads/katastrophenschutzdienst-schleswig-holstein.pdf

- Brandschutzbereitschaft: Die wesentlichen Aufgaben sind die Brandbekämpfung und -verhütung sowie das Retten von Personen.
- Logistikeinheiten: Aufgaben sind die Verpflegung der Einsatzkräfte mit Lebensmitteln sowie die Bereitstellung und Erhaltung des notwendigen Materials für den Einsatz.
- Sanitätsdienst: Dieser Dienst übernimmt die Versorgung von Verletzten und Erkrankten, die Bereitstellung der erforderlichen Infrastruktur und den Transport von Verletzten und Erkrankten in Krankenhäuser und Kliniken.

Tabelle 46: Kapazitäten von vier Fachdiensten des Katastrophenschutzdienstes in Schleswig-Holstein im Jahr 2017 (Quelle: MILI[468])

Fachdienst	**Kapazität**	**Einheit**	**Standorte**
Bezeichnung	Anzahl	Erklärung	Gemeinden
Betreuungsdienst	8.350	Anzahl der Personen, die mit einer Schicht (8 Std.) versorgt werden können	30
Brandschutzbereitschaft	63	Anzahl der Löschzüge	15
Logistikeinheiten	2242	Anzahl der Einsatzkräfte, die mit einer Schicht (8 Std.) versorgt werden können	12
Sanitätsdienst – Liegendtransport ggf. mit ärztlicher Begleitung pro Einheit	137	Anzahl der Patienten, die zeitgleich pro Einheit liegend, ggf. mit ärztlicher Begleitung, transportiert werden können	27
Sanitätsdienst – Liegendtransport pro Einheit	236	Anzahl der Patienten, die zeitgleich pro Einheit liegend transportiert werden können	29

Die Einheiten und Kapazitäten der verschiedenen Fachdienste des Katastrophenschutzes verteilen sich in Orientierung an der Bevölkerungszahl der Kreise und kreisfreien Städte in Schleswig-Holstein. Das bedeutet, in den bevölkerungsreichen Kreisen und kreisfreien Städten in der Mitte und im Osten des Landes waren dem damit verbundenen höheren Bedarf entsprechend mit Stand 2017 mehr Einheiten und Kapazitäten angesiedelt als entlang der Westküste.

11.4.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität der Einrichtungen und Infrastrukturen des Bevölkerungsschutzes ist eng mit der **Beschaffenheit**, insbesondere dem baulichen und infrastrukturellen Zustand der jeweiligen Gebäude und Liegenschaften, dem Bestand an **Schutzmaßnahmen** gegenüber Klimarisiken sowie, hinsichtlich der Infrastruktur der verschiedenen Versorgungssparten, der **Ausstattung** mit Geräten zur Gewährleistung einer unabhängigen Strom- und Wärme- und IKT-Versorgung sowie der Wasserver- und -entsorgung. Dies schließt Treibstoffvorräte für den Betrieb von Fahrzeugen und Notstromaggregaten ein. Hierzu liegen keine Informationen vor, die eine Einschätzung für Schleswig-Holstein erlauben würden.

11.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

11.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Die Betroffenheit von Einheiten des Bevölkerungsschutzes beziehungsweise von der Liegenschaften und Gebäuden durch wetterbedingte Extremereignisse wird in Schleswig-Holstein wie in Deutschland insgesamt nicht eigens erfasst. Es liegen demnach keine konkreten Daten für die Betroffenheit von Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes für das Land vor. Als Beispiel kann jedoch die Betroffenheit der Feuerwehr Eckernförde beim Ostseesturmhochwasser 2023 genannt werden. Hier wurde einer von zwei Zufahrtswegen der Feuerwache durch eine Überschwemmung abgeschnitten. In ähnlicher Weise können sich Rettungswege von Einsatzkräften nicht nur durch Überschwemmungen, sondern auch durch umgestürzte Bäume oder andere Blockaden verlängern oder ganz abgeschnitten werden.

Untersucht wurden die Herausforderungen, die der Klimawandel für den Bevölkerungsschutz bedeuten kann, durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) im Jahr 2011 mittels einer bundesweiten Fragebogenerhebung. Eine jüngere diesbezügliche Informationsquelle ist leider nicht bekannt, die folgenden Aussagen beziehen sich

[468] MILI 2018, s. Fußnote 466: Auswertung der Anhänge

daher auf Deutschland insgesamt. Viele Teilnehmende an der Fragebogenerhebung berichteten damals über Sturmschäden und Überschwemmungen der eigenen Liegenschaften. Auch kam es den Rückmeldungen zufolge zu etlichen Ausfällen der Stromversorgung. Zu Problemen können den Erfahrungen nach außerdem Störungen der Kommunikationstechnologien führen, die sowohl Festnetz- als auch mobile Telefonanschlüsse ebenso wie mobile Datenverbindungen betreffen können. Beide Kategorien, also sowohl die direkten Schäden durch Stürme oder Überschwemmungen als auch die Störungen der verschiedenen Versorgungsstrukturen, haben Einschränkungen der Einsatzfähigkeit nach sich gezogen.[469]

Unabhängig von Schäden an Einrichtungen und Infrastruktur können zunehmende extreme Wetterereignisse die Leistungsfähigkeit des Bevölkerungsschutzes beeinträchtigen, wenn sie großflächig oder in mehreren Regionen gleichzeitig auftreten und zu einer hohen Einsatzbelastung der nichtpolizeilichen Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzdienstes führen. Ähnliches gilt für die oben angesprochenen konzertierten Lagen, wenn unterschiedliche Wetterextreme gleichzeitig oder in engem zeitlichen Zusammenhang auftreten und sich in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken. Der akut bestehende Hilfebedarf und die entstandenen Schäden können dann die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen und deren Einsatzkräfte – in Schleswig-Holstein sind das mehr als 80.000 Menschen – an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit bringen. In Schleswig-Holstein sind hohe Einsatzbelastungen in der Vergangenheit beim Elbehochwasser 2013 bei Lauenburg oder zuletzt beim Ostseesturmhochwasser im Oktober 2023 aufgetreten. 2023 waren fast 2.500 Kräfte von Feuerwehren, Rettungsdiensten, Polizei und THW im Einsatz[470]. Die Leitstelle Nord verzeichnete in den Tagen des Sturmhochwassers annähernd 1.000 Einsätze.[471] Hinzu kommt, dass die Bewältigung von unwetterbedingten Schadenslagen auch durch eine personelle Unterbesetzung wegen Personalausfällen infolge von Eigenbetroffenheit der Einsatzkräfte erschwert sein kann.[472] Im Rahmen der oben schon genannten Befragung von Bevölkerungsschutzeinheiten im Jahr 2011 wurden unter anderem personelle Einschränkungen durch Hitze sowie private Betroffenheiten etwa durch Sturmschäden oder Überschwemmungen als Ursachen dafür angeführt, dass Bevölkerungsschutzeinheiten teilweise in Unterbesetzung agieren müssen.[473] Landesspezifische Informationen für Schleswig-Holstein liegen zu den Themen nicht vor. Hierfür wäre die Etablierung einer regelmäßigen, kontinuierlichen und einheitlichen landesweiten Datenerfassung erforderlich beziehungsweise die Einführung einer solchen Datenerfassung auf Bundesebene, die landesspezifische Aussagen ermöglicht.

11.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Ebenso wenig wie kontinuierlich erhobene Informationen zu Schäden an Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes liegen Projektionen zur zukünftigen Entwicklung solcher Schäden vor. Grundsätzlich hängt diese Entwicklung zum einen von der im Folgenden dargestellten zukünftigen Häufigkeit und Intensität der relevanten Klimasignale Stark- und Dauerregen, Stürme und Sturmfluten sowie Hitze und Trockenheit ab. Zum anderen hängt die zukünftige Ausprägung der Klimawirkung von den Standorten der Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes, der weiteren Entwicklung des Bestands der Liegenschaften und Gebäude sowie ihrer jeweiligen infrastrukturellen Erschließung ab. Außerdem wird sie vom Ausbau und der Ertüchtigung von Anlagen zum Schutz dieser Einrichtungen und ihrer Versorgungssparten beeinflusst oder sonstigen Maßnahmen, die deren Sensitivität gegenüber Klimawandelfolgen reduzieren.

Stark- und Dauerregen: Nach ihrer Dauer differenzierte Projektionen für die zukünftige Entwicklung des Niederschlagsgeschehens liegen bislang nicht vor. Grundsätzlich steht aber fest, dass die Atmosphäre aufgrund der Erwärmung infolge des Klimawandels mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Dadurch steigt mit dem fortschreitenden Klimawandel vor allem in der warmen Jahreszeit das Risiko für Starkregenereignisse. Für die Klimarisikoanalyse wird Starkregen anhand des DWD-Datensatzes zur Anzahl von Tagen dargestellt, an denen im gesamten Tagesverlauf mindestens 20 mm Niederschlag fallen. Diese Tage werden in der Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein als Tage mit starkem Niederschlag bezeichnet. Die vergangene und die projizierte Entwicklung wurden bereits in der Klimaanalyse untersucht (siehe dort Seite 8 beziehungsweise Seite 21). Der Klimaanalyse zufolge gab es in der Referenzperiode 1971–2000 in Schleswig-Holstein pro Jahr durchschnittlich zwei bis fünf Tage mit starkem Niederschlag. Die starken Niederschläge traten vor allem im Westen und Norden

[469] BBK (Hrsg.) 2019: Klimawandel - Herausforderung für den Bevölkerungsschutz. Praxis im Bevölkerungsschutz, Band 5. S. 48 www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/PiB/PiB-05-klimawandel.html

[470] Staatskanzlei Schleswig-Holstein 2023: Bilanz der Sturmflut. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/I/_startseite/Artikel2023/IV/231021_sturmflutschaeden.html

[471] Leitstelle Nord 2023 Pressemitteilung zum Sturm vom 19.10.2023 bis 22.10.2023. https://www.leitstelle-nord.de/2023/11/01/pressemitteilung-zum-sturm-vom-19-10-2023-bis-22-10-2023/

[472] BBK (Hrsg.) 2021: Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung (KlamEx). Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“: S. 28 www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Klimawandel/klamex-abschlussbericht.pdf

[473] BBK 2021, s. Fußnote 472: S. 183

des Landes in der Schleswig-Holsteinischen Geest auf, die grundsätzlich regenreicher ist als die anderen Landesteile. Die Bandbreite der Ergebnisse der Klimaprojektionen zu Tagen mit starkem Niederschlag bis zur Mitte des Jahrhunderts reicht von einer Abnahme um einen Tag im Klimaschutzszenario RCP2.6 bis zu einer Zunahme von drei Tagen unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5. Für das Szenario RCP8.5 würde sich die absolute Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag zwischen drei und acht bewegen. Bis Ende des Jahrhunderts zeigen die Projektionen für das RCP2.6-Szenario ähnliche Ergebnisse wie bis Mitte des Jahrhundert. Für das RCP8.5-Szenario jedoch zeigen sich vor allem mit Blick auf das 85. Perzentil deutliche Veränderungen insbesondere für den ohnehin regenreicheren Norden und Westen des Landes. Dort werden bis zu vier zusätzliche Tage mit starkem Niederschlag projiziert.

Stürme und Sturmfluten: Windprojektionen sind grundsätzlich mit großen Unsicherheiten verbunden. In der Klimaanalyse für Schleswig-Holstein wurde unter anderem aus diesem Grund auf eine Darstellung verzichtet. Allgemein wird gemäß aktueller Klimaprojektionen eher davon ausgegangen, dass die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in Schleswig-Holstein bis zum Ende des Jahrhunderts eher abnehmen wird.[474] Das schließt aber nicht aus, dass auch heftigere Stürme mit kurzfristig hohen Windgeschwindigkeiten häufiger auftreten.
Nach den Ergebnissen einer Untersuchung von Pinto & Reyers (2017[475]) könnte sich das Sturmgeschehen perspektivisch durch eine Verschiebung des nordatlantischen „storm track" nach Osten in Richtung Europa verändern und über Nordwestdeutschland zu häufigeren Starkwindereignissen führen. Die umfangreiche Literaturanalyse von Pinto et al. (2024)[476] ergab, dass der größte Teil der Studien, die Aussagen zur Sturmaktivität treffen, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts von einer Zunahme der Intensität und Anzahl von Stürmen über Mitteleuropa und der Nordsee ausgehen. Der Sechste Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC (IPCC AR6) schlussfolgert, dass es für Erwärmungsszenarien von 2 °C und mehr eine leichte Zunahme sowohl der Häufigkeit als auch der Stärke von Zyklonen, Stürmen, und Starkwinden über Nord-, West-, und Mitteleuropa geben wird, wobei sich die Stärke dieser Zunahme in den verschiedenen Klimamodellen deutlich unterscheiden kann (ebd.: 90). Pinto et al. (ebd. 91) schlussfolgern
Bezüglich Sturmfluten wird erwartet, dass die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[477], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Die für die KWRA 2021 durchgeführten Projektionen unter Zugrundelegung von RCP8.5 zeigen bis Mitte des Jahrhunderts einen Meeresspiegelanstieg gemäß den ausgewählten Modellen 0,06 bis 0,41 Meter, für den Zeitraum bis Ende des Jahrhunderts von 0,22 bis 0,87 Meter. Bei diesen Projektionen waren Entwicklungen im Antarktisbereich nicht berücksichtigt. Im Zusammenhang mit der projizierten weiteren deutlichen Erwärmung kann allerdings ein schnelleres Abschmelzen der großen Landeiskappen auf Grönland und in der Antarktis einher gehen. In der Folge ist damit zu rechnen, dass sich der Meeresspiegelanstieg weiter beschleunigt. Bezüglich in Antarktis und Grönland ablaufenden Prozesse bestehen aber noch große Kenntnislücken, die für die KWRA zur Nichtberücksichtigung geführt haben. Zum Stand des Generalplans Küstenschutz haben sich Bund und Länder darauf verständigt, für vorsorgliche Planungen das Szenario mit der größten Anpassungserfordernis, damals das SSP5-8.5 Szenario, zugrunde zu legen. Für dieses Szenario steigt der globale Meeresspiegel bis Mitte des Jahrhunderts um 0,20 bis 0,30 m an, bis Ende des 21. Jahrhundert wird im Mittel ein Anstieg um 0,77 m erwartet, mit einer wahrscheinlichen Bandbreite zwischen 0,61 und 1,02 m. Auch für andere Szenarien wird mit bis Mitte des Jahrhunderts mit einem Anstieg von etwa 0,20 m und bis Ende des Jahrhunderts mit einem deutlich beschleunigten Anstieg gerechnet. Als weiterer Faktor kommt im Küstenvorfeld die Wassertiefe hinzu, denn der Sturmseegang ist im flacheren Küstenvorfeld durch die Wassertiefen limitiert beziehungsweise verhält er sich dort proportional zur Wassertiefe. Das bedeutet: Bei in etwa gleichbleibenden Sturmverhältnissen wächst der Sturmseegang umso stärker, je weniger das Küstenvorfeld den Meeresspiegelanstieg durch Ablagerungen oder Höhenwachstum ausgleichen kann.[478]

Hitze und Trockenheit: Im Zuge der für die Zukunft projizierten allgemeinen Temperaturerhöhung wird es auch zu einer Zunahme von Temperaturextremen wie den Heißen Tagen kommen. Ihre durchschnittliche jährliche Anzahl betrug in der Referenzperiode 1971–2000 1 bis 4 Tage. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird für das Hochemissionsszenario RCP8.5 unter Annahme des 85. Perzentils ein Anstieg um bis zu 7 Tage projiziert. Die räumliche Verteilung der Anzahl der Heißen Tage folgt dabei einem Süd-Nord-Gefälle, sodass die absolute Anzahl der Heißen Tage unter den genannten Annahmen in

[474] GERICS – Climate Service Center Germany 2021: Klimaausblick Schleswig-Holstein. https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_schleswigholstein_version1.2_deutsch.pdf

[475] Pinto J. G.& Reyers M. 2017: Winde und Zyklonen. In: Brasseur G. P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland – Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: S. 67–75. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_8

[476] Pinto J. G, Feser F., Ludwig P., Reyers M. 2024: Der Klimawandel: Auswirkungen auf Winde und Zyklonen. In: Brasseur G.P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: S. 85-94. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_8

[477] MELUND 2022, s. Fußnote 461: S. 20

[478] MELUND 2022, s. Fußnote 461: S. 20

Schleswig-Holstein auf 3 Tage im Norden und auf bis zu 12 Tage im Süden steigen könnte (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Es ist davon auszugehen, dass auch die Zahl der Tropennächte steigen wird, die im Gebietsmittel für Schleswig-Holstein bisher in einem Bereich zwischen 0,1 und 0,2 Tropennächte je Jahr liegt, in Jahren wie 1997 aber schon 2,8 Tropennächte erreicht hat. Dieser Anstieg wird vor allem in den städtisch geprägten Bereichen zu beobachten sein, die besonders für das Auftreten von Tropennächten disponiert und bereits heute am stärksten von ihnen betroffen sind (siehe Klimawirkung „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt", Abbildung 3).
Für die Entwicklung der Trockentage zeigen Projektionen des DWD bis zur Mitte des Jahrhunderts unter Annahme des RCP8.5 eine vergleichsweise große Bandbreite möglicher Entwicklungen (siehe Klimawirkung „Bodenerosion durch Wind", Abbildung 10). Bei Betrachtung des 85. Perzentils kann es je nach Region zu einer stabilen Entwicklung ohne Veränderung bis zu einer Zunahme um bis zu 14 Tage im 30-jährigen Mittel kommen. In allen Fällen bildet sich ein deutlicher West-Ost-Gradient ab: Im Westen werden trockene Tage weniger stark zunehmen als im Osten. Für die absolute Anzahl an Trockentagen bedeutet das eine Spanne von circa 220 bis 240 Trockentagen in den westlichen Landesteilen und von 240 bis 260 Trockentagen im Osten Schleswig-Holsteins.
Als weiterer Parameter für die Trockenheit wurden in der Klimaanalyse Trockenperioden untersucht. Als längere Trockenperioden gelten in der Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein Zeiträume von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm. Die projizierten Änderungen für die nahe und ferne Zukunft reichen von einer geringen Abnahme bis zu einer geringen Zunahme der Häufigkeit von Trockenperioden in Schleswig-Holstein. Für beide Zeiträume zeigt sich unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5 und bei Betrachtung des 15. Perzentils eine leichte Abnahme solcher Perioden. Am oberen Ende der modellierte Ergebnisse (85. Perzentil) bildet sich für beinahe ganz Schleswig-Holstein bis Mitte als auch bis Ende des Jahrhunderts eine Zunahme an Trockenperioden ab. Vor allem in den nördlicher gelegenen Regionen kann es langjährigen Mittel eine Trockenperiode je Jahr mehr geben als noch 1971–2000. In absoluten Zahlen kann es für den betrachteten „worst case" zu 3 bis 4 Trockenperioden je Jahr kommen. Der bei den Trockentagen beschriebene West-Ost-Gradient ist auch hier deutlich sichtbar (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29).

Entwicklung von Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes: Für die im Abschnitt „Exposition" vorgestellte risikoorientierte Bedarfsermittlung für den Bevölkerungsschutz wurden die Ergebnisse der Bestandsaufnahme auf Kreisebene dem jeweils zur Bewältigung des größten Szenarios benötigten Bedarf an Ressourcen und Kapazitäten der berücksichtigten Fachdienste gegenübergestellt. Im Ergebnis wurde, mit wenigen Ausnahmen, für alle Kreise und kreisfreien Städte als Träger des Bevölkerungsschutzes sowie für alle Fachdienste ein Defizit an Kapazitäten ermittelt. Im Bericht zur risikoorientierten Bedarfsermittlung werden verschiedene Wege skizziert, um den ermittelten Bedarf zu decken. Die Beschaffung neuer Ausstattung ist ein Bestandteil des Maßnahmenmixes. Da eine Limitierung der Leistungsfähigkeit des Katastrophenschutzdienstes aber nur zum Teil durch die vorhandene Ausstattung bedingt ist, zählen wesentlich auch organisatorische Maßnahmen zu diesem Mix, um die Verfügbarkeit von ehrenamtlichen Kräften und von Material in ausreichendem Maß sicherstellen zu können: die gebietsübergreifende Hilfeleistung, Überlegungen zu notwendigen Hilfsfristen und zur zeitlichen Verfügbarkeit sowie eine Ergänzung durch andere Aufgabenträger.[479] Um die Bedarfsdeckung für die verschiedenen Szenarien zu gewährleisten, ist das Zusammenwirken dieser verschiedenen Möglichkeiten und Strategien notwendig.

Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Für die hier zu betrachtende weitere Entwicklung der Infrastruktur des Bevölkerungsschutzes wird davon ausgegangen, dass diese zunächst auf die Erhaltung und den gezielten Ausbau der Kapazitäten der Fachdienste an den bestehenden Standorten fokussiert. Mögliche bauliche Erweiterungen von Infrastrukturen konzentrieren sich auf bestehende Standorte, von einer Entwicklung von Kapazitäten an neuen Standorten wird an dieser Stelle nicht ausgegangen. Der skizzierten Bestandsentwicklung wird in der Klimarisikoanalyse im Sinne des Vorsorgeprinzips die projizierte zukünftige Entwicklung mit der stärksten Ausprägung der Klimasignale gegenübergestellt. Der Fokus liegt dabei auf dem Zeitraum bis Mitte des Jahrhunderts.

Unter diesen Annahmen ist für Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes im Norden und Westen des Landes in der Schleswig-Holsteinischen Geest mit einer starken Zunahme der Tage mit starkem Niederschlag bis zur Mitte des Jahrhunderts um bis zu drei Tagen zu rechnen, sodass in diesem Bereich im langjährigen Mittel zwischen fünf und acht solcher Tage auftreten können. Für die Einrichtungen in den östlichen Landesteilen werden im Mittel weniger als fünf Tage mit Starkniederschlag projiziert. Neben einem erhöhten Risiko der Eigenbetroffenheit von Liegenschaften ist infolge der projizierten

[479] MILI 2018, s. Fußnote 466: S. 23 ff.

Zunahme auch damit zu rechnen, dass die Einsatzbelastung insbesondere der Feuerwehren zum Beispiel für Einsätze der technischen Hilfeleistung bei Überflutungen ansteigen kann. Da bei einem zunehmenden Starkregengeschehen auch die Eigenbetroffenheit von Einsatzkräften potenziell ansteigt, kann die Personalsituation zusätzlich beeinträchtigt sein.

Für das Starkwindgeschehen wird ab Mitte des 21. Jahrhunderts eine allgemeine Zunahme von Starkwindereignissen und starken Böen über der Nordsee und Nordwestdeutschland erwartet. Demnach ist davon auszugehen, dass das Klimarisiko durch Wind in Schleswig-Holstein grundsätzlich ansteigt; eine weitere räumliche Konkretisierung ist mit den vorliegenden Informationen allerdings nicht möglich. Die Gefahr von Sturmfluten ist ihrer Natur nach im Wesentlichen auf küstennahe Bereiche beschränkt, hinzu können die Hochwassergefahr durch den Rückstau in Flüssen und Kanälen sowie eine Gefährdung von Niederungen kommen. Für die Zukunft bis Mitte des Jahrhunderts wird ein Ansteigen der Sturmflutwasserstände in der Größenordnung des mittleren Meeresspiegelanstiegs um etwa 0,20 bis 0,30 m erwartet, sodass die Sturmflutgefahr grundsätzlich ansteigt. Ein mögliches Klimarisiko für eine Eigenbetroffenheit des Bevölkerungsschutzes besteht gegebenenfalls für dessen küstennahe Infrastrukturen, beispielsweise für Einrichtungen des oben nicht näher behandelten Fachdiensts Wasserrettung oder küstennahe Einrichtungen anderer Fachdienste. Für weitergehende Aussagen wäre eine Untersuchung konkreter Standorte erforderlich, die nicht Gegenstand dieser Klimarisikoanalyse sind. Auch für diese Klimawirkung kann es neben der möglichen Eigenbetroffenheit von Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes zu einer Eigenbetroffenheit von Einsatzkräften mit Auswirkungen auf die Personalsituation kommen. Es ist zu beachten, dass der projizierte Meeresspiegelanstieg und das damit verbundene höhere Auflaufen von Sturmfluten im Generalplan Küstenschutz und bei dessen Umsetzung berücksichtigt werden. Es wird an dieser Stelle daher davon ausgegangen, dass sich das Sturmflutrisiko grundsätzlich nicht erhöht, sondern sich weiterhin im bisherigen Rahmen bewegt (siehe Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen“).

Mit der projizierten Temperaturzunahme im Zuge des Klimawandels ist vor allem für den Südosten Schleswig-Holsteins bis zur Mitte des Jahrhunderts von einer deutlichen Zunahme an Heißen Tagen und Wärmebelastungen auszugehen. Ebenso deuten die Projektionen auf eine besonders in dieser Region zunehmende Trockenheit hin. Eine Eigenbetroffenheit kann dort durch die Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf die Baumaterialien und Bauteile von Gebäuden der im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen entstehen. Die Auswirkungen von Hitze und Trockenheit auf Bauteile der Gebäudehülle können vielfältig sein und verschiedene Risiken für Schadensbilder mit sich bringen.[480] Negative Auswirkungen auf die Einsatzfähigkeit müssen damit aber nicht verbunden sein. Vor allem im Südosten Schleswig-Holsteins kann es grundsätzlich auch zu einer Eigenbetroffenheit durch zunehmende Vegetationsbrände infolge von Hitze und Trockenheit kommen. Weitergehende Aussagen hierzu sind ohne eine Untersuchung konkreter Standorte, die nicht Gegenstand dieser Klimarisikoanalyse ist, aber nicht möglich. Über die Eigenbetroffenheit von Gebäuden und Liegenschaften hinaus ist zu beachten, dass zunehmende Wärmebelastungen vermehrt zu gesundheitlichen Belastungen für die Einsatzkräfte führen können und sich dadurch Auswirkungen für die Personalsituation bei Einsätzen ergeben können. Im Zusammenhang mit der zunehmenden Trockenheit können, wiederum insbesondere im Südosten Schleswig-Holsteins, Niedrigwassersituationen an Fließgewässern zunehmen (siehe Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser“). Hieraus können gegebenenfalls Einschränkungen bei der Löschwasserverfügbarkeit entstehen, die in dieser Region mit Blick auf die gegebenenfalls erhöhte Disposition für die Entstehung von Vegetationsbränden zusätzlich problematisch sein können.

[480] Lösch et al. 2024, s. Fußnote 462: S. 6

12 Handlungsfeld Küstenschutz

12.1 Relevanz des Handlungsfelds

Für Schleswig-Holstein, das Land zwischen den Meeren, hat der Küstenschutz eine gesamtgesellschaftliche Bedeutung. Etwa ein Viertel der Landesfläche, auf der 333.000 Menschen wohnen und Sachwerte in Höhe von 60 Milliarden Euro vorhanden sind, ist durch Meeresüberflutungen gefährdet. Ohne Schutzmaßnahmen wären Nutzungen in diesen Küstenniederungen kaum möglich. Darüber hinaus besteht fast die gesamte 1.110 Kilometer lange Küstenlinie aus lockeren Sedimenten, die während Sturmfluten leicht abgetragen werden können. Der Küstenschutz ist daher eine zentrale staatliche und gesellschaftliche Aufgabe. Der Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein 2022 enthält die entsprechende Strategie des Landes.[481]

Neben Wohnraum sind die Küstenregionen Schleswig-Holsteins bedeutende Räume für Wirtschaft, Infrastruktur und gesellschaftliches Leben. Sie bilden wichtige Standorte für maritime Wirtschaftszweige wie Fischerei und Seefahrt. Die durch Deiche geschützten Küstenniederungen sind wichtige Standorte für die landwirtschaftliche Produktion. Zudem stellen die Küstenregionen mit ihren Stränden, Inseln und Küstenlandschaften einen zentralen Standortfaktor für den Tourismus dar. Aufgrund ihres hohen Freizeit- und Erholungswerts gehören diese Gebiete zu den beliebtesten touristischen Destinationen Deutschlands.

Als Übergangszonen zwischen Land und Meer unterliegen die Küsten einer großen natürlichen Dynamik und beherbergen wertvolle Lebensräume für zahlreiche hochspezialisierte Tier- und Pflanzenarten. Eine herausragende ökologische Rolle kommt dabei dem UNESCO-Weltnaturerbe Wattenmeer zu. Auch für den Küstenschutz hat das Wattenmeer eine große Bedeutung. Während Sturmfluten wird hier ein Großteil der in den Sturmwellen enthaltenen Energie vor Erreichen der Küsten unschädlich gemacht. Ohne diese Wirkung würden die Küstenschutzanlagen erheblich stärkerer Belastungen während Sturmfluten ausgesetzt sein.[482]

Mit dem fortschreitenden Klimawandel nehmen die hydrologischen Belastungen an der Küste zu. Der Anstieg des Meeresspiegels und das damit verbundene höhere Auflaufen von Sturmfluten, mögliche Veränderungen des Seegangs sowie langfristige Veränderungen der küstenmorphologischen Prozesse erhöhen die Anforderungen an die bestehenden Schutzsysteme und -anlagen. Küstenregionen gelten aufgrund ihrer Exposition gegenüber klimatischen Einflüssen und der komplexen natürlichen Dynamiken als besonders sensibel gegenüber den Folgen von Klimaveränderungen. Für Schleswig-Holstein ergeben sich daraus Herausforderungen für Planung, Unterhaltung und Weiterentwicklung der Küstenschutzanlagen, um die Küstenräume langfristig zu erhalten und ihre vielfältigen Nutzungen und Funktionen weiterhin sicher zu gewährleisten. Wie sich das Land Schleswig-Holstein im Bereich Küstenschutz auf die Folgen des Klimawandels einstellt, ist im Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein 2022 dargestellt.

12.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

12.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen

Etwa 4.000 km² der Landesfläche Schleswig-Holsteins sind bei einem Sturmflutwasserstand, der statistisch einmal in 200 Jahren eintritt, potenziell – also unter der Annahme, dass es keine Küstenschutzanlagen gäbe – überflutungsgefährdet. Über 90 % dieser Flächen werden aktuell durch 433 km Landesschutzdeiche geschützt, weitere durch Regionaldeiche, Dämme und sonstige Küstenhochwasserschutzanlagen wie Hochwasserschutzwände. In Ergänzung dienen 548 km Mitteldeiche an Nordseeküste und Tideelbe dazu, bei einem Bruch vorgelagerter Landesschutzdeiche die überflutete Fläche zu begrenzen.

[481] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

[482] MELUR (Hrsg.) 2015: Strategie für das Wattenmeer 2100. 88 S. https://www.nationalpark-wattenmeer.de/wp-content/uploads/2020/04/strategie-wattenmeer-2100-web.pdf

Der Klimawandel führt zu einem Anstieg des globalen Meeresspiegels und in der Folge auch zu höheren Wasserständen an der deutschen Küste. Langjährige Pegelreihen an Nord- und Ostsee zeigen für Schleswig-Holstein einen Anstieg der Wasserstände.[483] Sturmflutwasserstände ändern sich naturgemäß entsprechend des mittleren Meeresspiegels. Analysen zum langjährigen gleitenden Mittel der jährlichen Höchstwasserstände an ausgewählten Pegeln verdeutlichen diese Entwicklung.[484] Grundlegende Veränderungen der Windverhältnisse und damit zusammenhängend von Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten sind bislang nicht nachweisbar.

Mit dem steigenden Meeresspiegel und höher auflaufenden Sturmfluten nehmen die hydraulischen Belastungen auf die Küstenhochwasserschutzanlagen des Landes und damit die Herausforderungen zur Erhaltung ihrer Funktionalität zu. Die Küstenländer Deutschlands haben sich darauf verständigt, für vorsorgliche Planungen im Küstenschutz das Meeresspiegelszenario zu nehmen, dass das größte Anpassungserfordernis mit sich bringt. Aktuell ist dies das SSP5-8.5 Szenario[485]. Für dieses Szenario steigt der Meeresspiegel an den deutschen Küsten bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Mittel um etwa 0,8 m an; die wahrscheinliche Bandbreite liegt zwischen 0,6 und 1,0 m.[486] Es wird darauf hingewiesen, dass auch höhere Werte nicht ausgeschlossen werden können; wenn die großen Landeiskappen auf Grönland und in der Westantarktis kollabieren würden. Jedoch sind die Unsicherheiten bezüglich der in den Eiskappen ablaufenden Prozessen sehr groß, weshalb dieses Szenario nicht als Grundlage für konkrete Planungen genutzt wird.

In Verbindung mit höher auflaufenden Sturmfluten und potenziell zunehmendem Sturmseegang steigen damit langfristig die Anforderungen an Bemessung, Stabilität und Unterhaltung der Küstenhochwasserschutzanlagen, um den Schutz von Bevölkerung, Infrastruktur und wirtschaftlichen Nutzungen in den Küstenniederungen weiterhin zu gewährleisten. In Schleswig-Holstein erfolgt eine Anpassung bereits gemäß Generalplan Küstenschutz 2022 durch Umsetzung des Konzepts „Klimadeich", bei dem Deiche mit einem Vorsorgemaß und einer Baureserve verstärkt werden. Der beschrittene Weg ermöglicht es, auf unterschiedliche zukünftige Pfade der Klimaentwicklung zu reagieren und bei Bedarf langfristig einen Meeresspiegelanstieg von etwa 2 m zu kehren. Wenn die geplanten Verstärkungen in dem angestrebten Tempo umgesetzt werden, ist davon auszugehen, dass die Küstenhochwasserschutzanlagen den steigenden Anforderungen auch künftig gerecht werden und derzeit kein erhebliches Klimarisiko besteht. Wird das angestrebte Umsetzungstempo jedoch nicht erreicht, könnte sich mittelfristig ein wachsendes Risiko durch Küstenhochwasser ergeben.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 12.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[487]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[488]

Veränderung von Küstenrückgang und -erosion

Die 1.110 km langen Küsten Schleswig-Holsteins und das Wattenmeer unterliegen infolge von Seegangs-, Tide- und Triftströmungen beziehungsweise den dadurch verursachten Materialumlagerungen einem ständigen Wandel. Während vor allem an den Steilküsten Erosionsprozesse zu einem Sedimentabtrag und zu einem örtlichen Küstenrückgang führen, lassen der Küstenlängstransport und die Ablagerung von Material an anderer Stelle die Küsten wachsen. Die Komplexität und räumliche Differenzierung dieser morphologischen Prozesse ergeben sich neben den einwirkenden Kräften auch aus der vielfältigen geologischen Ausprägung der Nord- und Ostseeküste.

[483] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf

[484] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[485] IPCC 2021: Klimawandel 2021, Naturwissenschaftliche Grundlagen, Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung, Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Deutsche Übersetzung auf Basis der Druckvorlage, Oktober 2021.

[486] MELUND 2022, s. Fußnote 481

[487] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 483

[488] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 484

Der Klimawandel nimmt Einfluss auf die erosiven Prozesse an den Küsten Schleswig-Holsteins. Beobachtungen zeigen, dass der Meeresspiegel seit Jahrhunderten ansteigt und sich dieser Anstieg in den vergangenen Jahrzehnten beschleunigt. Der Meeresspiegelanstieg führt dazu, dass Wellen und Sturmfluten höher auflaufen und weiter landeinwärts wirken. Veränderungen von Wassertiefen, Tidenhub, Windverhältnissen, Seegang und Sturmereignissen können zusätzlich die Erosions- und Sedimentationsprozesse entlang der Küsten und im Wattenmeer beeinflussen. Relevant sind dabei auch Auswirkungen auf die natürliche Pufferfunktion der Wattflächen und Salzwiesen im Wattenmeer, die durch ihre wellendämpfende Wirkung eine Funktionalität für den Küstenschutz aufweisen.[489]

Kurzfristig besonders erosionswirksam sind Sturmfluten, bei denen hohe Wasserstände und starker Seegang zu erheblichen morphologischen Veränderungen führen können. Zwar zeigen Messreihen bislang keine eindeutigen Trends bei Häufigkeit oder Intensität von Sturmfluten sowie bei Windgeschwindigkeiten, jedoch steigen die gleitenden Mittelwerte der jährlichen Höchstwasserstände an mehreren Pegeln in Schleswig-Holstein entsprechend des mittleren Meeresspiegelanstieges an.[490] Aktuell weisen einige Abschnitte der Nordseeküste sowie etwa ein Viertel der Ostseeküste strukturellen Küstenrückgang auf. Die Sensitivität der Küsten hängt dabei stark von der geologischen Beschaffenheit, der Sedimentverfügbarkeit sowie vom Umfang vorhandener Küstensicherungsmaßnahmen ab.

Mit dem projizierten weiteren Meeresspiegelanstieg bis zur Mitte und vor allem bis zum Ende des Jahrhunderts ist zu erwarten, dass erosive Prozesse insbesondere an sandigen Inselküsten der Nordsee sowie an der Ostsee-Festlandsküste zunehmen. Auch für das Wattenmeer kann ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg problematisch werden. Untersuchungen deuten darauf hin, dass Wattflächen durch Sedimentationsprozesse die steigenden Wasserstände bis zu einem gewissen Grad ausgleichen können, bei stark beschleunigtem Meeresspiegelanstieg jedoch Sedimentdefizite entstehen und die Puffer- und Schutzfunktionen des Wattenmeers eingeschränkt werden könnten. Der Generalplan Küstenschutz 2022[491] bildet das strategische Fundament für eine bestmögliche Anpassung an den Klimawandel und für eine optimierte Küstensicherung vor dem Hintergrund der klimatischen Herausforderungen. Dafür setzt der Küstenschutz in Schleswig-Holstein unter anderem auf ein kontinuierliches küstenmorphologisches Monitoring und auf die Umsetzung vorsorgender und auf die örtlichen Bedingungen zugeschnittener Anpassungsmaßnahmen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 12.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[492]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[493]

12.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[494] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 47 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

[489] MELUR (Hrsg.) 2015: Strategie für das Wattenmeer 2100. 88 S. https://www.nationalpark-wattenmeer.de/wp-content/uploads/2020/04/strategie-wattenmeer-2100-web.pdf

[490] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 484

[491] MELUND 2022, s. Fußnote 481

[492] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 483

[493] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 484

[494] Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst L., Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Climate Change 22/2021. Dessau-Roßlau, 277 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-3-Cluster-Wasser

Tabelle 47: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Hinweis: Die Klimawirkungen „Anstieg der Wassertemperatur" und „Veränderung der Meerwasserqualität" der KWRA 2021 werden in der Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein im Handlungsfeld „Biologische Vielfalt und Naturschutz" behandelt.

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Veränderungen von Strömungen und Gezeitendynamik	Die Gezeitendynamik in der Nordsee und in den angrenzenden Küstengewässern wird neben dem mittleren Meeresspiegel durch großräumige ozeanische Prozesse im Nordatlantik sowie lokal durch wasserbauliche Maßnahmen beeinflusst. Analysen historischer Messreihen zeigen, dass sich Tidenhub und Gezeitendynamik in der Vergangenheit verändert haben. Die konkreten Ursachen sind bislang allerdings nicht eindeutig geklärt. Zum Teil werden die Veränderungen mit dem Anstieg des mittleren Meeresspiegels in Verbindung gebracht. Modellierungen zukünftiger Entwicklungen liefern zudem noch kein einheitliches Bild hinsichtlich möglicher weiterer Veränderungen der Gezeitenamplitude. Auch für zukünftige Änderungen großräumiger Strömungsmuster bestehen noch erhebliche Unsicherheiten. Einflussfaktoren sind unter anderem Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantik sowie der Einstrom von atlantischem Wasser in Nord- und Ostsee. Aufgrund der derzeit begrenzten Erkenntnislage und der großen Unsicherheiten bei der Abschätzung zukünftiger Entwicklungen ist eine vertiefende Analyse dieser Klimawirkung aktuell nicht zielführend. Aspekte der Gezeiten- und Strömungsdynamik werden jedoch als Rahmenbedingungen in den Klimarisikoanalysen zu den verkürzt bearbeiteten Klimawirkungen dieses Handlungsfelds berücksichtigt (siehe Kap. 12.4 und 12.5). Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[495] Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[496]
Veränderungen im Seegang	Der Seegang ist, neben verschiedenen Wasserstandparametern, eine wesentliche Kenngröße für die Dimensionierung der Küstenhochwasserschutzanlagen. Außerdem beeinflussen Seegang und Wasserstand zusammen den Abtrag und das Anwachsen an Küsten und sind deswegen auch wichtige Bemessungsgrundlagen für die Küstensicherung. Aussagen zur Entwicklung des Seegangs in der Vergangenheit sind nur eingeschränkt möglich, da entsprechende Messdaten in der Nord- und Ostsee bislang nicht flächendeckend und systematisch erhoben wurden. Vorliegende Erkenntnisse basieren überwiegend auf modellgestützten Rekonstruktionen. Diese zeigen für die Nordsee Zusammenhänge zwischen Seegang, Sturmaktivität im Nordatlantik sowie großräumigen Zirkulationsmustern wie der Nordatlantischen Oszillation. In der Ostsee wird der Seegang im Winter zusätzlich durch Ausdehnung und Dauer der Meereisbedeckung beeinflusst. Auch hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Seegangs bestehen erhebliche Unsicherheiten, die vor allem aus den Unsicherheiten der Windprojektionen resultieren. Modellstudien liefern bislang kein einheitliches Bild über die möglichen Veränderungen. Wie auch bei der Gezeitendynamik werden Aspekte der möglichen Entwicklung des Seegangs in den verkürzt bearbeiteten Klimawirkungen dieses Handlungsfelds berücksichtigt (siehe Kap. 12.4 und 12.5). Für eine gezieltere und detaillierte Ausarbeitung als eigene Klimawirkung werden die derzeit verfügbaren Datengrundlagen als nicht ausreichend beurteilt.
Beschädigung oder Zerstörung von Siedlung und Infrastruktur an der Küste	In den Küstenniederungen Schleswig-Holsteins befinden sich zahlreiche Wohn- und Gewerbegebiete, Verkehrswege sowie technische Infrastrukturen. Extreme Wasserstände infolge von Sturmfluten können bei Versagen oder Überströmen von Küstenhochwasserschutzanlagen zu Überflutungen führen und dadurch Schäden an Gebäuden, Siedlungsstrukturen und Infrastrukturen verursachen. Mit dem fortschreitenden Klimawandel können steigende Meeresspiegel und mögliche Veränderungen von Sturmfluten das

[495] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 483

[496] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 484

Klimawirkung	Erläuterungen
	Risiko für Schäden langfristig erhöhen. Die Klimawirkung wird daher grundsätzlich als relevant eingeschätzt. Eine weitere Analyse erfolgt allerdings nicht im Rahmen dieses Handlungsfelds. Schäden an Gebäuden und Siedlungsstrukturen sind Gegenstand der Klimawirkung „Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser" im Handlungsfeld „Gebäude" (siehe Seite 28). Auswirkungen auf Verkehrswege und Verkehrsinfrastrukturen werden im Handlungsfeld „Verkehr und Verkehrsinfrastruktur" im Zusammenhang mit der Klimawirkung „Hochwasserbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs" beschrieben.
Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in überflutungsgefährdeten Gebieten	In den Küstenniederungen Schleswig-Holsteins sind leistungsfähige Entwässerungssysteme eine zentrale Voraussetzung für die landwirtschaftliche Nutzung, die Siedlungsentwicklung sowie den Schutz von Infrastrukturen. Die Systeme dienen dazu, Niederschlags- und Binnenwasser aus den tiefliegenden Gebieten in die Vorfluter oder in die Küstengewässer abzuleiten. Im Zuge des Klimawandels können steigende Meeresspiegel, höhere Wasserstände bei Sturmfluten sowie veränderte Niederschlagsmuster die Funktionsfähigkeit dieser Entwässerungssysteme beeinträchtigen oder zu einer Überlastung führen. In der Folge kann es in Niederungsgebieten zu verstärkter Bodenvernässung und damit zu Nutzungseinschränkungen kommen. Die Klimawirkung wird grundsätzlich als relevant eingeschätzt. Eine Bearbeitung erfolgt im Handlungsfeld „Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft" im Rahmen der Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten" (siehe Seite 286).

12.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die soziale Bedeutung der zwei im Handlungsfeld Küstenschutz bewerteten Klimawirkungen „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen" und „Veränderung von Küstenrückgang und -erosion" wurde von den beteiligten Fachleuten der Landesregierung als sehr hoch eingeschätzt (siehe Tabelle 48). Der Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen wurde zudem eine sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung zugeschrieben. Als wirtschaftlich hochbedeutend ist die Veränderung von Küstenrückgang und -erosion bewertet worden. Küstenhochwasserschutzanlagen sind von sehr hoher Bedeutung, um Menschen, Gebäude und andere Infrastrukturen vor Küstenhochwasser zu schützen. Ihre Anpassung an neue Anforderungen ist aufwändig und kostspielig. Küstenrückgang und -erosion können ebenfalls wichtige Infrastrukturen gefährden und genutzte Fläche abtragen.

Zu beiden Klimawirkungen sehen die Fachleute keinen zusätzlichen Handlungsbedarf in den kommenden Jahren (siehe Tabelle 49). Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind bereits in der Fortschreibung des Generalplans Küstenschutz Schleswig-Holstein aus dem Jahr 2022[497] enthalten und werden umgesetzt.

[497] MELUND 2022, s. Fußnote 481

Tabelle 48: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Küstenschutz

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen	sehr hoch	gering	sehr hoch	-*	-**
Veränderung von Küstenrückgang und -erosion	sehr hoch	gering	hoch	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 49: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?"

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen	nein	Die Klimaanpassungsstrategie des Landes zum Handlungsfeld Küstenschutz ist im Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022 enthalten. Der Plan wurde 2022 von der Landesregierung verabschiedet und wird seitdem umgesetzt.	-**
Veränderung von Küstenrückgang und -erosion	nein	-*	mit Blick auf die Küstenerosion bestehen keine Handlungsmöglichkeiten

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

12.4 Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen“

12.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Zu den Anlagen für den Küstenhochwasserschutz zählen im Wesentlichen Landesschutzdeiche, Regionaldeiche, konstruktive Bauwerke im Deich wie Sperrwerke und sonstige Küstenhochwasserschutzanlagen wie Hochwasserschutzwände. Durch den infolge des Klimawandels steigenden Meeresspiegel sind die Küstenhochwasserschutzanlagen erhöhten und weiter zunehmenden hydrologischen Belastungen ausgesetzt, denn mit dem Meeresspiegel steigt auch die Intensität der Sturmfluten und des Sturmseegangs. Die Küstenhochwasserschutzanlagen müssen höhere Anforderungen erfüllen, um den Schutz von Bevölkerung und Sachwerten in ihrem Hinterland zu gewährleisten.

12.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

12.4.2.1 Klimasignale

Die Bemessung von Küstenhochwasserschutzanlagen erfolgt anhand statistisch ermittelter Sturmflutwasserstände mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit. In Schleswig-Holstein wird der jeweils aktuelle Sicherheitszustand von Landesschutzdeichen im Zuge der etwa 10-jährlichen Fortschreibungen des Generalplans Küstenschutz (GPK) anhand von Referenzwasserständen überprüft. Der Referenzwasserstand für Landesschutzdeiche ist dabei definiert als der Sturmflutwasserstand, der statistisch einmal in 200 Jahren erreicht wird, das sogenannte HW200.[498] Da die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[499], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen und dadurch zukünftig höhere absolute Wasserstände erreicht werden als bisher, werden im Folgenden beide Größen als Klimasignale vorgestellt.

Der **Meeresspiegelanstieg** steht in einem direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel, da die steigende Temperatur zum einen das Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden beschleunigt und zum anderen eine geringere Dichte des Meerwassers bedingt, sodass sich das Meerwasservolumen ausdehnt. Schätzungen zufolge sind rund 40 % des Meeresspiegelanstiegs auf diese Volumenzunahme zurückzuführen. Der globale Meeresspiegelanstieg ist in Höhe und Geschwindigkeit messbar. Nach den Ergebnissen des IPCC lag der Anstieg im 20. Jahrhundert im globalen Durchschnitt bei etwa 1,4 mm pro Jahr. Demgegenüber hat er im Zeitraum 2006 bis 2018 bereits auf etwa 3,7 mm pro Jahr zugenommen.[500] Der Meeresspiegel in Nord- und Ostsee wiederum wird über den Wasseraustausch mit dem Nordatlantik durch den globalen mittleren Meeresspiegel direkt beeinflusst. Für die deutschen Küsten kommen, bei großen räumlichen Unterschieden, regionale Prozesse wie unter anderem Landhebungen beziehungsweise -senkungen hinzu. Insgesamt zeigen die langjährigen, teilweise bis zu 200 Jahre umfassenden Zeitreihen ausgewählter Pegel in Schleswig-Holstein sowohl an der Nordsee als auch an der Ostsee signifikant steigende Wasserstände und damit einen Anstieg des relativen Meeresspiegels im Beobachtungszeitraum (Klimafolgenmonitoring, Indikator KUE-I-1[501]).

Das **Sturmflutgeschehen** an Nord- und Ostsee ist eng mit dem Meeresspiegelanstieg verbunden. Wichtige Faktoren für die Intensität von Sturmfluten an den deutschen Küsten sind Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Winddauer und die Gezeiten. An der Nordsee entstehen Sturmfluten durch eine Überlagerung der aktuellen Tide mit gleichzeitigem Windstau

---

[498] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022: S. 21 https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

[499] MELUND (2022), s. Fußnote 498: S. 20

Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst, Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, Band 22: S. 132 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_22-2021_kwra2021_wasser.pdf

[500] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) 2021, zit. nach MELUND 2022 (siehe Fußnote 498): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

[501] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf

durch einen starken auflandigen Wind. An der Ostsee beeinflussen zudem mögliche Eigenschwingungen des Wasserkörpers und der Füllstand des Meeres die Stärke und die Dauer der Sturmhochwasser. Den Füllstand bedingt im Wesentlichen zu- und ablaufendes Wasser aus der beziehungsweise in die Nordsee bei Starkwinden. Im Rahmen des Klimafolgen-Monitorings (Klimafolgenmonitoring, Indikator KUE-I-2[502]) wurden die Zeitreihen der jährlichen höchsten (Tide-)Hochwasserstände (im gleitenden 19-jährigen Mittel) von vier ausgewählten Pegeln auf lineare Trends getestet. Bei einer grundsätzlich hohen natürlichen Variabilität, die eine Bewertung auch langfristiger Entwicklungen erschwert, zeigen drei der vier analysierten Zeitreihen signifikant steigende Werte. Das bedeutet, dass an diesen Pegeln die Sturmfluten in der Tendenz dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Veränderungen der Windverhältnisse einschließlich des Windstaus und damit zusammenhängend von Stärke, Häufigkeit und Andauer von Sturmfluten sind bisher nicht erkennbar. Der aktuell gültige Referenzwasserstand HW200 wurde nach den im GPK 2022 dargestellten Daten in den vergangenen hundert Jahren nur an einem von 25 dargestellten Pegeln einmalig um 1 Zentimeter überschritten.[503]

12.4.2.2 Exposition

Dem aktuellen GPK 2022 zufolge sind etwa 4.000 km² der Landesfläche bei einem HW200-Wasserstand potenziell – also unter der Annahme, dass es keine Küstenschutzanlagen gäbe – überflutungsgefährdet. In diesen Küstenniederungen wohnen 333.000 Menschen, die Sachwerte belaufen sich auf 60 Mrd. Euro (GPK 2022). Über 90 % dieser Flächen werden durch insgesamt 433 km **Landesschutzdeiche** geschützt[504], weitere Flächen durch 98 km **Regionaldeiche**[505], 12 km Dämme und 24 km sonstige Küstenhochwasserschutzanlagen. In den Landesschutzdeichen befinden sich insgesamt 147 konstruktive Bauwerke, von denen 110 Bauwerke vor allem der Entwässerung der Küstenniederungen dienen, zum Beispiel Siele, Sperrwerke, Schöpfwerke und Schleusen, und die übrigen (Stöpen, Brücken, Anleger) der verkehrlichen Infrastruktur. Von diesen Küstenschutzbauwerken befinden sich 28 an der Ostseeküste, die übrigen an der Nordseeküste und der Tideelbe. Hinzu kommen 548 km Mitteldeiche an Nordseeküste und Tideelbe, die dazu dienen, bei einem Bruch vorgelagerter Landesschutzdeiche die überflutete Fläche zu begrenzen.[506]

12.4.2.3 Sensitivität

Sturmfluten führen mit ihren Hochwasserständen schon heute dazu, dass es an den geschützten Küstenabschnitten zu einer erhöhten Belastung und gegebenenfalls auch zu physischen Beschädigungen der Küstenschutzeinrichtungen kommt. Der Anstieg des Meeresspiegels und das damit verbundene höhere Auflaufen von Sturmfluten mit dem fortschreitenden Klimawandel bedeuten zunehmende hydraulischen Belastungen für die Küstenschutzsysteme und damit steigende Herausforderungen zur Erhaltung ihrer Funktionalität. Eine erhöhte Sensitivität gegenüber diesen zunehmenden Belastungen haben diejenigen Küstenhochwasserschutzanlagen, deren **Sicherheitszustand** gemäß gewässerkundlicher und / oder geotechnischer Überprüfung nicht dem aktuellen Schutzstandard entspricht, die also eine Sicherheitsdefizit bezogen auf die jeweils geltenden Referenzwasserstände haben.

Die Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche bezogen auf einen zulässigen Wellenüberlauf über die Deichkrone von 2,0 l / (s*m) bei definierten Referenzwasserständen wurde erstmalig in den Jahren 1999–2000 und erneut in den Jahren 2010–2011 durchgeführt. Im Jahr 2011 wurde an Landesschutzdeichen ein Verstärkungsbedarf an 29 Deichabschnitten mit einer Länge von insgesamt 93 km festgestellt. Bis Ende 2021 wurden insgesamt 29 km Landesschutzdeiche verstärkt. Im Jahr 2020 wiesen rund 18,5 % der Landesschutzdeiche Sicherheitsdefizite auf (siehe Abbildung 91). In den Jahren 2022 bis 2025 wurden weitere 7,5 km verstärkt. Zum Stand Januar 2026 sind insgesamt 63 km Landesschutzdeiche (15 %) zu verstärken und weisen somit ein Sicherheitsdefizit und eine erhöhte Sensitivität auf.

[502] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[503] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 86 f.

[504] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 43

[505] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 49

[506] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 52 f.

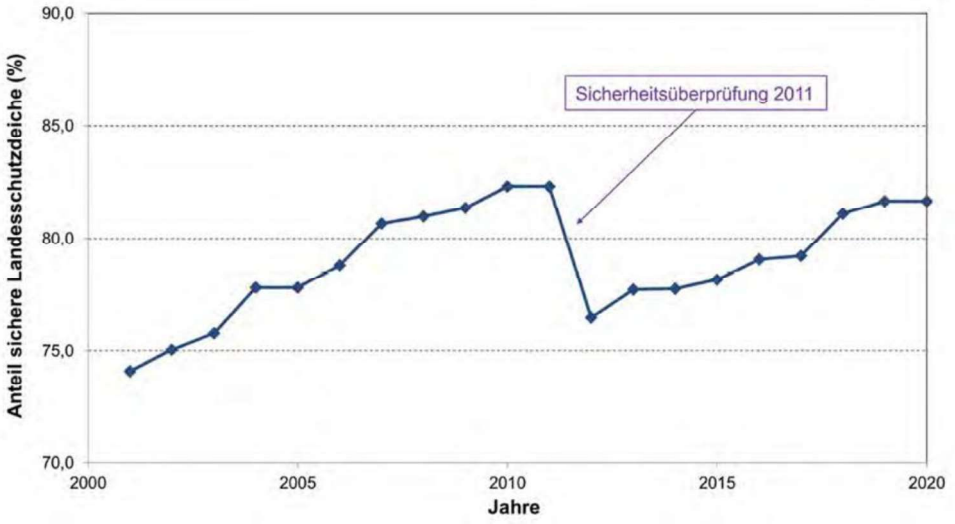


Abbildung 91: Entwicklung des prozentualen Anteils der Landesschutzdeiche ohne Sicherheitsdefizite seit 2001 (Quelle: MELUND[507])

Die Anforderungen an die Bemessung der Deichverstärkungen wurden dabei mit dem wachsenden Kenntnisstand zum zukünftig möglichen Meeresspiegelanstieg sukzessive angepasst. Seit 2001 werden Landesschutzdeiche, die nach einer Sicherheitsüberprüfung als zu verstärken eingestuft wurden, mit einem Klimazuschlag in Höhe von 0,5 m verstärkt. Seit dem Jahr 2012 werden sie zusätzlich mit einer Baureserve ausgeführt, die es ermöglicht, den Deich zu einem späteren Zeitpunkt weiter zu verstärken. Damit kann in mehreren Bauphasen einen Meeresspiegelanstieg von insgesamt 1,5 m ausgeglichen werden. Als Reaktion auf den 2019 veröffentlichten Sonderbericht des IPCC zu den Ozeanen und der Kryosphäre[508] hat Schleswig-Holstein das Konzept Klimadeich mit dem GPK 2022 weiter entwickelt. Anstelle des Klimazuschlags wird nunmehr ein Vorsorgemaß von 1,0 m bei der Bemessung der Verstärkungsmaßnahme angesetzt. Einschließlich der Baureserve kann damit einen Meeresspiegelanstieg von circa 2,0 m gekehrt werden.[509]

12.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

12.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Der Anstieg des Meeresspiegels und infolgedessen höher auflaufende Sturmfluten führen zu einer Zunahme der Anforderungen und Belastungen der Küstenhochwasserschutzanlagen. Beides lässt sich nicht mit einem Monitoring erfassen. Die steigenden Anforderungen manifestieren sich in Änderungen der statistisch ermittelten und regelmäßig an den steigenden Meeresspiegel angepassten Referenzwasserstände, die sich als Vorsorgegrößen nicht für ein Monitoring eignen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass methodische und datentechnische Weiterentwicklungen die Höhe der Referenzwasserstände beeinflussen können. Dies war zum Beispiel bei der Ermittlung des RHW2030 (HW200 bezogen auf das Jahr 2030) für den GPK 2022 der Fall. Deshalb, aber auch wegen einer nachlassenden Höhe der Sturmfluten liegen diese Referenzwasserstände in Teilen unter denen des RHW2020.[510] Eine Änderung der Referenzwasserstände lässt daher nicht notwendigerweise auf eine Änderung des Vorsorgebedarfs schließen.

Einen Ansatz für das Monitoring der Belastung von Küstenhochwasserschutzanlagen könnte die Entstehung von Schäden an den Anlagen infolge von Sturmfluten bieten. Allerdings werden Schäden, die an Küstenhochwasserschutzanlagen entstehen, im Rahmen des Regiebetriebs ausgebessert. Es handelt sich in der Regel um Einzelereignisse, die nicht eigens erfasst werden. In Extremfällen kann allerdings ein sehr hohes Schadenausmaß erreicht werden. Dies war zuletzt im Oktober 2023 der Fall. Damals traf eine schwere bis sehr schwere Sturmflut die Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Die außergewöhnlich hohen Wasserstände, die lange Dauer des Sturmhochwassers und der starke Seegang führten vor allem an ostwärts ausgerichteten Küstenabschnitten zu massiven Schäden, insbesondere an touristischen und Hafenanlagen. Während die Landesschutzdeiche die Sturmflut kehren konnten, versagten 8 von insgesamt 35 Regionaldeichen infolge von Deichbrüchen, Überlauf und Umströmung. An 10 Regionaldeichen traten mittlere bis starke Schäden auf. An 20 Regionaldeichen

[507] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 27

[508] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. https://www.ipcc.ch/srocc/

[509] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 21 f.

[510] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 45 ff.

wurden Wiederherstellungsmaßnahmen erforderlich.[511] Die Kosten für die Behebung der Schäden an Küstenschutzanlagen beliefen sich insgesamt auf etwa 35 Mio. Euro. Weitere schadensträchtige Sturmfluten der jüngeren Vergangenheit ereigneten sich in den Jahren 1962 und 1976.

12.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Die zukünftige Entwicklung von Anforderungen an und Belastungen von Küstenschutzanlagen hängt in erster Linie von dem weiteren Anstieg des Meeresspiegels sowie dem höheren Auflaufen von Sturmfluten und dem zunehmenden Sturmseegang ab, die damit verbunden sind. Bezüglich Sturmfluten wird erwartet, dass die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[512], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend zunehmen. Der Küstenschutz in Schleswig-Holstein bezieht sich im GPK 2022 für die zukünftige Entwicklung des Meeresspiegelanstiegs auf den Teilbericht „Wissenschaftliche Grundlagen" des 6. Sachstandsberichts des Weltklimarats.[513] Gemäß der zwischen Bund und Ländern in Deutschland getroffenen Vereinbarung, für vorsorgliche Planungen das Szenario mit der größten Anpassungserfordernis zugrunde zu legen, bezieht er sich auf Szenario SSP5-8.5 des IPCC-Berichts. Für dieses Szenario steigt der globale Meeresspiegel bis Mitte des Jahrhunderts um 0,20 bis 0,30 m an, bis Ende des 21. Jahrhundert wird im Mittel ein Anstieg um 0,77 m erwartet. Die wahrscheinliche Bandbreite beträgt hierbei zwischen 0,61 und 1,02 m. Auch für andere Szenarien wird mit bis Mitte des Jahrhunderts mit einem Anstieg von etwa 0,20 m und bis Ende des Jahrhunderts mit einem deutlich beschleunigten Anstieg gerechnet. Tabelle 50 gibt einen Überblick über die Projektionen für die verschiedenen Szenarien und Zeithorizonte.

Tabelle 50: Mittlere globale Meeresspiegelprojektionen (in m) für verschiedene Zeiträume (Basislinie 1995–2014) und Szenarien zu den globalen Treibhausgasemissionen. Die wahrscheinliche Bandbreite (17- und 83-Perzentil) ist zwischen Klammern dargestellt. (Quelle: IPCC 2021, zit. in MELUND 2022[514]).

Jahr	**SSP1-1.9**	**SSP1-2.6**	**SSP2-4.5**	**SSP3-7.0**	**SSP5-8.5**
	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
2050	0,18 (0,15-0,23)	0,19 (0,16-0,25)	0,21 (0,18-0,26)	0,22 (0,19-0,28)	0,23 (0,20-0,30)
2100	0,38 (0,28-0,55	0,44 (0,33-0,61)	0,56 (0,44-0,76)	0,68 (0,55-0,90)	0,77 (0,61-1,02)
2150	0,57 (0,37-0,85)	0,69 (0,46-1,00)	0,93 (0,67-1,33)	1,21 (0,92-1,67)	1,35 (1,02-1,89)

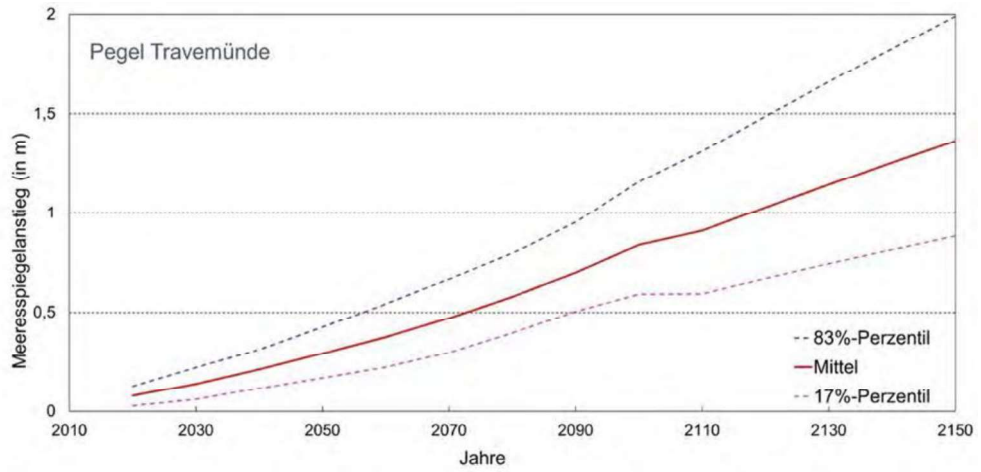


Abbildung 92: Projektion des mittleren Meeresspiegelanstiegs am Pegel Travemünde bis 2150 für das Szenario SSP5-8.5 (Quelle: MELUND, mit Daten des NASA IPCC Sea Level Projection Tool[515])

Der Knick am Anfang des 22. Jahrhunderts hängt mit den unterschiedlichen Modellierungen bis 2100 und bis 2150 zusammen.

Als weiterer Faktor kommt im Küstenvorfeld die Wassertiefe hinzu, denn der Sturmseegang ist im flacheren Küstenvorfeld durch die Wassertiefen limitiert beziehungsweise verhält er sich dort proportional zur Wassertiefe. Das bedeutet: Bei in

[511] Hofstede J., Aufderbeck J. 2024: Die Ostseesturmflut im Oktober 2023: Schäden an Küstenschutzanlagen und Konsequenzen für den Küstenschutz in Schleswig-Holstein. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), Die Küste, 94. https://doi.org/10.18171/1.094102

[512] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 20

[513] IPCC 2021, s. Fußnote 508, zitiert in: MELUND (2022), s. Fußnote 498: S. 19 f.

[514] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 20

[515] MELUND 2022, s. Fußnote 498: S. 20

etwa gleichbleibenden Sturmverhältnissen wächst der Sturmseegang umso stärker, je weniger das Küstenvorfeld den Meeresspiegelanstieg durch Ablagerungen oder Höhenwachstum ausgleichen kann.[516]

Der angestrebte zukünftige Zustand der Küstenschutzanlagen und die notwendigen Schritte, um diesen Zustand zu erreichen, sind zuletzt im GPK 2022 beschrieben. Demnach soll für die Verstärkung von Landesschutzdeichen mit einer erwarteten Lebensdauer von rund einem Jahrhundert und dem höchsten Schutzstandard das Konzept „Klimadeich" (siehe Kap. 12.4.2.3) umgesetzt werden. Diese Deiche leisten den Schutz von 90 % der potenziell überflutungsgefährdeten Küstenniederungen mit über 90 % der potenziell betroffenen Einwohner.[517] Der Nachhaltigkeitsbericht 2020 stellt zu Indikator 47 „Generalplan Küstenschutz" (siehe Abbildung 91) fest, dass alle Landesschutzdeiche Schleswig-Holsteins, legt man den bisherigen Trend von 2,0 bis 2,4 km pro Jahr fertiggestellten Deichen im 12-jährigen gleitenden Mittel zugrunde, nach 120 Jahren einmal als Klimadeich verstärkt wären.[518] Gemäß dem GPK 2022 wird angestrebt, den genannten 12-jährigen Mittelwert zu erhöhen und im Mittel eine Marke von etwa 4,0 km pro Jahr zu erreichen. Dadurch ließe sich der Zeitraum, der für die Verstärkung aller Landesschutzdeiche nach dem Konzept Klimadeich erforderlich ist, auf 100 Jahre verkürzen.

Der für den Küstenschutz beschrittene Weg ermöglicht es, auf unterschiedliche zukünftige Pfade der Klimaentwicklung zu reagieren, zum Beispiel wenn die Kenntnislücken zu den Auswirkungen des Abschmelzens der Eisschilde insbesondere der Antarktis geschlossen werden können und sichtbar wird, dass eine zusätzliche Verstärkung von Deichen notwendig ist. Bis Mitte des Jahrhunderts wird für das Vorsorgemaßnahmen zugrunde zu legende SSP5-8.5 ein Meeresspiegelanstieg zwischen 0,2 m und 0,3 m projiziert. Mit dem für die Umsetzung geplanter Deichverstärkungen angestrebten Tempo von 4 km pro Jahr im 12-jährigen gleitenden Mittelwert wird es möglich sein, die mit Stand des GPK 2022 notwendigen Verstärkungen von Landesschutzdeichen auf insgesamt 74 km Länge deutlich vor diesem Zeitpunkt zu realisieren. Unter dieser Prämisse ist davon auszugehen, dass die Küstenhochwasserschutzanlagen den sich aus dem klimawandelbedingten Meeresspiegelanstieg ergebenden veränderten Anforderungen und Belastungen gerecht werden können und diesbezüglich kein relevantes Klimarisiko besteht.

Parallel zur Umsetzung der bereits vorgesehenen, teilweise in Planung befindlichen Verstärkungen ist in Abhängigkeit von den sich weiterentwickelnden Projektionen des Meeresspiegelanstiegs die weitere Verstärkung der Landesschutzdeiche für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus vorzubereiten. Nach dem derzeitigen Stand der Projektionen für das für Vorsorgemaßnahmen in Deutschland relevante Szenario SSP5-8.5 ist ab der Mitte dieses Jahrhunderts mit einer deutlichen Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs zu rechnen, bis 2120 insgesamt mit einem Anstieg von etwa 1,0 m. Im Hinblick auf ihre Lebensdauer von 100 Jahren besteht für alle Landesschutzdeiche bis 2120 die Anforderung, einen Meeresspiegelanstieg von 1,0 m kehren zu können. Die gemäß GPK 2022 angestrebte Umsetzung von 4 km Landesschutzdeichverstärkung pro Jahr wird dieser Anforderung gerecht. Seit 2012 konnten insbesondere wegen den sehr aufwendigen Planungsverfahren allerdings nur 36,5 km Landesschutzdeiche, also 2,5 km pro Jahr, verstärkt werden (siehe oben). Wenn der Zielwert von 4,0 km pro Jahr nicht erreicht wird, ist mittelfristig mit einem zunehmenden Klimarisiko durch Küstenhochwasser zu rechnen.

[516] MELUND (2022), s. Fußnote 498: S. 20

[517] MELUND (2022), s. Fußnote 498: S. 21

[518] Landesregierung Schleswig-Holstein 2020: 1. Bericht Schleswig-Holsteins zu den UN-Nachhaltigkeitszielen. S. 172 ff. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/umwelt-naturschutz/nachhaltigkeit/Nachhaltigkeitsbericht/_documents/download_nachhaltigkeitsbericht.pdf

12.5 Klimawirkung „Veränderung von Küstenrückgang und -erosion“

12.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Die Festlandsküsten und das Wattenmeer in Schleswig-Holstein unterliegen infolge von Wellenbewegungen, Strömungen, tide- und sturmflutbeeinflussten Wasserständen, den Windverhältnissen und dem Sedimenttransport einem ständigen Wandel. Während vor allem an den Steilküsten Erosionsprozesse zu einem Sedimentabtrag und zu einem örtlichen Küstenrückgang führen, lassen der Küstenlängstransport und die Ablagerung von Material an anderer Stelle die Küsten wachsen. Die Komplexität und räumliche Differenzierung dieser morphologischen Prozesse ergeben sich neben den einwirkenden marinen und klimatischen Kräften auch aus der vielfältigen geologischen Ausprägung der Nord- und Ostseeküste. Die schleswig-holsteinische Nordseeküste ist geprägt durch eingedeichte Küstenmarschen, das Wattenmeer und die Tideelbe.[519] Das Wattenmeer übernimmt wichtige Schutz- und Pufferfunktionen, beispielsweise durch das Bremsen von Sturmfluten. An der Seeseite der Inseln dominiert typischerweise der Materialabtrag, im rückwärtigen Bereich findet eher eine Sedimentablagerung statt. Die schleswig-holsteinische Ostseeküste ist eine Förden- und Ausgleichsküste. Bei den Förden handelt es sich um weit ins Land reichende ehemalige Talrinnen der Gletscherzungen. Küstenerosion findet vor allem an den ungesicherten Steilküsten mit bis zu 20 m hohen Kliffs statt. In den Bereichen, in denen sich nach Längstransport das abgetragene Material wieder ablagert, befinden sich flache Abschnitte mit Strandwällen, Haken und Nehrungen.[520]

Infolge des Klimawandels kommt es zu Veränderungen der Intensität und Dynamik der küstenmorphologischen Prozesse. Entscheidend sind insbesondere der Meeresspiegelanstieg und Veränderungen des Seegangs.[521] Mit dem Anstieg des Meeresspiegels laufen Wellen und Sturmfluten höher auf. Dadurch erhöht sich die Angriffsenergie auf vorhandene Küstenstrukturen mit einer potenziellen Verstärkung der Abtragungsprozesse. Darüber hinaus können sich die Häufigkeit, Dauer und Intensität von Sturmereignissen verändern. Heftigere Stürme, veränderte Windrichtungen sowie die häufigere Ausbildung von Windstauereignissen beeinflussen den Seegang und wirken sich auf den küstenparallelen Sedimenttransport aus. Untersuchungen deuten darauf hin, dass vor allem infolge des Meeresspiegelanstiegs der Küstenrückgang an der schleswig-holsteinischen Küste örtlich zunehmen könnte. Dies betrifft insbesondere sandige Bereiche und die Steilküstenabschnitte, die der natürlichen Dynamik überlassen und nicht durch Küstenschutzmaßnahmen gesichert sind. An der Nordsee könnten Wattflächen und Salzwiesen aufgrund zunehmender Sedimentdefizite zurückgehen und in ihren wichtigen Funktionen für den Natur- und Küstenschutz eingeschränkt werden.[522] Küstenabschnitte, die heute noch stabil sind oder sogar anwachsen, könnten zukünftig – ohne Umsetzung entsprechender Sicherungsmaßnahmen – erodieren und zurückweichen.[523]

Die zentrale Aufgabe des Küstenschutzes ist es, die an den Küsten lebenden Menschen, die dort befindlichen Siedlungen, wirtschaftlich genutzten Flächen, Infrastrukturen und ökologisch wertvollen Gebiete vor Schäden oder Verlusten durch Sturmfluten zu bewahren. Während Maßnahmen des Küstenhochwasserschutzes vor Überflutungen schützen, dienen Küstensicherungsmaßnahmen dazu, sensitive Küstenabschnitte vor Küstenrückgang und Erosion zu schützen. Mit dem Klimawandel und den damit verbundenen Veränderungen in der morphologischen Dynamik nehmen die Herausforderungen für die Küstensicherung zu. Um diesen wachsenden Ansprüchen zu begegnen, stützen sich die Maßnahmen der Küstensicherung in Schleswig-Holstein auf kontinuierlich und gezielt erfasste Daten unter anderem im Rahmen eines im Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN.SH) im Aufbau befindlichen Klimafolgenmonitorings zur Küstenmorphologie. Die praktische Umsetzung der Küstensicherungsmaßnahmen fußt auf fundierten planerischen und

[519] Hofstede J. 2019: Küstenschutz in Schleswig-Holstein: ein Überblick über Strategien und Maßnahmen. In: Bundesanstalt für Wasserbau, Die Küste 87, 287–302. https://doi.org/10.18171/1.087103

[520] BfN 2026: Schleswig-Holsteinische Ostseeküste. https://www.bfn.de/landschaftssteckbriefe/schleswig-holsteinische-ostseekueste

[521] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Grundlagen Fachpläne Küstenschutz – Klimawandel. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz_fachplaene/7_Klimawandel/Klimawandel

[522] MELUND (Hrsg.) 2015: Strategie für das Wattenmeer 2100. 88 S. https://www.nationalpark-wattenmeer.de/wp-content/uploads/2020/04/strategie-wattenmeer-2100-web.pdf

[523] MELUND (Hrsg.) 2022: Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein – Fortschreibung 2022. 112 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz/Downloads/Generalplan.pdf

strategischen Grundlagen, die ihren Blick auf beobachtete Veränderungen, aber auch auf die zukünftig erwarteten Herausforderungen richten. Zentrale Instrumente sind dabei der aktuelle Generalplan Küstenschutz (GPK 2022)[524], die Fachpläne Küstenschutz[525] sowie die Strategie für das Wattenmeer 2100[526].

12.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

12.5.2.1 Klimasignale

Zu den Parametern, die küstenmorphologische Prozesse und deren Wirkung maßgeblich beeinflussen, gehört der **Meeresspiegelanstieg**. Mit höheren mittleren Meerwasserständen verschiebt sich die Angriffszone von Wellen und Strömungen landwärts. Wellen laufen bei gleichem Wind und Seegang höher auf und treffen auf bislang nicht oder weniger beanspruchte Küstenbereiche. Dadurch erhöht sich die erosive Wirkung des Wassers. Gleichzeitig können sich Sedimenttransportprozesse verändern, da sich die hydrodynamischen Bedingungen im Küstenvorfeld verändern. Der Meeresspiegelanstieg steht im direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel, da steigende Lufttemperaturen zum einen das Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden beschleunigen und zum anderen eine geringere Dichte des Meerwassers bedingen, sodass sich das Meerwasservolumen ausdehnt.[527] Schätzungen zufolge gehen rund 40 % des bisherigen Meeresspiegelanstiegs auf diese Volumenzunahme zurück. Der globale Meeresspiegelanstieg ist in Höhe und Geschwindigkeit messbar. Nach den Ergebnissen des IPCC[528] lag der Anstieg des Meeresspiegelanstiegs zwischen 1901 und 1971 im globalen Durchschnitt bei rund 1,4 mm pro Jahr. Zwischen 1971 und 2006 erhöhte sich die Geschwindigkeit des Anstiegs auf 1,9 mm pro Jahr. Zwischen 2006 und 2018 betrug der globale Meeresspiegelanstieg durchschnittlich 3,7 mm pro Jahr.[529]

Für die deutschen Küsten kommen, bei großen räumlichen Unterschieden, auch regionale Prozesse wie unter anderem Landhebungen beziehungsweise -senkungen hinzu. Eine Untersuchung[530] zur räumlich-zeitlichen Rekonstruktion des mittleren Meeresspiegels entlang der deutschen Küsten unter Berücksichtigung vertikaler Landbewegungen zeigt, dass der lineare Trend des jährlichen Meeresspiegelanstiegs an der Nordseeküste in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1993–2015 bei 3,21 ± 1,43 mm pro Jahr lag. An der schleswig-holsteinischen Ostseeküste war der lineare Trend im selben Zeitraum mit 2,40 ± 0,69 mm noch etwas niedriger.[531] Auch langjährige, teilweise bis zu 200 Jahre umfassende Zeitreihen ausgewählter Pegel in Schleswig-Holstein sowohl an der Nordsee als auch an der Ostsee verdeutlichen, dass die Wasserstände an den Küsten Schleswig-Holsteins im Laufe der vergangenen Jahrzehnte signifikant angestiegen sind und sich der Anstieg des relativen Meeresspiegels im Beobachtungszeitraum auch in Schleswig-Holstein vollzogen hat (siehe Klimafolgenmonitoring, Indikator KUE-I-1[532]).

Zu verstärkter Erosion an den Küsten kommt es insbesondere im Zuge von **Sturmfluten**. Kurzfristig hohe Wasserstände, die durch den Meeresspiegelanstieg zusätzlich erhöht werden, in Kombination mit starkem Seegang können dabei erhebliche morphodynamische Wirkungen entfalten. Zudem können wiederholte Sturmflutereignisse bestehende Küstenschutzbauwerke stärker beanspruchen (siehe Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen", Kap. 12.4) und natürliche Schutzfunktionen von Vorländern, Wattflächen oder Dünen beeinträchtigen. Die Entstehung und Ausprägung von Sturmfluten an den deutschen Küsten wird im Wesentlichen durch Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Winddauer sowie – an der Nordsee – durch die Überlagerung mit den Gezeiten bestimmt. An der schleswig-holsteinischen Nordseeküste entstehen Sturmfluten, wenn starke auflandige Winde das Wasser zusätzlich

[524] MELUND 2022, s. Fußnote 523

[525] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Fachpläne Küstenschutz.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/kuestenschutz-fachplaene

[526] MELUR 2015, s. Fußnote 522

[527] Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst L., Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Climate Change 22/2021. Dessau-Roßlau, 277 S.
https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-3-Cluster-Wasser

[528] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2023: Klimawandel 2023: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

[529] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 19

[530] Dangendorf S., Kelln J., Arns A., Gräwe U., Steffen H., Hofstede J., Jensen J. 2022: Untersuchungen zur Rekonstruktion des Meeresspiegels und vertikaler Landbewegungen an den deutschen Küsten. Die Küste, 91. https://doi.org/10.18171/1.091103

[531] Dangendorf et al. 2022, s. Fußnote 530: Tabelle 1

[532] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf

zur Tide gegen die Küste drücken. An der Ostsee beeinflussen zudem mögliche Eigenschwingungen des Wasserkörpers und der Füllstand des Meeres die Stärke und die Dauer der Sturmhochwasser. Den Füllstand bedingen zulaufendes Wasser aus der Nordsee bei Westwind. Im Rahmen des Klimafolgenmonitorings (siehe Indikator KUE-I-2[533]) wurden die Zeitreihen der jährlichen höchsten (Tide-)Hochwasserstände (im gleitenden 19-jährigen Mittel) von vier ausgewählten Pegeln auf lineare Trends getestet. Bei einer grundsätzlich hohen natürlichen Variabilität, die eine Bewertung auch langfristiger Entwicklungen erschwert, zeigen drei der vier analysierten Zeitreihen signifikant steigende Werte. Das bedeutet, dass an diesen Pegeln die Sturmfluten in der Tendenz dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Veränderungen von Stärke, Häufigkeit und Andauer der Sturmfluten sind bisher nicht erkennbar. Der aktuell gültige Referenzwasserstand HW200 wurde nach den im GPK 2022 dargestellten Daten in den vergangenen hundert Jahren nur an einem von 25 dargestellten Pegeln einmalig um 1 cm überschritten.[534]

Die **Windverhältnisse** nehmen mittelbar insbesondere in Verbindung mit dem Seegang und dem Auftreten von Sturmfluten Einfluss auf küstenmorphologische Prozesse. An offenen Küstenabschnitten bestimmen insbesondere anhaltende auflandige Winde die Intensität des Wellenschlags und damit das Ausmaß der Erosion. Zudem kann es bei bestimmten Windrichtungen und -geschwindigkeiten zu Windstau[535] kommen, bei dem Wasser gegen die Küste gedrückt wird und sich die Wasserstände zusätzlich erhöhen. Während dieser Effekt bei Sturmfluten besonders ausgeprägt ist, wirkt Windstau auch unabhängig von Extremereignissen auf die hydrodynamischen Bedingungen und morphologischen Prozesse an der Küste ein. An den Küsten treten aufgrund der exponierten Lage landesweit die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten auf. Die räumliche Differenzierung des Windgeschehens ist in der Klimaanalyse Schleswig-Holstein[536] in Abbildung 21 dargestellt. Langjährige Windmessungen des DWD an einzelnen Klimamessstationen in Schleswig-Holstein zeigen eine ausgeprägte natürliche Variabilität der Windverhältnisse. Eindeutige, langfristige Entwicklungstendenzen lassen sich aus den Zeitreihen nicht ableiten. Dies gilt auch für die langfristige Entwicklung der mittleren Tageswindspitze (siehe Klimaanalyse, Abbildung 23). Im Klimareport 2023[537] des DWD wird darauf hingewiesen, dass die mittlere geostrophische Windgeschwindigkeit und die Zahl der Sturmtage an der Nordseeküste und im Binnenland an einzelnen Stationen eher abnimmt. Auf Basis der verfügbaren Daten zum Windgeschehen lassen sich bislang keine belastbaren Aussagen zu Veränderungen hinsichtlich der Intensität oder Häufigkeit von Windstauereignissen ableiten.

In Ergänzung zu den marinen Einflussfaktoren können Veränderungen der **Niederschlagsverhältnisse** die Küstenerosion indirekt beeinflussen. Niederschläge wirken auf die Stabilität von Steilküsten, indem sie zur Durchfeuchtung von Lockersedimenten beitragen und dadurch Rutschungen, Abbrüche oder Hanginstabilitäten begünstigen können.[538] Vor allem intensive oder lang anhaltende Niederschläge erhöhen den Porenwasserdruck im Boden und können so die Erosionsanfälligkeit gegenüber Wellenschlag verstärken oder direkt zu einem Materialabtrag von der Kliffoberkante führen.[539] Die bisherige Entwicklung der Niederschläge in Schleswig-Holstein zeigt im langjährigen Mittel eine leichte Zunahme der Jahresniederschläge. Dabei bestehen regionale Unterschiede: Im landesweiten Vergleich fiel die Zunahme der Niederschlagsmenge im Laufe der letzten rund 60 Jahre entlang der Nordseeküste und nördlichen Landesteilen an der Grenze zu Dänemark größer aus als im Binnenland und im Süden entlang der Ostseeküste. Damit befinden sich die niederschlagsreicheren Gebiete Schleswig-Holsteins neben der Schleswigschen Geest auch in küstennahen Gebieten an der Nordsee, insbesondere in den nördlichen Landesteilen. Die Zunahme der Jahresniederschläge ist vor allem auf steigende Winterniederschläge zurückzuführen, während für die Sommermonate bislang kein signifikanter Trend erkennbar ist (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 12 und 13). Insgesamt zählt Schleswig-Holstein zu den niederschlagsreichen Bundesländern, und länger anhaltende Trockenperioden treten vergleichsweise selten auf. Das Niederschlagsregime des Landes zeichnet sich insgesamt durch recht gleichmäßige Niederschläge aus. So treten bisher in Schleswig-Holstein auch nur selten Tage mit starkem Niederschlag auf (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 14 und 15). Aufgrund der beobachteten und projizierten

---

[533] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[534] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 86 f.

[535] Windstau wird definiert als die Erhöhung des Wasserspiegels unter Windeinfluss. An den Meeresküsten erfolgt durch starken auflandigen Wind ein Netto-Wassertransport in Richtung Küste, der hier zu erhöhten Wasserständen führt.

[536] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[537] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 36f. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

[538] Zhao H., Chang X., Huang Y., Zhou J., Ti Z. 2025: A stability model for sea cliffs considering the coupled effects of sea erosion and rainfall Oceans. 6, 3, 45. https://doi.org/10.3390/oceans6030045

[539] Genchi S. A., Vitale A. J., Perillo G. M. E. 2025: Coastal cliff erosion: a bibliometric analysis and literature review. Anthropocene Coasts, 8, 8. https://doi.org/10.1007/s44218-025-00072-2

Entwicklung der (Stark-)Niederschläge (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 27 und 28) ist nicht von einem maßgebenden Einfluss des Niederschlags auf zukünftige Veränderungen der Küstenerosion auszugehen.

12.5.2.2 Exposition

Von der Klimawirkung potenziell betroffen sind grundsätzlich alle Abschnitte der schleswig-holsteinischen **Festlandsküste** an Nord- und Ostsee, die aufgrund ihrer natürlichen Küstenbeschaffenheit und ihrer Exposition gegenüber erosiven Prozessen einem Küstenrückgang unterliegen können. Von der insgesamt rund 1.100 km langen Küstenlinie Schleswig-Holsteins sind mehrere Abschnitte an der Nordseeküste und fast ein Viertel der Ostseeküste aktuell von strukturellem Abbruch und Küstenrückgang gekennzeichnet.[540] Bisher nicht betroffene Küstenabschnitte sind zum Beispiel infolge der natürlichen Sedimentdynamik im Wachstum befindlich oder werden durch Küstensicherungsmaßnahmen vor Erosionsprozessen geschützt. Allerdings können die weiteren Auswirkungen des Klimawandels dazu führen, dass aktuell stabile Küstenabschnitte zukünftig von Erosion betroffen sein können. Erosionsprozesse beziehungsweise damit verbundene Veränderungen im Sedimenthaushalt wirken sich auch auf das der Festlandsküste der Nordsee vorgelagerte **Wattenmeer** aus.[541] Hier beeinflusst der Klimawandel die Erosions- und Akkumulationsprozesse und kann im Falle von sich einstellenden Sedimentdefiziten die natürliche wellendämpfende Funktion des Wattenmeers einschränken – mit daraus resultierenden höheren hydrodynamischen Belastungen an den Küsten und Küstenschutzanlagen.[542]

12.5.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität der Küstenabschnitte Schleswig-Holsteins gegenüber Küstenrückgang und -erosion hängt maßgeblich vom Vorhandensein entsprechender **Küstensicherungsmaßnahmen** wie Sandaufspülungen oder Wellenbrecher ab. Diese Maßnahmen wirken Erosionsprozessen aktiv entgegen. Entsprechend stellen erosive Küstenabschnitte, die nicht durch vorgelagerte Schutzbauwerke oder Sandaufspülungen gesichert sind, besonders sensitive Bereiche gegenüber der Klimawirkung dar. Vor allem an ungesicherten Steilküsten und den sandigen Inselküsten an der Nordsee können morphologische Prozesse unmittelbar wirken. An den Festlandküsten der Nordsee und der Tideelbe existieren lediglich zwei kleinere Abschnitte in St. Peter-Ording und Schobüll, die nicht durch Hochwasserschutzanlagen gesichert sind. Während der Küstenabschnitt bei Schobüll stabil ist, erfährt der zentrale Bereich des breiten Sandes vor St. Peter-Ording seit Jahrzehnten einen jährlichen Küstenrückgang von etwa acht Metern. Zwischen 1964 und 1980 landete eine Sandbank an, wodurch die Küstenlinie sich temporär um fast einen Kilometer nach Westen verschob. Aufgrund der Breite des Sandes sind derzeit keine zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen erforderlich, die morphologische Entwicklung wird jedoch angesichts des zu erwartenden beschleunigten Meeresspiegelanstiegs intensiv überwacht, um bei Bedarf rechtzeitig Anpassungen vornehmen zu können.[543]

Anders ist die Situation an der Ostseeküste von Schleswig-Holstein. Hier liegt fast ein Viertel (122 km) der sandigen Küste (einschließlich Fehmarn) strukturell im Abbruch. In einer Forschungskooperation zwischen dem Land und der Christian-Albrechts-Universität Kiel wurden insgesamt 58 aktive Steilufer identifiziert (siehe Abbildung 93).[544] Da Küstensicherungsmaßnahmen einen relevanten Eingriff in die natürliche Dynamik an der Küste darstellen, sollen Steilufersicherungen nur dort stattfinden, wo Menschenleben, wichtige Infrastrukturen oder hohe Sachwerte durch irreversiblen Küstenrückgang und strukturelle Erosion gefährdet sind. Von Bedeutung in diesem Zusammenhang ist, dass bauliche Anlagen in einem 150 m breiten Küstenstreifen hinter Steilufer gemäß § 82 Abs. 1 Nr. 3 Landeswassergesetz nicht neu errichtet oder wesentlich geändert werden dürfen. Gemäß Landesentwicklungsplan-Fortschreibung 2021 sind diese Streifen als Vorranggebiet für die Klimaanpassung im Küstenbereich festgelegt. Sie sind von neuen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen, die im Konflikt mit den Belangen des Küstenschutzes und der Anpassung an den Klimawandel stehen, freizuhalten. Steilufer stellen an der Ostseeküste gemeinsam mit den ihnen vorgelagerten Abrasionsflächen (Unterwasserschorren) die einzigen Sedimentquellen für die Stabilisierung der sandigen Küsten bei verstärkt steigendem Meeresspiegel dar. Auch deshalb sind sie gemäß GPK 2022 im Sinne eines ökosystembasierten Herangehens von Sicherungsbauwerken freizuhalten.[545] Die erodierenden Küstenabschnitte an der Nord- und Ostseeküste stellen besonders sensitive Bereiche für Küstenerosion dar.

[540] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 55
[541] MELUR 2015, s. Fußnote 522: S. 15
[542] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 60
[543] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 64
[544] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 64
[545] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 65

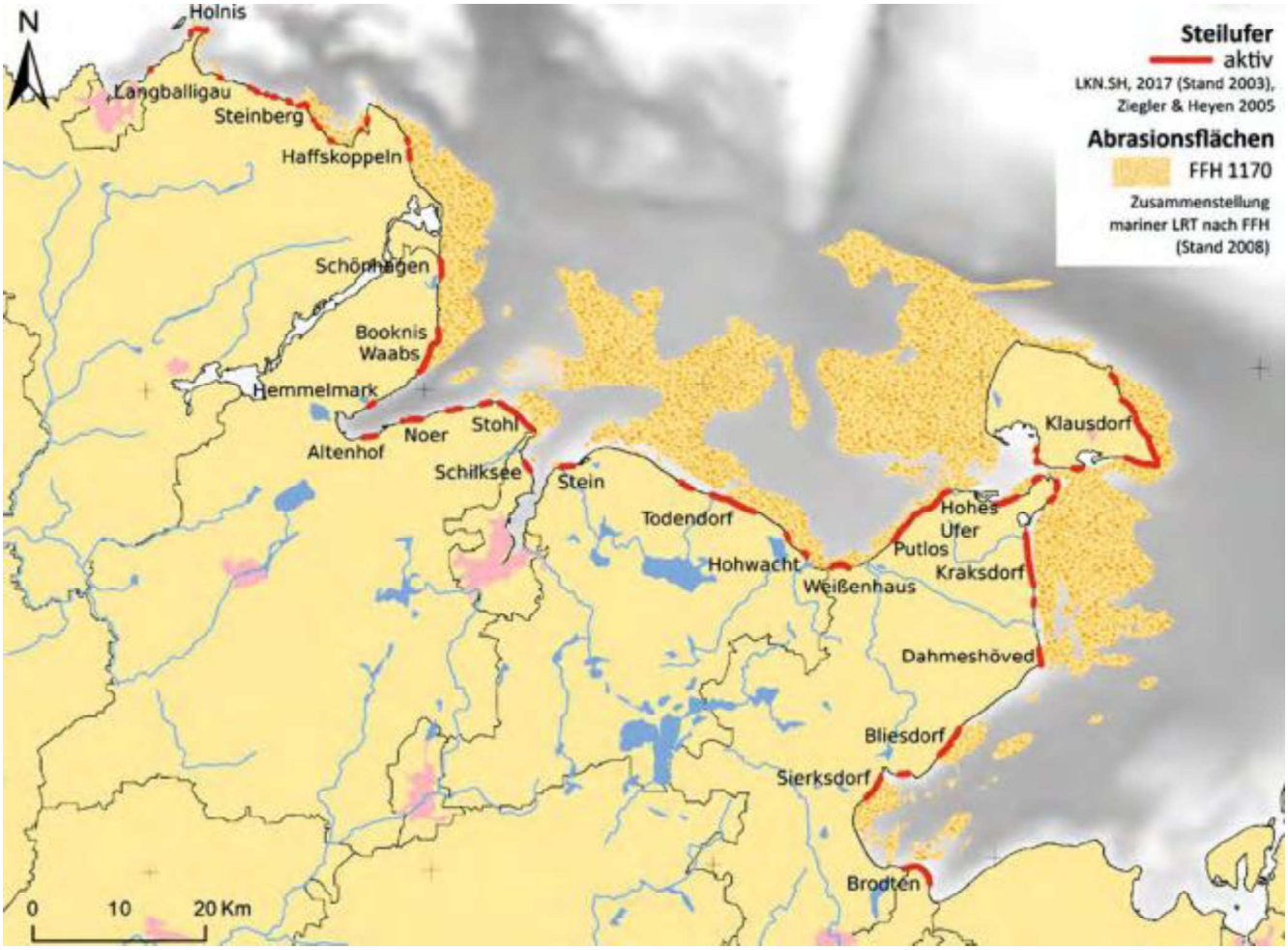


Abbildung 93: Übersicht über die im Abbruch befindlichen Steilufer (rot) und die potenziellen Abrasionsflächen (orange meliert) an der Ostseeküste von Schleswig-Holstein (Quelle: MELUND 2022[546])

12.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

12.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Ein übergreifendes Monitoring zum Küstenrückgang und zur Küstenerosion ist aufgrund der Komplexität der küstenmorphologischen Prozesse und ihrer räumlich stark differenzierten Ausprägung eine Herausforderung. Die Prozessdynamik wird nicht nur durch marine Faktoren, sondern auch durch morphologische und geologische Parameter der Küste wie Küstenform und -beschaffenheit, Sedimentverfügbarkeit, Exposition gegenüber Wind und Wellen sowie anthropogene Eingriffe und die dadurch bedingte Sensitivität von Küstenabschnitten lokal stark beeinflusst. Für die Entwicklung und Überwachung von Klimaanpassungsstrategien und -maßnahmen im Bereich des Küstenschutzes sind die möglichst frühzeitige Erkennung und Quantifizierung der hydrologischen und morphologischen Folgen des Klimawandels an den Küsten sowie die Prüfung der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen allerdings zwingend notwendig. Deshalb wird im LKN.SH ein Klimafolgenmonitoring eingeführt. Ziel ist zum einen eine langfristig ausgelegte, ressourcen-schonende (automatisierte beziehungsweise IT-gestützte) und regional angepasste Aufbereitung von hydro- und morphologischen Messdaten in Form von Folgenindikatoren zur Früherkennung der Folgen des Klimawandels. Zweites Ziel ist eine aussagekräftige Aufbereitung von Kennwerten in Form von Anpassungsindikatoren zur Prüfung der Wirkung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Das Monitoring dient darüber hinaus als Grundlage für eine sachgerechte Information der Bevölkerung.[547] Neben hydrologischen Indikatoren unter anderem zur Beobachtung der Entwicklung des Meeresspiegels, der Tide und des Seeganges sind auch morphologische Indikatoren zur Charakterisierung der Küstenentwicklung Bestandteil des Monitorings. Tabelle 51 listet die küstenmorphologischen Klimafolgenindikatoren des LKN.SH. In Ergänzung zu den Indikatoren sind auch die Beobachtung und Analyse der Sedimentverteilung und ihrer Dynamik als wesentliche Einflussfaktoren

[546] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 64

[547] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 25

auf die Hydrodynamik und Küstenmorphologie Teil des Überwachungsprogramms. Der LKN.SH sieht – beginnend ab dem für 2027 geplanten Erstbericht – alle sechs Jahre einen Bericht vor, in dem die Entwicklung der Indikatoren im Hinblick auf klimawandelbedingte Änderungen dargestellt wird. Grundsätzlich gilt, dass dabei die Herstellung einer Kausalität zum Klimawandel eine Herausforderung darstellt, da wie oben beschrieben auch vielfältige nicht-klimabedingte Faktoren zu Änderungen bei den hydrologischen und morphologischen Indikatoren führen.

Tabelle 51: Klimafolgenindikatoren zur Küstenmorphologie als Bestandteil des Klimafolgenmonitorings des LKN.SH (Quelle: MELUND 2022[548])

Monitoring-Indikatoren zur Morphologie der Nordseeküste	**Monitoring-Indikatoren zur Morphologie der Ostseeküste**
Lage der Uferlinie (Außenküste)	Lage der Uferlinie
Strandvolumen und -breite (Außenküste)	Strandvolumen und -breite
Vorlandhöhe und -breite	Lage der Steiluferoberkante
Geländehöhe Halligen	
Mittlere Watthöhe und -fläche	
Mittlere Prieltiefe und -fläche	
Mittlere Prielquerschnittsfläche	

Bisherige Beobachtungen zeigen unter anderem, dass die langfristige mittlere jährliche Rückgangsrate an den aktiven Steilufern der Ostseeküste (siehe Abbildung 93) etwa 0,2 m, mit lokalen Maximalwerten von über 1,1 m beträgt.[549] Detaillierte Analysen zur Küstenmorphologie und zu morphologischen Veränderungen an spezifischen Küstenabschnitten und an den Inseln sind in den Fachplänen Küstenschutz[550] enthalten. Fachpläne liegen für die Inseln Sylt, Föhr und Amrum, die Halligen und die Ostseeküste vor. Die Pläne dienen der Dokumentation der zu erfüllenden fachlichen und formalen Anforderungen für die Planung, Genehmigung, Förderung und Durchführung von Küstenschutzmaßnahmen. Die in den Fachplänen enthaltenen Analysen zur Küstenmorphologie stützen sich auf unterschiedliche Methoden zur Datenerfassung und -verarbeitung. Wesentliche Informationen werden aus Vermessungen, Karten sowie aus Luftbildern gewonnen.[551] Zur Beurteilung langfristiger Veränderungen dienen historische analoge Aufzeichnungen in Kombination mit neu erfassten digitalen Daten. Zum Teil wird für die technische Analyse historischer Daten vorab eine Digitalisierung dieser älteren Informationen durchgeführt. An der Nordsee, insbesondere mit Blick auf die Küstenentwicklung der Inseln, lassen sich auch aus den Informationen zu Sandersatzmaßnahmen Rückschlüsse auf Küstenrückgang und -erosion ziehen. Diese werden beispielsweise auf Föhr und insbesondere auf Sylt zur Kompensation der natürlichen Erosion durchgeführt und stellen die Erhaltung der Strand- und Vorstrandbereiche sicher. Auflaufende Wellen verlieren in dieser vorgelagerten Brandungszone einen Teil ihrer Energie.[552] Der Rückgang von Dünen, der Abbruch von Kliffkanten sowie die Zerstörung von Infrastrukturen an der Küste kann so derzeit weitgehend verhindert werden. Durch die regelmäßig durchgeführten Sandaufspülungen findet kein Rückgang der Küstenlinie an der Westküste der Insel Sylt mehr statt. Ausnahmen bilden die Hörnum Odde und ein kleinerer Bereich am Lister Weststrand.[553] Im Zeitraum 1972–2024 wurden insgesamt rund 60 Millionen m³ Sand an der Sylter Westküste aufgespült. Die aktuell und bis 2028 kalkulierte jährlich aufgespülte Sandersatzmenge von rund 1,2 Millionen m³ entspricht damit in etwa der mittleren erforderlichen Sandersatzmenge im Zeitraum 1972–2024. Die klimatischen Veränderungen haben bisher nicht zu einer Erhöhung der erforderlichen Sandersatzmengen auf Sylt geführt. Allerdings werden die Sandaufspülungen neben klimatischen Parametern auch durch andere Faktoren beeinflusst, insbesondere die für die Umsetzung der Maßnahmen zur Verfügung stehenden Finanz- und Fördermittel.

[548] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 25

[549] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 55

[550] Landesportal Schleswig-Holstein 2026, s. Fußnote 525

[551] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Übersicht zu den Fachplänen Küstenschutz mit Auswertungen der morphologischen Entwicklung in den Küstenabschnitten. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz_fachplaene/1_Ostseekueste/2_Grundlagen/Grundlagen

[552] LKN.SH 2025: Faltblatt Sandaufspülungen 2025. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LKN/Service/Downloads/faltblatt_sylt_2025.pdf

[553] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 38

12.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Der bestimmende klimatisch beeinflusste Faktor für den zukünftigen Küstenrückgang und die Küstenerosion an der schleswig-holsteinischen Nord- und Ostseeküste ist der erwartete Meeresspiegelanstieg. Einen mathematischen Zusammenhang legt unter anderem die sogenannte Bruun-Regel nahe: Dieses küstenmorphologische Modell beschreibt unter vereinfachten Annahmen, dass sich eine Sandküste proportional zum steigenden Meeresspiegel landwärts zurückzieht.[554] Das Modell gilt aufgrund der verallgemeinernden Annahmen als ungenau. Belastbare Aussagen zur erwarteten morphologischen Entwicklung von Küstenabschnitten müssen die standortspezifischen Charakteristika berücksichtigen, insbesondere bestehende Maßnahmen zur Küstensicherung, die Geologie, das Sedimentangebot, die Vegetation sowie anthropogene Einflüsse vor Ort.[555] Es ist aber davon auszugehen, dass der beschleunigte Meeresspiegelanstieg und die dadurch zunehmenden hydrologischen Belastungen in Schleswig-Holstein an den sandigen Küsten auf den Inseln und entlang der Ostsee-Festlandsküste generell zu einer Verstärkung der Abtragungsprozesse und des Küstenrückganges führen werden.[556]

Gemäß den Daten des IPCC steigt der globale Meeresspiegel unter Annahme des pessimistischen Emissionsszenarios SSP5-8.5 bis zur Mitte des Jahrhunderts um 0,20 bis 0,30 m relativ zum Referenzzeitraum 1995–2014 an, bis Ende des 21. Jahrhunderts wird im Mittel ein Anstieg um 0,77 m erwartet.[557] Die wahrscheinliche Bandbreite beträgt hierbei zwischen 0,61 und 1,02 m. Auch für optimistischere Szenarien wird bis zur Mitte des Jahrhunderts mit einem Anstieg von etwa 0,20 m gerechnet. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird sich der Meeresspiegelanstieg bei allen Emissionsszenarien deutlich beschleunigen. in Kap. 12.4.3.2 gibt einen Überblick über die Projektionen des globalen Meeresspiegelanstiegs für die verschiedenen Szenarien und Zeithorizonte des IPCC-Berichts. In Ergänzung zeigt Abbildung 92 in Kap. 12.4.3.2 die Projektion des mittleren Meeresspiegelanstiegs am Pegel Travemünde bis 2150 für das Szenario SSP5-8.5. Es wird deutlich, dass der künftige Meeresspiegelanstieg an den deutschen Küsten nur unwesentlich von den globalen Werten abweichen wird. Das machen auch Projektionsdaten des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) deutlich. Das BSH stellt auf der Grundlage der Daten des IPCC und regionaler Klima- und Landhebungsmodelle im Rahmen des DAS-Basisdienstes Projektionen des Meeresspiegelanstiegs für die Küsten Schleswig-Holsteins zur Verfügung. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass für die südlichen Küstenregionen Schleswig-Holsteins ein etwas schnellerer Meeresspiegelanstieg als für die nördlichen Küstenregionen zu erwarten ist. Das gilt für die Nord- und Ostseeküste gleichermaßen. Unter Annahme des optimistischen Emissionsszenarios SSP1-2.6 ergibt sich bis 2050 ein Anstieg um 0,23 m an der südlichen und um 0,21 m (jeweils Medienwerte) an der nördlichen Nordseeküste Schleswig-Holsteins. An der Ostsee wird ein Anstieg um 0,22 bis 0,24 m projiziert. Bis zum Ende des Jahrhunderts würde sich bei diesem Szenario ein Meeresspiegelanstieg um 0,45 bis 0,47 m sowohl an der Nordsee- als auch an der Ostseeküste ergeben. Unter Annahme des Emissionsszenarios SSP5-8.5 wird bis zur Mitte des Jahrhunderts ein Meeresspiegelanstieg um 0,26 bis 0,27 m an der Nord- und Ostseeküste Schleswig-Holsteins projiziert. Bis zum Ende des Jahrhunderts zeigen die Projektionsdaten einen Meeresspiegelanstieg um 0,81 m in der Meldorfer Bucht, an der Sylter Westküste um 0,78 m.[558]

Bezüglich Sturmfluten wird erwartet, dass die Sturmflutwasserstände an der deutschen Nord- und Ostseeküste in der gleichen Größenordnung wie der mittlere Meeresspiegel ansteigen[559], in der Tendenz also dem Meeresspiegelanstieg folgend höher auflaufen. Relevant für das künftige Auftreten von Sturmfluten sind zudem die erwartete Entwicklung des Windgeschehens und des Seegangs. Sturmfluten entstehen während auflandiger Starkwindereignisse, die das Wasser vor der Küstenlinie aufstauen und dort zum Windstau führen. Die Höhe des Windstaus ist abhängig von der Windstärke, -richtung und -dauer sowie der Küstentopographie (Wassertiefe, Exposition zur Windrichtung, Buchteneffekt).[560] Aufgrund der lokal sehr differenzierten Küstenlinie fällt auch der Windstau lokal stark unterschiedlich aus. Projektionen zum künftigen Auftreten von Windstauereignissen sind für die Küsten Schleswig-Holsteins deshalb schwierig zu erstellen. Nach Untersuchungen des Instituts für Küstenforschung am Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) (heute: Helmholtz-Zentrum Hereon) und des

[554] Bruun P. 1988: The Bruun Rule of erosion by sea-level rise: A discussion on large-scale two- and three-dimensional usages. Journal of Coastal Research, 4, 4, 627–648. https://www.jstor.org/stable/4297466

[555] Cooper J. A. G., Pilkey O. H. 2004: Sea-level rise and shoreline retreat: Time to abandon the Bruun Rule. Global and Planetary Change, 43, 3-4, 157–171. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.07.001

[556] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 24

[557] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) 2021, zit. nach MELUND 2022 (siehe Fußnote 523): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/

[558] BSH 2026: DAS-Klimadaten Küste. Projektionen des Meeresspiegelanstiegs. https://das.bsh.de

[559] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 20

[560] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Grundlagen Fachpläne Küstenschutz – Klimawandel. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/kuestenschutz_fachplaene/7_Klimawandel/Klimawandel

Leibniz-Instituts für Ostseeforschung (IOW) könnte der Windstau zum Ende dieses Jahrhunderts aber lokal zwischen 0,1 und maximal 0,4 m höher liegen als zum Jahrhundertanfang.[561] Hinsichtlich des Seegangs deuten Modelluntersuchungen des HZG (heute: Helmholtz-Zentrum Hereon) und der Universität Rostock auf eine leichte Zunahme an der Nord- und Ostseeküste zum Ende dieses Jahrhunderts hin.[562] Die modellierten Änderungen liegen jedoch innerhalb der natürlichen Streubreite des 20. Jahrhunderts. Modellrechnungen zum Wind- und Sturmgeschehen sowie zum Seegang mit Wellenhöhen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste sind zudem Gegenstand des Projekts „Regional storm, wave and surge scenarios for the 2100 century" (STOWASUS-2100).[563] Die Projektionen basieren auf einem Ensemble aus atmosphärischen und ozeanographischen Modellen. Die Ergebnisse zeigen eine mögliche geringe, aber nicht statistisch signifikante Zunahme der Sturmintensität. Auch die für die Nordsee modellierte geringe Zunahme der Wellenhöhen bewegen sich deutlich innerhalb der natürlichen Streubreite des 20. Jahrhunderts. Eindeutige Aussagen zur erwarteten zukünftigen Entwicklung von Sturmflutwasserständen und Seegang lassen sich aus den Modellergebnissen nicht ableiten. Allerdings bleibt die Erkenntnis, dass unabhängig von der Häufigkeit von Sturmfluten ihr höheres Auflaufen vor allem bis Ende des Jahrhunderts zu einer verstärkten Küstenerosion der exponierten Abschnitte beitragen wird.

Steht ausreichend Material aus dem Küstenlängstransport zur Verfügung, kann die Küstenlinie lokal stabil bleiben oder abschnittsweise sogar anwachsen. Dies zeigen unter anderem Beispiele aus St. Peter-Ording oder vom Graswarder bei Heiligenhafen. Auf Sylt wird die Lagestabilität der Westküste durch regelmäßige Sandaufspülungen künstlich gesichert. Gegebenenfalls könnten die erforderlichen Sandersatzmengen zukünftig zunehmen, wenn es infolge des Meeresspiegelanstiegs und dem Sturmflutgeschehen zu höheren Abtragsraten kommt. Für das Wattenmeer stellt ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg eine besondere Herausforderung dar, da dessen Stabilität in hohem Maße von ausreichendem Sedimentnachschub abhängt. Grundsätzlich zeichnen sich Wattflächen als effektive Sedimentsenken aus und weisen daher eine hohe morphologische Resilienz gegenüber einem beschleunigten Meeresspiegel und den dadurch bedingten Abtragungsprozessen aus. Untersuchungen von Hofstede et al. (2019)[564] zu Projektionen morphologischer Entwicklungen in zwei ausgewählten Tidesystemen im Wattenmeer von Schleswig-Holstein haben gezeigt, dass Priele in Abhängigkeit von Wassertiefe und Tidenhub bis zu einem gewissen Kipppunkt als Sedimentquellen für Sedimentationen auf den Wattflächen fungieren. Infolge des Meeresspiegelanstiegs und etwaigen Veränderungen im Tidenhub können die Wassertiefen in den Prielen so stark zunehmen, dass der Kipppunkt überschritten wird und die Priele zu Sedimentsenken werden. Sie stehen dann nicht mehr als Materialquellen zum Ausgleich erosionsbedingter Verluste von Wattflächen zur Verfügung. Ein Meeresspiegelanstieg gemäß dem optimistischsten Szenario SSP1-1.9 könnte im Wattenmeer grundsätzlich noch durch natürliche Umlagerungsprozesse ausgeglichen werden. Die Simulationen deuten darauf hin, dass Flächenanteil und relative mittlere Höhe der intertidalen Watten erst bei einem höheren Meeresspiegelanstieg von 6 bis 7 mm pro Jahr lokal moderat abnehmen und ein Sedimentdefizit entsteht.[565] Diese Erkenntnisse spiegeln sich auch in den Wattenmeer-Szenarien wider, die der Strategie für das Wattenmeer 2100 zugrunde liegen und unter anderem zur Analyse langfristiger klimatischer Entwicklungen im Wattenmeer sowie zur Ableitung von Handlungsoptionen dienen. Das gemäßigte Wattenmeer-Szenario geht von einem mittleren Meeresspiegelanstieg um etwa 0,20 m beziehungsweise durchschnittlich 4 mm pro Jahr bis zur Mitte des Jahrhunderts aus. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass freigesetztes Material aus verstärkter Erosion der Außenküsten (einschließlich des Ebb-Deltas) durch Akkumulation auf den Wattflächen den mittleren Meeresspiegelanstieg ausgleichen kann.[566] Das gesteigerte Wattenmeer-Szenario nimmt einen beschleunigten Meeresspiegelanstieg von durchschnittlich 0,3 m beziehungsweise 6 mm pro Jahr bis zur Mitte des Jahrhunderts an und geht davon aus, dass das erodierte Material dann nicht mehr ausreicht, um den Meeresspiegelanstieg auf den Wattflächen auszugleichen. Für beide Szenarien ist ein Sedimentdefizit auch bis zum Ende des Jahrhunderts zu erwarten. Unter diesen Annahmen wird sich das Wattenmeer – wenn keine wirksamen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen getroffen werden – spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts infolge des Meeresspiegelanstiegs grundlegend verändern. Es würden dauerhaft überflutete Bereiche zunehmen, während trockenfallende Wattflächen abnehmen könnten. Damit wäre nicht nur die Funktion des

[561] MELUND 2017: Anpassung an den Klimawandel. Fahrplan für Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/Fahrplan.pdf

[562] MELUND 2017, s. Fußnote 561

[563] Kaas E., Andersen U., Flather R., Williams J., Blackman D., Lionello P., Dalan F., Elvini E., Nizzero A., Malguzzi P., Pfizenmayer A., Storch H., Dillingh D., Philippart M., de Ronde J., Reistad M., Midtboe,K., Vignes O., Haakenstad H., Hackett B., Fossum I., Sidselrud L. 2001: Synthesis of the STOWASUS-2100 project: Regional storm, wave and surge scenarios for the 2100 century. In: Danish Climate Centre, Report 01-3, 1-23.

[564] Hofstede J., Becherer J., Burchard H. 2019: Morphologische Projektionen für zwei Tidesysteme im Wattenmeer von Schleswig-Holstein: SH-TREND. In: Die Küste, 87, 115-131. https://doi.org/10.18171/1.087101

[565] Hofstede et al. 2019, s. Fußnote 564: S. 125

[566] MELUR 2015, s. Fußnote 522: S. 57

Wattenmeers als vorgelagerte Energieumwandlungszone für den Küstenschutz beeinträchtigt, sondern auch seine ökologische Funktion und seine Bedeutung als UNESCO-Weltnaturerbe gefährdet. Bei Küstenschutzmaßnahmen wird deshalb bereits heute darauf geachtet, dass sie einem Sedimentmangel im Wattenmeer keinen Vorschub leisten, sondern nach Möglichkeit eher zu einer Zunahme des Sediments führen.[567] Für Festlandsalzwiesen wird angenommen, dass sie Meeresspiegelanstiegsraten von bis zu etwa 15 mm pro Jahr durch verstärkte Sedimentation ausgleichen können. Gleichzeitig könnte sich jedoch das Problem der Reliefinversion und der Vernässung deichnaher Vorländer verstärken.[568]

Unsicherheiten hinsichtlich des Ausmaßes und der zeitlichen Dynamik des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs sowie der weiteren Einflussfaktoren wie Sturmflutgeschehen, Tide- und Sedimentdynamik erschweren eine quantitative Abschätzung des zukünftigen Küstenrückgangs. Vor diesem Hintergrund sind flexible und vorsorgende „No-Regret-Maßnahmen" erforderlich, die unabhängig vom tatsächlichen Verlauf des Klimawandels langfristig sinnvoll bleiben. Im besonderen Fokus stehen dabei diejenigen sensitiven Küstenabschnitte, in denen schon heute deutliche Küstenrückgänge beobachtet werden. Die Planung und Umsetzung vorsorgender No-Regret-Maßnahmen sind auch mit Blick auf die erwarteten steigenden Belastungen der Küstenschutzbauwerke infolge des Klimawandels fester Bestandteil des Generalplans Küstenschutz Schleswig-Holstein (siehe Klimawirkung „Veränderung der Anforderungen und Belastungen für Küstenhochwasserschutzanlagen", Kap. 12.4).

[567] MELUND 2022, s. Fußnote 523: S. 60

[568] Landesportal Schleswig-Holstein 2026, s. Fußnote 560

13 Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

13.1 Relevanz des Handlungsfelds

Wasser ist die Quelle allen Lebens und eine wertvolle Ressource. Wir nutzen es jeden Tag: als Trinkwasser, im Haushalt, in der Landwirtschaft, für industrielle Prozesse, als Transportweg, für Freizeitaktivitäten und vieles mehr. Von der Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität sind Gesundheit, Nahrungsmittelproduktion und Wirtschaft abhängig. Gleichzeitig kann ein Zuviel an Wasser zerstörerisch sein. Überschwemmungen und Überflutungen können die Gesundheit von Menschen gefährden, Schäden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verursachen, Transportwege unterbrechen und Infrastrukturen beschädigen. Wasser ist auch im Ökosystem elementar und für alle Lebewesen überlebenswichtig. Es gibt viele und vielfältige wassergebundene Lebensräume, deren Flora und Fauna von einer permanenten Wasserverfügbarkeit und einer guten Wasserqualität abhängig sind. Das Grundwasser sowie unsere Bäche, Flüsse, Teiche, Seen und Meere bergen wertvolle Ökosysteme, die es zu schützen und zu erhalten gilt.

Schleswig-Holstein ist ein wasserreiches Land. Es liegt zwischen zwei Meeren, hat ein dichtes Fließgewässernetz von rund 30.000 km Gesamtlänge[569] und rund 300 natürliche Seen[570]. Das Land lebt mit und vom Wasser. Seine Lage zwischen Nord- und Ostsee macht es zu einem der beliebtesten Reiseländer Deutschlands. Es hat mehrere wichtige Seehäfen, wie Flensburg, Lübeck und Kiel. Und die Fischerei hat in Schleswig-Holstein eine lange Tradition und ist in der Kultur des Landes verankert. Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Industrie gewinnen Wasser für ihre vielfältigen Aufgaben. Das Trinkwasser wird in Schleswig-Holstein zu 100 % aus Grundwasser gewonnen.[571] Es dient der Versorgung der Bevölkerung und auch der vielen Touristen. Neben der Wassergewinnungsinfrastruktur gibt es in Schleswig-Holstein eine komplexe Entwässerungsinfrastruktur. Große Teile des Landes sind Niederungen, die unterhalb von 2,5 m Normalhöhennull, teilweise sogar unterhalb des mittleren Meeresspiegels, liegen. Die Besiedelung und Nutzung dieser Niederungen in der heutigen Form setzen eine umfangreiche und zum Teil kontinuierliche Entwässerung voraus.

Der Klimawandel wird die Wasserverfügbarkeit verändern. Mit ihm sind Verschiebungen im Niederschlagsregime verbunden, das heißt die Menge und Art des Niederschlags wird sich wandeln. Schon jetzt zeichnet sich ab, dass es im Winter in Schleswig-Holstein mehr regnet.[572] Auch wird erwartet, dass es häufiger zu Starkregen kommen kann, weil wärmere Luft mehr Wasser speichern kann. Gleichzeitig könnten Trockenperioden häufiger werden. Die steigenden Temperaturen erhöhen die Verdunstung und den Wasserbedarf der Vegetation, wodurch beispielsweise die Grundwasserneubildung sinken könnte. Zudem steigen die Meeresspiegel und Sturmfluten laufen schon heute höher auf.[573]

Zu den Vorsorge- und Daseinsaufgaben des Landes gehört es, die Wasserressourcen Schleswig-Holsteins zu schützen, um die Versorgung der Bevölkerung zu sichern und eine nachhaltige Nutzung zu ermöglichen. Auch ist es Aufgabe des Landes, kritische Infrastrukturen und wertvolle Ökosysteme vor Schäden aufgrund von zu viel oder zu wenig Wasser zu bewahren. Daher ist die Anpassung wasserwirtschaftlicher Infrastrukturen an den Klimawandel sowie die Reduzierung zusätzlicher Stressoren für wassergebundene Ökosysteme und damit eine Sicherung der Resilienz dieser Systeme von großer Bedeutung.

---

[569] MEKUN 2022: Flüsse und Bäche.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/fluesse-und-baeche

[570] MEKUN 2022: Seen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/seen

[571] McNamara I., Tetzlaff B., Wolters T., Wendland F. 2025: Modellierung der flächendifferenzierten Grundwasserneu-bildung für Schleswig-Holstein im Beobachtungszeitraum 1961 – 2021 und für Klimaszenarien bis 2100. Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie & Umwelt, Band 654: S. 10. https://juser.fz-juelich.de/record/1038888/files/Energie_Umwelt_654.pdf
Hinweis: Die Ergebnisse der Studie wurden auch veröffentlicht in: McNamara I., Wolters T., König B., Rugen A.-L., Toro M., Flörke M., Wendland F. 2025: Modelling the impacts of climate change on groundwater recharge patterns in northern Germany. Journal of Hydrology: Regional Studies. 60, 102507. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102507

[572] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: S. 7. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[573] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf und
Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

13.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

13.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser

Der Abfluss von Fließgewässern wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, Niederschlagsart und -menge sowie die unter anderem von der Temperatur abhängige Verdunstung sind nur drei davon. Infolge des Klimawandels und der damit verbundenen Änderung von Temperatur- und Niederschlagsregimen wird der Abfluss in den Fließgewässern variabler. Vor allem im Sommer kann es häufiger zu extremen Niedrigwassersituationen kommen, die die Ökosysteme der Fließgewässer stark belasten. Im schlimmsten Fall können Fließgewässer trockenfallen, sodass den wassergebundenen Ökosystemen die Lebensgrundlage fehlt. Geringe Wasserstände fördern aber auch die sommerliche Erwärmung des Wassers, was wärmetoleranten Arten der Gewässerflora einen Konkurrenzvorteil verschafft. Zugleich sind viele Organismen der Wasserfauna wechselwarm, das heißt, dass ihre Körpertemperatur direkt von der Wassertemperatur abhängt. In wärmerem Wasser beschleunigt sich ihr Metabolismus und ihr Sauerstoffbedarf steigt. Wärmeres Wasser kann aber weniger Sauerstoff binden, wodurch sich die Atmungsbedingungen der wassergebundenen Fauna verschlechtern. Auch sind bei vielen Wasserlebewesen phänologische Phasen wie Paarung und Eiablage an die Wassertemperatur gebunden. Erwärmen sich die Gewässer im Frühling beispielsweise schneller, verfrühen oder verkürzen sich solche Phasen, was Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem haben kann.

Fließgewässer und ihre Ökosysteme sind gegenüber sommerlichen Niedrigwasserphasen besonders sensitiv, wenn ihr Abfluss stark vom Oberflächenabfluss abhängt, weil das Grundwasser vergleichsweise tief unter der Geländeoberfläche liegt oder der Grundwasserspeicher in Trockenphasen schnell geleert ist. Hintergrund ist, dass das Grundwasser auf Trockenperioden verzögert reagiert und so ein natürlicher Puffer gegenüber Trockenheit sein kann. Außerdem können Vorbelastungen die Resilienz der Ökosysteme gegenüber den Folgen von Niedrigwasser verringern. Solche Vorbelastungen können beispielsweise eine schlechte Wasserqualität sein, aber auch anthropogene Eingriffe in den Abfluss können dazu gehören, wenn sie in einer Niedrigwasserphase nicht der Wasserstandserhöhung dienen. Vorbelastungen können aber auch aufgrund von Starkregenereignissen entstehen, die einem Niedrigwasserereignis vorausgehen. Diese sind häufig mit Nähr- oder Schadstoffeinträgen verbunden, können die Gewässermorphologie verändern und das Freiwasser trüben. In trübem Wasser steht den Wasserpflanzen weniger Sonnenlicht zur Photosynthese zur Verfügung.

Ob infolge des Klimawandels sommerliche Niedrigwasserphasen häufiger oder intensiver werden, ist noch unklar. Auswertungen zeigen, dass – übers ganze Jahr betrachtet – die klimatische Wasserbilanz in Schleswig-Holstein in den letzten Jahrzehnten fast landesweit zunahm. Jedoch ist es die winterliche Niederschlagsmenge, die statistisch signifikant zugenommen hat, während sich bei der sommerlichen Niederschlagsmenge noch kein Trend abzeichnet.[574] Auch die Anzahl sommerlicher Niedrigwassertage zeigt im Monitoring noch keinen statistisch signifikanten Trend. Die Klimaprojektionen zeichnen noch kein robustes Bild hinsichtlich der künftigen Niederschlagsentwicklung in Schleswig-Holstein. Im Worstcase könnte es im Südosten des Landes zu einem Rückgang der klimatischen Wasserbilanz kommen. Viele der dortigen Fließgewässer sind vergleichsweise sensitiv, sodass sich hier ein Hotspot ökologischer Beeinträchtigungen in Fließgewässern aufgrund von Niedrigwasser abzeichnen könnte. Gebiete, in denen die Fließgewässer eher ein mittleres Risiko tragen, sind entlang der Ostseeküste sowie im nord-westlichen Hamburger Ring und in der westlichen Geest zu finden.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 13.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator WW-I-4: Niedrigwasser[575]

[574] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 572: S. 7

[575] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-4:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/niedrigwasser.pdf

13.2.2 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen

Wasserstand und Wasserqualität der Seen in Schleswig-Holstein werden vom Klima beeinflusst und somit durch den Klimawandel verändert. Wandeln sich die Niederschlagsregime, verändert sich der Zufluss zu den Seen, sei es durch veränderte Grundwasserstände oder weil Oberflächen- und Zwischenabfluss zu- oder abnehmen. Die Randbereiche von Seen mit flachen Ufern können bei sinkenden Wasserständen verlanden, sodass wassergebundene Lebensräume verloren gehen. Steigende Temperaturen und zunehmende Hitze erhöhen die Verdunstung und erwärmen das Wasser. Folge steigender Wassertemperaturen kann eine stabilere thermische Schichtung im Sommer in tiefen Seen sein, die zu Sauerstoffmangel und Phosphorrücklösung aus dem Sediment im Tiefenwasser führen kann. Außerdem kann wärmeres Wasser weniger Sauerstoff binden. Die Atembedingungen der im Wasser lebenden Organismen verschlechtern sich, während gleichzeitig der Metabolismus der häufig wechselwarmen Wasserfauna und damit deren Sauerstoffbedarf steigt. Phänologische Prozesse, die bei Wasserlebewesen häufig an die Wassertemperatur gebunden sind, können sich verkürzen oder verschieben. Wärmeres Wasser schafft wärmetoleranten Arten der Wasserflora einen Konkurrenzvorteil. Insgesamt kann es so zu deutlichen Veränderungen im Ökosystem eines Sees kommen. Eine zusätzliche Belastung für die Seenökosysteme sind in ihrer Häufigkeit und Intensität möglicherweise zunehmende Starkregenereignisse. Sie können zu einem erhöhtem Nährstoffeintrag von nahegelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen führen, der übermäßiges Algenwachstum befördert und so zur Eutrophierung eines Sees führen kann.

Viele der größeren Seen des Landes liegen im Schleswig-Holsteinischen Hügelland und im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte. Der Süden und Osten des Landes sind im Vergleich zum Norden und Westen deutlich trockener. Wie sich die Niederschlagsmenge in Zukunft wandelt, kann noch nicht robust projiziert werden. Aktuell zeichnet sich aber eine Zunahme der winterlichen Niederschlagsmenge ab, während sich im Sommer noch keine Veränderung zeigt.[576] Robuster sind die Projektionen der Temperatur. Die Anzahl der Heißen Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C ist schon heute im Süden Schleswig-Holsteins höher als im Norden und sie wird unter Annahme des RCP8.5 (85. Perzentil) im Süden zudem deutlich stärker ansteigen als im Norden. Die Ökosysteme der Seen im Südosten des Landes könnten folglich einem hohen Risiko steigender sommerlicher Wassertemperaturen ausgesetzt sein. Ob dies mit sinkenden Niederschlägen oder zunehmenden Starkniederschlägen gepaart mit dazwischen liegenden Trockenphasen verbunden sein wird, ist noch ungewiss. Aktuell zeigen sich im Klimafolgen-Monitoring noch keine veränderten Pegelstände in Seen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 13.5

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator WW-I-6: Wasserstand von Seen[577]

Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit

Niederschlag und Temperatur sind entscheidende Faktoren der Grundwasserneubildung. Und dem Grundwasser kommt in Schleswig-Holstein eine besondere Bedeutung zu, denn 100 % des Trinkwassers hier im Land werden aus Grundwasser gewonnen.[578] Grundwasser bildet sich, wenn Niederschlag im Boden versickert und nicht aus dem Boden wieder verdunstet oder von Pflanzen aufgenommen wird. Die Evapotranspiration (also die Evaporation aus dem Boden und die Transpiration und damit der Wasserbedarf der Pflanzen) wird vor allem von der Temperatur beeinflusst, aber auch von anderen Faktoren wie dem Wind und der Vegetationsart und- menge. Damit verändert sich mit dem Klimawandel auch die Grundwasserneubildung. Hinzu kommt, dass der Klimawandel über den Meeresspiegelanstieg bei küstennahen Grundwasserkörpern auch Folgen für die Qualität des Grundwassers haben kann, wenn Meerwasser in Grundwasserkörper eintritt und diese versalzt. Dies kann dazu führen, dass einzelne Grundwasserkörper nicht mehr zur Trinkwassergewinnung genutzt werden können. Es kann aber auch die Aufbereitung des Wassers als Trinkwasser erschweren und damit verteuern.

[576] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 572: S. 7

[577] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-6:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wasserstand_seen.pdf

[578] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 571: S. 10

Gleiches gilt für Nähr- und Schadstoffe, die ins Grundwasser gelangen, beispielsweise Stickstoffverbindungen aus der Landwirtschaft.

In allen Landkreisen Schleswig-Holsteins wird Trinkwasser aus dem Grundwasser gewonnen, besonders viel in Stormarn und Rendsburg-Eckernförde. Seit Mitte der 1990er Jahre steigt die Grundwasserentnahme durch öffentliche Wasserversorgungsunternehmen in Schleswig-Holstein leicht an, obwohl die Abgabe von Wasser an Haushalte und Kleingewerbe sank. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass andere Abnehmer (gewerbliche Unternehmen oder sonstige Abnehmer, mit denen die für die öffentliche Wasserversorgung tätigen Unternehmen das abgegebene Wasser unmittelbar abrechnen) zunehmend Wasser verbrauchen. Der Wasserbedarf verschiedener Abnehmer kann mit zunehmendem Klimawandel steigen. So ist anzunehmen, dass der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft mit den steigenden Temperaturen und möglicherweise zunehmenden Trockenphasen im Sommerhalbjahr steigt, vor allem im Süden Schleswig-Holsteins. Hier könnte zudem der Trinkwasserbedarf der Bevölkerung vergleichsweise stark zunehmen, da die Klimaprojektionen einen möglichen deutlichen Anstieg der Anzahl Heißer Tage zeigen.[579] Im Forschungsprojekt „Multisektorale Wasserbedarfsprognosen für Deutschland und ihre Bedeutung für zukünftige potenzielle Wasserengpassregionen" (WatDEMAND) wird von einem Mehrbedarf an Wasser in Haushalten von 50 % an Sommertagen und einem Mehrbedarf von 100 % an Heißen Tagen ausgegangen.[580]

McNamara et al. 2025 haben mit dem Modell mGROWA die Grundwasserneubildung in Schleswig-Holstein modelliert und sehen aktuell noch keine Auswirkungen des Klimawandels darauf.[581] Dem gegenüber steht der Indikator WW-I-1 „Grundwasserstand" des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holstein, der eine statistisch signifikante Zunahme der Monate mit Unterschreitung des mittleren niedrigsten Grundwasserstands zeigt.[582] Dies bedeutet, dass an zunehmend mehr Messstellen immer häufiger der langjährige mittlere Grundwasserstand der jeweiligen Messstelle unterschritten wird. Gleichzeitig haben die Überschreitungen des mittleren höchsten Grundwasserstands von 1961 bis 2024 statistisch signifikant abgenommen.[583] Auch die zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung haben McNamara et al. 2025 modelliert, wobei die Ergebnisse nach Aussage der Autoren jedoch nicht robust sind.[584] Für das hier relevante Worst-case-Szenario (15. Perzentil) wurde eine leichte Abnahme der landesweiten jährlichen mittleren Netto-Grundwasserneubildung um 14 mm im Jahr bis zum Zeitraum 2041-2070 und um 16 mm im Jahr bis zum Ende des Jahrhunderts projiziert. Dabei nimmt der projizierte Rückgang der Grundwasserneubildung von Osten nach Westen zu, sodass unter anderem die Kreise Stormarn und Rendsburg-Eckernförde, in denen aktuell besonders viel Grundwasser durch Unternehmen der öffentlichen Wasserversorgung gefördert wird, dem Risiko eines mittleren Rückgangs der Netto-Grundwasserneubildung entgegensehen könnten, dieser Rückgang in Nordfriesland, Dithmarschen und Pinneberg aber höher wäre.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 13.6

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator WW-I-1: Grundwasserstand[585]
Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[586]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[587]

[579] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 572: S. 18

[580] Zaun F., aus der Beek T., Weber T., Vollmer T., Müller B., Sturm S., Streck T., Boeing F., Marx A. 2025: Multisektorale Wasserbedarfsprognosen für Deutschland und ihre Bedeutung für zukünftige potenzielle Wasserengpassregionen (WatDEMAND). Zukunft der Wasserverfügbarkeit und -bedarfe in Deutschland: Folie 6. https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/events/20250204_Wasserbilanz-Deutschland_IWW.pdf

[581] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 571: S. 71

[582] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/grundwasser.pdf

[583] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 582

[584] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 571: S. 111

[585] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 582

[586] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf

[587] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten

Ein Anteil von 20 % der Landesfläche Schleswig-Holsteins liegt unterhalb von 2,5 m Normalhöhennull (NHN): die Niederungen.[588] Von diesen Niederungen liegen rund 30 % sogar unterhalb des mittleren Meeresspiegels.[589] Als Folge des Programms Nord, das ab den 1950er Jahren umgesetzt wurde, werden diese Flächen heute vielfältig genutzt. Voraussetzung dafür ist eine intensive und zum Teil kontinuierliche Entwässerung der Niederungen, die früher im Winter regelmäßig überschwemmt wurden.

Die Niederungsgebiete stehen aktuell und künftig vielfältigen Herausforderungen gegenüber. Die durch den Klimawandel steigenden Meeresspiegel und höher auflaufenden Sturmfluten an Nord- und Ostsee, möglicherweise an Intensität und Häufigkeit zunehmende Starkregenereignisse sowie Geländehöhenverluste entwässerter organischer Böden und eine zunehmende Flächenversiegelungen in den Einzugsgebieten der Fließgewässer erschweren die Entwässerung der Niederungen und befördern Hochwasserereignisse an den Fließgewässern in diesen Gebieten. Zugleich nimmt schon jetzt die Niederschlagsmenge in den Wintermonaten zu.[590] Und viele der wasserwirtschaftlichen Anlagen des komplexen Entwässerungssystems stammen aus den 1950er bis 1970er Jahren und haben einen erheblichen Modernisierungsbedarf.[591]

Die Klimaprojektionen zur Jahresniederschlagsmenge sind nicht landesweit robust. Im Worst-case könnte unter Annahme des RCP8.5 die Jahresniederschlagsmenge bis zur Mitte des Jahrhunderts aber landesweit zunehmen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27). In den Niederungen an der Nordseeküste könnte diese Zunahme sogar vergleichsweise stark sein. Gleiches gilt für die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag, die hier als Proxyindikator für Tage mit Starkregen verwendet wird. Die Entwässerung der Niederungen wird folglich zunehmend schwierig und könnte die bestehende Infrastruktur überlasten. Jedoch hat das Land Schleswig-Holstein im Jahr 2024 eine Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100 mit dem Titel „Zukunft Niederungen" verabschiedet, um sich diesen und anderen Herausforderungen zu stellen und die notwendigen Modernisierungen in die Wege zu leiten.[592] Wenn es gelingt, die mit der Strategie verbundenen Ziele bis zur Mitte des Jahrhunderts umzusetzen, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Anpassung dieser Gebiete an den Klimawandel geschaffen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 13.7

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[593]
Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[594]

13.2.3 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA des Bundes aus dem Jahr 2021[595] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 52 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

[588] MEKUN (Hrsg.) 2024: Zukunft Niederungen. Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen/downloads/Strategiepapier_Niederungen_Dez.2024.pdf

[589] MEKUN 2024, s. Fußnote 588

[590] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 572: S. 7

[591] MEKUN 2024, s. Fußnote 588, sowie MEKUN 2026: Zukunft Niederungen.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen

[592] MEKUN 2024, s. Fußnote 588

[593] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 586

[594] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 587

[595] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Climate Change 24/2021. Dessau-Roßlau, 261 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit

Tabelle 52: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	Erläuterungen
Überschwemmungen durch Flusshochwasser (außerhalb der Niederungsgebiete)	Hochwassersituationen an Fließgewässern treten deutlich häufiger im Winter als im Sommer auf. Im Winter sind die Böden häufiger mit Wasser gesättigt, teilweise auch gefroren, sodass Niederschlagswasser nicht versickern kann. Es fließt dann oberflächlich ab und ist direkt abflusswirksam in den Fließgewässern. Die Verdunstung ist durch die niedrigen Temperaturen im Winter geringer und die Vegetation braucht weniger Wasser. Inwiefern der Klimawandel die Intensität und Häufigkeit von Hochwasserereignissen verändert, ist eine komplexe Frage, die noch nicht vollständig beantwortet ist.[596] Jedoch können zunehmende Niederschläge, die in Schleswig-Holstein im Winterhalbjahr bereits statistisch signifikant mehr werden (siehe Klimaanalyse, Abbildung 12), die winterliche Hochwassersituation durchaus verschärfen. Auch an Intensität und Häufigkeit zunehmende Starkregenereignisse könnten das Risiko von Hochwasser erhöhen. Im Worstcase könnte die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag landesweit schon bis zur Mitte des Jahrhunderts steigen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 28). Noch zeigt sich hier kein Trend (siehe Klimaanalyse, Abbildung 14). Auch die Anzahl an Hochwassertagen in Schleswig-Holstein zeigt aktuell noch keinen statistisch signifikanten Trend.[597] Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator WW-I-3: Hochwasser[598]
Mangel an Bewässerungswasser	Unzureichende Wasserversorgung kann die Entwicklung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen stark beeinträchtigen. So sind beispielsweise Kartoffeln für Knollenansatz und Knollenwachstum auf ausreichende Wasserversorgung angewiesen und reagieren auf trockenen Standorten sehr positiv auf zusätzliche Bewässerung. Auch für Gemüse und Obst wirkt sich Wassermangel sehr nachteilig auf Wachstum und Fruchtbildung aus. Die bewässerte Fläche (ohne Frostschutzberegnung und ohne Kulturen unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen, also Gewächshäusern) stieg zwar in Schleswig-Holstein von 2012 (5.300 ha) bis 2019 (7.714 ha) deutlich an, betrug 2019 aber immer noch unter 1 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche (aktuellere Zahlen liegen noch nicht vor)[599]. Diese Daten aus der Agrarstatistik sind aber unvollständig; die tatsächlich bewässerte Fläche ist vermutlich höher. Dennoch wird derzeit von einer insgesamt so geringen Bewässerungsfläche ausgegangen, dass die Klimawirkung als nachrangig beurteilt werden kann. Die Datenverfügbarkeit zur bewässerten Flächen sollte aber verbessert werden. Derzeit besteht in Schleswig-Holstein kein Wassermangel. Aufgrund zunehmender Niederschlagsdefizite während der Wachstumsperiode werden aber in landwirtschaftlichen Betrieben teilweise schon heute Wasserbecken angelegt, um Regenwasser zu Bewässerungszwecken sammeln zu können und (künftigen) Wasserengpässen vorzubeugen. Auch künftige Wassernutzungskonflikte zwischen Bewässerung und Trinkwasserversorgung können nicht ausgeschlossen werden. Aktuell wird die Relevanz der Klimawirkung noch als gering eingeschätzt, weshalb von einer weiteren Bearbeitung abgesehen wurde. Erwähnt wird die Nachfrage nach Bewässerungswasser in der Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit“.

[596] Bronstert A., Apel H., Bormann H., Bürger G., Haberlandt U., Hannappel A., Hattermann F. F., Heistermann M., Huang S., Iber C., Joneck M., Kolokotronis V., Kundzewicz Z. W., Menzel L., Meon G., Merz B., Meuser A., Nied M., Paton E. N., Petrow T., Rottler E. 2023: Hochwasser und Sturzfluten an Flüssen in Deutschland. In: Brasseur G. P., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2. Auflage. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66696-8_16

[597] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-3:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/hochwasser.pdf

[598] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 597

[599] Destatis: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/betriebe-bewaesserung-5411205209004.pdf

Klimawirkung	Erläuterungen
Überflutungen infolge von Starkregenereignissen	Starkregenereignisse werden auch für Schleswig-Holstein immer relevanter. Am größten sind die Gefahren und Schäden im besiedelten Bereich. Daher wird die Starkregenproblematik im Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung mit der Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" bearbeitet. Dies schließt nicht aus, dass in Zukunft auch nicht besiedelte Bereiche stärker in den Blick geraten können (beispielsweise Schäden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen).
Engpässe bei der Trinkwasserversorgung	In Schleswig-Holstein erfolgt die Trinkwasserversorgung zu 100 % aus Grundwasser. Entscheidend für die künftige Verfügbarkeit ist also die Entwicklung der Grundwasservorräte. Eine separate Bearbeitung der Klimawirkung wird aus derzeitiger Sicht nicht für erforderlich betrachtet. Die Verfügbarkeit für die Trinkwassernutzung wird in der Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit" angesprochen.
Engpässe bei der Verfügbarkeit von Produktionswasser	In der KWRA 2021 wurde konstatiert, dass man sich für die industrielle Wassernutzung erhofft, dass in den nächsten Jahren ein produktionsintegriertes Abwasserrecycling flächendeckend umgesetzt wird und auch effiziente Kühlsysteme den Wasserbedarf und die Wärmelast der Gewässer weiter reduzieren können[600]. Die zukünftige Entwicklung von Einschränkungen der Verfügbarkeit von geeignetem Produktionswasser ist vor diesem Hintergrund derzeit nur schwer abzuschätzen, eine Klimarisikoanalyse mit großen Unsicherheiten behaftet. Von einer separaten Betrachtung der Klimawirkung wird daher derzeit abgesehen.
Grundwasserversalzung in den Küstengebieten	Grundwasserversalzung kann sowohl natürlich als auch anthropogen bedingt sein. Natürlicherweise können die Konzentrationen im Küstenbereich, in den Marschen und Niederungen, im Ablaugungsbereich von Salzstrukturen im Untergrund und in tiefen Grundwasserleitern erhöht sein. Salzwasserintrusionen in küstennahen Grundwasserleitern sind insbesondere an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste ein weit verbreitetes Problem für die Trinkwasserversorgung (siehe Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit", Kap. 13.6). Der erwartete Anstieg des Meeresspiegels verstärkt die Salzwasserintrusion in das Grundwasser an den Küsten und kann im Untergrund einen Anstieg der Süß-/Salzwassergrenze bewirken. Dieser Prozess kann durch Drainagemaßnahmen in den Niederungen begünstigt werden. Die Problematik der Grundwasserversalzung wurde in mehreren Projekten bereits thematisiert[601]. Die Ergebnisse von Modellierungen lassen erwarten, dass zukünftig eine laterale Ausbreitung der Grundwasserversalzung ins Landesinnere nicht oder nur sehr kleinräumig zu erwarten ist. Allerdings könnte es in den tieferen Bereichen der küstennahen Grundwasserleiter zu einem Anstieg der Chlorid-Konzentrationen kommen. Diese können durch veränderte Druckverhältnisse (unter anderem während Trockenperioden) bis in oberflächennahe Grundwasserleiter aufsteigen und diese versalzen. Diese Effekte können aber durch anthropogen bedingte Versalzungen überlagert werden, die vor allem durch das Grundwasserdargebot übersteigende Grundwasserentnahmen entstehen. Die Klimawirkung soll weiter im Blick bleiben und könnte in einer Fortschreibung der Klimarisikoanalyse detaillierter betrachtet werden.

[600] Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst L., Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H, Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Climate Change 22/2021. Dessau-Roßlau: S. 261

[601] Interreg IVB-Projekt CLIWAT, 2012: Prognoserechnungen zur Änderung der Grundwasserverhältnisse im Klimawandel am Beispiel der Insel Föhr mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Bestellsysteme/pdf/geologie/grundwasser_foehr.pdf

EU-Interreg-Projektes TOPSOIL (LBEG und LfU) 2023: Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs auf küstennahe Grundwasserleiter entlang der Nordseeküste in Niedersachsen, die sich grundsätzlich auf Bereiche der schleswig-holsteinischen Westküste übertragen lassen. GeoBerichte 48. https://dx.doi.org/10.48476/geober_48_2023

Klimawirkung	Erläuterungen
	Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator KUE-I-1: Meeresspiegel[602] Indikator KUE-I-2: Sturmfluten[603]
Einschränkung der Funktionsfähigkeit von Kanalnetzen und Vorflutern und Kläranlagen	Diese in der KWRA 2021 thematisierte Klimawirkung fokussiert vor allem auf die Überlastung der Infrastruktur der Abwasserentsorgung bei Starkregen und die unzureichende Spülung der Kanalsysteme bei zu geringem Niederschlag. In der KWRA 2021 wird darauf hingewiesen, dass es einer bundesweiten Bestandsaufnahme des Kanalnetzes bedarf, um Risiken besser einschätzen zu können. Dies gilt analog auch für die Landesebene. Eine spezifische Risikoeinschätzung ist nur auf kommunaler Ebene möglich, denn belastbare Datenquellen zu den Kanalnetzen sind nur auf dieser Ebene verfügbar. Von einer Bearbeitung dieser Klimawirkung auf Landesebene wird vor diesem Hintergrund abgesehen. Es ergeben sich zudem Schnittstellen mit der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" (siehe Kap. 13.4), da vor allem kleine Gewässer bei geringen Abflüssen zu relevanten Anteilen durch Abwasser gespeist werden können, was zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen führen und die ökologische Qualität der Gewässer beeinträchtigen kann (siehe hierzu auch die Klimawirkung „Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Fließgewässern"). Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator WW-I-4: Niedrigwasser[604]
Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Fließgewässern	Die Wassertemperatur ist – wie bei den Seen – ein wichtiger Einflussfaktor für die biologischen und chemischen Prozesse in Fließgewässern und beeinflusst damit auch deren ökologischen Zustand. Damit liegt eine Verbindung zwischen der Erhöhung der Lufttemperatur infolge des Klimawandels und dem qualitativen Zustand von Fließgewässern nahe. Die Temperatur und damit verbunden die Gefahr der Eutrophierung steigen in allen derzeitigen Beobachtungen und Modellierungen für die Zukunft. Vor allem bei niedrigem Abfluss kann es zu Beeinträchtigungen der stofflichen und ökologischen Qualität kommen. Aufgrund der engen Verbindung zur Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" (siehe Kap. 13.4) und der dort angesprochenen Zusammenhänge zur Wasserqualität wurde diese Klimawirkung für die weitere Bearbeitung nicht priorisiert. Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring: Indikator WW-I-5: Wassertemperatur von Fließgewässern[605] Indikator WW-I-4: Niedrigwasser[606]

13.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Tabelle 53 zeigt die Bedeutung der Klimawirkungen des Handlungsfelds Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft. Sehr hoch in ihrer sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Bedeutung wurden Überschwemmungen durch Flusshochwasser und die Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten bewertet. Auch der Veränderung der Grundwasserneubildung und der Grundwasserverfügbarkeit wurde von den Fachleuten eine sehr hohe soziale, ökologische und

[602] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 586

[603] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 587

[604] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-4:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/niedrigwasser.pdf

[605] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-5:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wassertemp.pdf

[606] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein, s. Fußnote 587

wirtschaftliche Bedeutung zugemessen. Hintergrund ist die Relevanz des Grundwassers für die Trinkwassergewinnung und -versorgung. Eine mögliche Verknappung könnte zu Nutzungskonflikten führen, insbesondere da der Wasserverbrauch mit den zunehmenden Temperaturen steigt und auch der Tourismus einen hohen, möglicherweise steigenden Wasserbedarf hat. Auch mit Blick auf die hohe flächenhafte Relevanz grundwasserabhängiger Ökosysteme in Schleswig-Holstein ist die Bedeutung der Klimawirkung als sehr hoch eingeschätzt worden. Von sehr hoher ökologischer Bedeutung sind nach Einschätzung der Fachleute zudem ökologische Beeinträchtigungen der Fließgewässerökosysteme durch Niedrigwasser sowie Beeinträchtigungen des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen im Zuge des Klimawandels. Beiden Klimawirkungen wurde zugleich hohe soziale und wirtschaftliche Bedeutung zugeschrieben. Die Grundwasserversalzung in den Küstengebieten wurde sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich als hochbedeutend bewertet.

Tabelle 54 bildet ab, ob die Fachleute seitens der Landesregierung einen zusätzlichen Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren sehen. Dies ist bei allen betrachteten Klimawirkungen im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft der Fall, mit Ausnahme der Grundwasserversalzung in den Küstengebieten. Bei der Beurteilung wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass mit Blick auf die Fließgewässer Handlungsbedarf in Bezug auf rechtliche Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) existiert und dass das Land aktuell an einer Quantifizierung der aktuellen und künftigen Wasserbedarfe arbeitet, um Handlungsvorschläge für den Grundwasserschutz abzuleiten.

Tabelle 53: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser	hoch	sehr hoch	hoch	-*	geringe soziale Bedeutung (1 Votum)
Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	-	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)
Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit	sehr hoch	uneinheitlich (hoch bis sehr hoch)	sehr hoch	relevant für die Trinkwassergewinnung und -versorgung; im Zusammenhang mit drohender Knappheit und Nutzungskonflikten hat dies deutliche Auswirkungen	mit Blick auf die hohe flächenhafte Relevanz grundwasserabhängiger Ökosysteme und den hohen Wasserverbrauch im Tourismus: sehr hohe ökologische Bedeutung
Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen	hoch	sehr hoch	hoch	-	-**
Überschwemmungen durch Flusshochwasser (außerhalb der Niederungsgebiete)	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	keine Bewertung vorgenommen	-	sehr hohe Bedeutung (ökologisch, sozial und wirtschaftlich)
Grundwasserversalzung in den Küstengebieten	gering	hoch	hoch	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 54: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser	ja	Handlungsbedarf besteht in Bezug auf rechtliche Vorgaben der Ziele der WRRL; es müssen Anpassungsmaßnahmen gefördert werden (Beschattung, Niedrigwasserrinne, Wasser in der Landschaft halten etc.)	-**
Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten	ja	-*	-
Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit	ja	Das Land hat bereits Projektionen der Grundwasserneubildung erarbeitet. In den nächsten Jahren werden die Wasserbedarfe und -dargebote für den IST-Zustand ermittelt und für die Zukunft projiziert. Basierend auf den Ergebnissen werden Handlungsoptionen erarbeitet.	-
Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen	ja	-	-
Überschwemmungen durch Flusshochwasser (außerhalb der Niederungsgebiete)	keine Bewertung vorgenommen	-	ja
Grundwasserversalzung in den Küstengebieten	nein	-	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

13.4 Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser“

13.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Schleswig-Holstein hat ein dichtes Fließgewässernetz, dessen Gesamtlänge rund 30.000 km beträgt.[607] Besonders Bäche mit einer Breite von maximal zwei Metern, kleinen Einzugsgebieten, geringem Gefälle und einer kurzen Fließstrecke bis zur Mündung prägen das Land.[608] Ihre Ökosysteme sind besonders gefährdet, in sommerlichen Trockenperioden aufgrund von Niedrigwasser und Wärme Schaden zu nehmen.

Niedrigwasser in Fließgewässern ist ein natürliches Phänomen. Kleine und große Fließgewässer führen nicht immer gleich viel Wasser. Die Menge des aktuell geführten Wassers (der Abfluss) wird direkt von Wetter und Witterung beeinflusst: Art und Menge des Niederschlags bestimmen, wie viel Wasser den Gewässern durch oberflächlichen Abfluss zugeführt wird. Starkregen können beispielsweise kaum in den Boden versickern und führen zu viel Oberflächenabfluss. Langanhaltende Sprühregen oder Dauerregen hingegen versickern zu einem deutlich größeren Teil. Niederschlag, der als Schnee fällt, wird, wenn es kalt genug ist, zunächst als Schneedecke gespeichert und erst beim Auftauen abflusswirksam. In längeren Trockenperioden fehlt den Gewässern der Zufluss aus Niederschlag ganz, sie werden nur noch vom Trockenwetterabfluss[609] beziehungsweise vom Basisabfluss[610] gespeist, und gleichzeitig können die Grundwasserpegel sinken, sodass auch der unterirdische Zufluss abnimmt. Auch die Temperatur bestimmt den Abfluss, indem sie die Verdunstung von Wasser aus den Gewässern, aber die Evapotranspiration und damit den Anteil des Wassers, der über das Grundwasser, den Zwischenabfluss[611] oder den Oberflächenabfluss den Fließgewässern zugeführt wird, beeinflusst. Weitere Faktoren, die die Abflussdynamik beeinflussen, sind beispielsweise die Bodenfeuchte und die Bodenbeschaffenheit. Neben den natürlichen Faktoren wird der Abfluss in einigen Fließgewässern auch durch den Menschen verändert; durch Einleitungen aus Kläranlagen und Industriebetrieben sowie Wasserentnahmen, etwa für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen. Über wasserwirtschaftliche Infrastrukturen wie Staustufen und Wehre wird der Abfluss mancher Gewässer anthropogen gesteuert.

Die infolge des Klimawandels variablere Abflusssituation verändert die Gewässer, beispielsweise den Sedimenttransport und somit die Morphologie.[612] Ökologisch besonders einschneidend können extreme Niedrigwassersituationen sein. Durch niedrigere Wasserstände sinkt das besiedelbare Habitat in den Gewässern für aquatisch lebende Organismen. Das betrifft sowohl die Gewässerfauna als auch die Wasserpflanzen und (Kiesel-)Algen. Vor allem die Hydrophyten[613] sind beeinträchtigt und werden zudem sukzessive von Röhricht- und anderen amphibisch lebenden Pflanzenarten verdrängt, was nachhaltige Störungen in der Biozönose verursachen kann (Makrophytenverödung[614]) und zusätzlich den Unterhaltungsaufwand (Mähen des ausgeprägteren Röhrichts) erhöhen kann. Übermäßige Röhrichtentwicklung behindert wiederum

[607] MEKUN 2022: Flüsse und Bäche.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/fluesse-und-baeche

[608] Brunke M. 2008: Klimawandel und Fließgewässer in Schleswig-Holstein. In: LANU 2008: Jahresbericht 2007/08: S. 47-60. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Bestellsysteme/pdf/jahrbe07/Klimawandel%20und%20Fliessgewaesser.pdf

[609] Der Trockenwetterabfluss ist der „Abfluß [sic] nach einer längeren Zeitspanne ohne abflußwirksame [sic] Niederschläge […]. Er besteht nur aus grundwasserbürtigem Abfluß [sic].“ (Spektrum Akademischer Verlag 2000: Lexikon der Geowissenschaften: Trockenwetterabfluß. https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/trockenwetterabfluss/16991)

[610] Der Basisabfluss besteht aus „Wasser, das einem Fließgewässer hauptsächlich aus dem Grundwasser zeitlich verzögert zufließt […]. Er kann auch Anteile des verzögerten Zwischenabflusses sowie Abflüsse von Seen, Talsperren, Gletschern, Wassereinleitungen und Wasserüberleitungen enthalten. Wenn über einen längeren Zeitabschnitt kein abflußwirksamer [sic] Niederschlag oder Schneeschmelze auftritt, besteht der Abfluß [sic] im Wasserlauf allein aus Basisabfluß [sic] […].“ (Spektrum Akademischer Verlag 2000: Lexikon der Geowissenschaften: Basisabfluß. https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/basisabfluss/1439)

[611] Zwischenabfluss ist eine „Abflussform an Hängen, die in Erdoberflächennähe und annähernd oberflächenparallel erfolgt, ohne das Grundwasser zu erreichen.“ (Kleber, A. 2001: Lexikon der Geographie: interflow. https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/interflow/3829)

[612] Brunke 2008, s. Fußnote 608

[613] Hydrophyten sind „alle nicht zum Phytoplankton zählenden Blüten- und Farnpflanzen, Moose und Großalgen, die im Wasser schweben, am Grund wurzeln bzw. auf der Wasseroberfläche schwimmen (Schwimmpflanzen).“ (Jehn K. 2001: Lexikon der Geographie: Wasserpflanzen. https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/wasserpflanzen/8889)

[614] Makrophyten sind „allgemein alle mit bloßem Auge erkennbaren pflanzlichen Organismen.“ (Leser H., Haas H.-D., Mosimann T., Paesler R. 2001: DIERCKE-Wörterbuch Allgemeine Geographie. Deutscher Taschenbuch Verlag und Westermann Schulbuchverlag. München, Braunschweig: S. 490.)

auch eine gesunde Entwicklung der Algenbiozönose im Gewässerbett. Gewässer, die weniger Wasser führen, erwärmen sich zudem schneller. Häufig fallen sommerliche Niedrigwasserphasen mit Hitzewellen zusammen. Wärmeres Wasser aber hat eine geringere Sauerstoffspeicherkapazität. Dies verschlechtert die Atembedingungen der Wasserorganismen. Gleichzeitig beeinflussen die Wassertemperaturen den Metabolismus der häufig wechselwarmen Wasserfauna, sodass viele Tiere bei wärmerem Wasser einen erhöhten Sauerstoffbedarf haben. Wärmeres Wasser fördert ein übermäßiges Algenwachstum, was insbesondere in langsam fließenden Gewässern aufgrund des Abbauprozesses abgestorbener Algen zusätzlich den Sauerstoffgehalt des Wassers senken kann.

In Fließgewässern mit niedrigem Abfluss werden eingeleitete und eingespülte Stoffe weniger stark verdünnt, sodass für das Ökosystem kritische Schwellenwerte überschritten werden können. Auch dies belastet Flora und Fauna. In extremen Fällen können kleinere Fließgewässer in langanhaltenden Trockenperioden ganz trockenfallen, sodass den wassergebundenen Ökosystemen die Lebensgrundlage fehlt.

13.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Ein wichtiges Klimasignal für den Abfluss ist die **Niederschlagsmenge**. Die Klimaanalyse[615] zeigt, dass die Jahresniederschlagssumme in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1881–2023 gestiegen ist (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 9 und 10[616]), insbesondere seit den 1990er Jahren häufen sich regenreiche Jahre. Jedoch zeigt sich zugleich eine jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter (siehe Klimaanalyse, Abbildung 12), wobei es grundsätzlich im Sommer mehr regnet als im Winter. Im Raum Schleswig und der Westen von Schleswig-Holstein sind niederschlagsreicher als der Osten Schleswig-Holsteins. Insbesondere die Ostseeküste zeigt im landesweiten Vergleich eher geringe Niederschläge. Hier sind im Zeitraum 1971-2000 im Mittel rund 600 bis 800 mm Niederschlag im Jahr gefallen, während es an der Nordseeküste rund 700 bis 900 mm im Jahr und in der Heide-Itzehoer Geest zum Teil sogar noch mehr Niederschlag gab (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27).

Nicht überraschend deckt sich die räumliche Differenzierung des Niederschlags in Schleswig-Holstein mit der der Anzahl der **Trockenperioden**. Solche Zeiträume von mindestens 14 ununterbrochen aufeinanderfolgenden Trockentagen mit einer Niederschlagssumme von unter 1 mm kamen im Zeitraum 1971-2000 häufiger im Osten des Landes vor, durchschnittlich bis zu dreieinhalb Mal im Jahr (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29).

Extreme Niedrigwassersituationen entstehen in der Regel im (späten) Frühjahr oder Sommer und können bis in den Herbst, zum Teil sogar bis in den Winter andauern. Abbildung 94 zeigt die **saisonale Trockenheit** in Sommer und Herbst in Schleswig-Holstein im Zeitraum von 2000 bis 2025. Abgebildet wird sie über den Trockenheitsindex nach de Martonne[617]. Dieser stellt den Quotienten des Niederschlags und der mittleren Lufttemperatur dar. Er ist damit eine Möglichkeit, Temperatur und Niederschlag zusammenzuführen und so das potenzielle Wasserdargebot anhand zweier meteorologischer Parameter zu betrachten. Weder für die Sommermonate Juni bis August noch für den Herbst von September bis November zeigt die Zeitreihe, die auf Raster-Daten des DWD zum Trockenheitsindex nach de Martonne basiert, einen statistisch signifikanten Trend.[618]

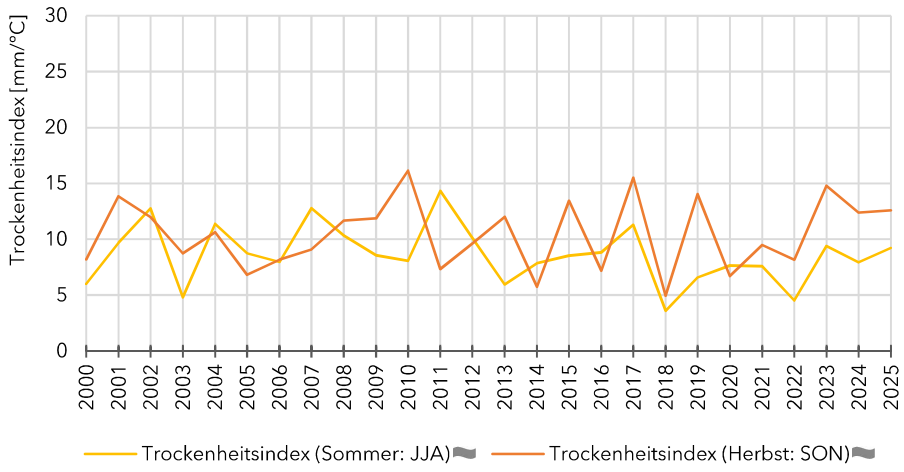
---

[615] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[616] Quellenangaben dieser Art verweisen grundsätzlich auf Abbildungen in der im Vorfeld dieser Klimarisikoanalyse erstellten und veröffentlichten Klimaanalyse, s. Fußnote 615.

[617] Emmanuel-Louis-Eugène de Martonne veröffentlichte im Jahr 1926 seine Arbeit „Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité". Der von ihm entwickelte Trockenheitsindex dient der Bewertung der pflanzenphysiologischen Wirkung des Niederschlags in unterschiedlichen Klimaten. Der Trockenheitsindex nach de Martonne ist definiert als dMI = P/(T+10), wobei P der Niederschlag des Bezugszeitraums in mm und T die Mitteltemperatur des Bezugszeitraums in °C ist. Der Faktor 10 im Nenner dient der Vermeidung negativer Nenner-Werte. Der Index liefert sowohl bezüglich der räumlichen Verteilung trockener Gebiete als auch mit Blick auf den Jahresgang der Trockenheit sehr ähnliche Werte wie die klimatische Wasserbilanz. (Bernhofer C., Hänsel S., Schaller A., Pluntke T. 2015: Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung von meteorologischer Trockenheit. Schriftenreihe des LfULG, Heft 7/2015: S. 31 und 149f. https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/24200)

[618] Die Trendanalyse wurde von Bosch & Partner vorgenommen. Das Ergebnis der Trendanalyse wird mithilfe von Symbolen in der Legende des Diagramms dargestellt. Zur Bedeutung der Symbole und der Methodik der Trendanalyse s. Klimaanalyse, s. Fußnote 615: S. 1.



Quelle: DWD (CDC),
Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 94: Saisonale Trockenheit in Schleswig-Holstein (Sommer: Juni bis August (JJA), Herbst: September bis November (SON))

Wie beschrieben ist für den Abfluss von Fließgewässern auch die Art des Niederschlags von Bedeutung. Fällt ein großer Anteil des Niederschlags einer Jahreszeit als Starkregen[619] oder **starker Niederschlag**, fließt viel davon oberflächlich ab und wird direkt abflusswirksam. Nur ein geringer Teil kann verdunsten oder in den Boden versickern. Das kann Niedrigwasserphasen verhindern oder abmildern. Andererseits schwankt der Abfluss in den Fließgewässern stark, wenn sich Trockenphasen mit starken Niederschlägen abwechseln. Dies kann insbesondere in den Sommermonaten der Fall sein, wenn der Niederschlag hier zunehmend als Starkregen fällt. Stark schwankende Abflüsse können den Sedimenttransport in ansonsten ruhig fließenden Bächen und Flüssen und damit die Lebensräume am Grund der Gewässer verändern. Starkregen können auch Feinsedimente von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Straßen in die Fließgewässer eintragen und so beispielsweise die Porenräume kiesgeprägter Gewässerböden verstopfen (Kolmation). Dies nimmt Lebensräume für jene Arten, die im Porenraum zwischen den Kiessteinchen leben.[620] Kolmation führt zudem zu Laichplatzverlust und gestörten Selbstreinigungsprozessen. Dies ist insbesondere für die kiesgeprägten Bäche und Flüsse von Bedeutung, die es vor allem im Schleswig-Holsteiner Hügelland und vereinzelt im Bereich der Geest gibt (siehe Abbildung 97). Auch die Trübung des Freiwassers durch Feinsedimente kann ökologische Folgen haben, da sie das Lichtregime für die Gewässerflora temporär, aber regelmäßig und damit wirksam verschlechtern kann. Zudem können sich vor allem feine Sedimentpartikel auch auf den Unterwasserpflanzen und das Phytobenthos[621] ablagern und so die Photosyntheseleistung zusätzlich verringern.

Starke Niederschläge sind ökologisch auch deshalb bedeutsam für Oberflächengewässer, weil sie Nährstoffe von landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer einspülen können. Fließgewässer sind gegenüber Eutrophierung weniger sensitiv als stehende Gewässer, aber gerade in den in Schleswig-Holstein häufig vorkommenden Fließgewässern mit geringem Gefälle und daher geringer Fließgeschwindigkeit kann ein Nährstoffüberschuss das Algenwachstum fördern. Ein übermäßiges Algenwachstum kann die Kolmation befördern, die Photosynthese von Wasserpflanzen beeinträchtigen, wenn die Algen Teppiche ausbilden und so zur Verschattung beitragen, und die Sauerstoffzehrung verstärken. Ein durch Nährstoffüberschuss verursachtes übermäßiges Algenwachstum stresst also das Ökosystem, dass daraufhin gegebenenfalls schon mit einer Vorbelastung in eine sommerliche Niedrigwassersituation geht und sich deshalb weniger gut anpassen kann. Die jährliche Anzahl von Tagen mit starkem Niederschlag (definiert als Tage mit mindestens 20 mm Niederschlag) zeigt in der Klimaanalyse im Zeitraum 1951–2023 in Schleswig-Holstein keinen Trend aber einen deutlichen regionalen Schwerpunkt in der Region um die Stadt Schleswig (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 14 und 15).

[619] Tage mit starkem Niederschlag sind nicht gleichzusetzen mit Starkregenereignissen. Es ist aber üblich, in Klimaanalysen und Klimarisikoanalysen die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag (≥ 20 mm Niederschlag an einem Tag) als Proxyindikator für Tage mit Starkregenereignissen zu verwenden. Eine Projektion von Starkregenereignissen an sich ist aktuell noch nicht möglich. Und auch eine Zeitreihe historischer Ereignisse kann nicht weit zurückreichen, weil Starkregenereignisse häufig sehr lokal sind und daher mit klassischen Wetterstationen nicht vollständig erfasst werden können. Seit dem Jahr 2001 erfasst der DWD Starkregenereignisse flächendeckend mithilfe der Radarklimatologie. Für nähere Informationen hierzu siehe Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" im Handlungsfeld „Stadt- und Siedlungsentwicklung". Landesweit betrachtet, zeigt sich für Schleswig-Holstein bisher kein statistisch signifikanter Trend in dieser Zeitreihe.

[620] LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt 2017: Zu viel Feinmaterial in den Fließgewässern: Was kann die Gemeinde tun? Arbeitshilfe. https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaessernachbarschaften/themen/feinmaterialeintrag/doc/arbeitshilfe_feinmaterial.pdf

[621] Als Phytobenthos wird die pflanzliche Lebensgemeinschaft des Gewässerbodens bezeichnet. (Spektrum Akademischer Verlag 2000: Lexikon der Geowissenschaften: Phytobenthon. https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/phytobenthon/12273)

Die jährliche **Anzahl der Schneedeckentage** (Tage mit einer Schneedecke von mindestens 1 cm Höhe) ist in Schleswig-Holstein seit 1951 signifikant gesunken (siehe Klimaanalyse, Abbildung 16). Das heißt, dass der Niederschlag im Winter immer häufiger direkt abflusswirksam wird. Im Mittel der Jahre 1961–1990 gab es in Schleswig-Holstein im Landesdurchschnitt noch rund 33 Schneedeckentage pro Jahr.[622] Im 30-jährigen Mittel des Zeitraums 1991–2020 waren es nur noch etwa 19 Schneedeckentage.[623] Bei dieser im bundesweiten Vergleich geringen Anzahl von Schneedeckentagen, ist die hydrologische Bedeutung von Schnee für den Abfluss der Fließgewässer des Landes vergleichsweise gering. Da jedoch zusätzlich der Niederschlag im (hydrologischen) Winter zunimmt, könnten winterliche Niedrigwassersituationen künftig seltener sein, auch wenn sich aktuell ein entgegengesetzter Trend abzeichnet (siehe Monitoring zur Klimawirkung). Diese Risikoanalyse fokussiert daher auf sommerliche Niedrigwassersituationen.

Neben den Niederschlagsverhältnissen ist die **Lufttemperatur** ein relevantes Klimasignal. Sie beeinflusst nicht nur die Wassertemperatur der Fließgewässer, sondern auch, wie viel Wasser aus den Gewässern verdunstet (Evaporation) und wie hoch die Evapotranspiration ist, das heißt wie viel Niederschlag überhaupt abflusswirksam werden kann. Führen Fließgewässer wenig Wasser, erwärmt sich das Wasser bei hohen Lufttemperaturen stärker. Die Wassertemperatur steuert den Metabolismus der häufig wechselwarmen Wasserorganismen sowie viele ihrer phänologischen Ereignisse. So wird bei Fischen beispielsweise häufig der Zeitpunkt für Paarung und Eiablage durch die Wassertemperatur bestimmt. Die Wassertemperatur ist auch entscheidend für die Dauer bis zum Schlüpfen der Larven. Zum Teil hängt das Funktionieren von Nahrungsketten an diesen Prozessen. Wärmetolerante Arten der Gewässerflora bekommen einen Konkurrenzvorteil und können als Folge des Klimawandels früher im Jahr und/oder ausgeprägter (schneller) wachsen, was unter anderem die Biodiversität gefährden kann, da konkurrenzschwächerer Wasserpflanzen- und Algenarten verdrängt werden. Auch kann eine möglicherweise gesteigerte Pflanzen- beziehungsweise Algenmasse aus ökologischer Sicht zum Problem werden. Ihre Zersetzung kann zu Sauerstoffmangel im Wasser führen (Eutrophierung). Die Wassertemperatur bestimmt zudem, wie viel Sauerstoff das Wasser binden kann und somit die Atmungsbedingungen der Wasserfauna. Vergleicht man die durchschnittliche Lufttemperatur (ganzjährig) der Dekade 2014-2023 mit der durchschnittlichen Lufttemperatur (ganzjährig) der Dekade 1964-1973 lag sie regional um bis zu 2 °C höher.[624] Auch die Anzahl der **Heißen Tage** (Tage mit einer Höchsttemperatur der Luft von mindestens 30 °C) steigt in Schleswig-Holstein signifikant an (siehe Klimaanalyse, Abbildung 6). In den besonders heißen Jahren 1994 oder 2018 gab es mehr als 10 solcher Tage, im Mittel waren es im Zeitraum 1991–2020 3,6 im Jahr. Dabei zeigt die Anzahl der Heißen Tage in Schleswig-Holstein ein deutliches Süd-Nord-Gefälle. Im Kreis Herzogtum Lauenburg gab es im Zeitraum 1994–2023 im Mittel acht Heiße Tagen im Jahr.

Neben dem oben vorgestellten Trockenheitsindex nach de Martonne gibt es eine weitere Möglichkeit, das potenzielle Wasserdargebot in erster Annäherung abzubilden. Die **klimatische Wasserbilanz** (KWB)[625] berücksichtigt nicht nur Niederschlag und Temperatur, sondern beispielsweise auch die Windgeschwindigkeit, indem eine berechnete Grasreferenzverdunstung nach FAO[626] eingeht. Abbildung 95 zeigt, dass sich die klimatische Wasserbilanz in den vergangenen Jahrzehnten in Schleswig-Holstein bereits leicht verändert hat. Auch hier ist zu erkennen, dass der Osten des Landes trockener ist als der Westen. An der östlichen Landesgrenze war die klimatische Wasserbilanz besonders niedrig, vor allem auf Fehmarn. Vergleichsweise hohe Werte (über 300 mm) zeigten im Zeitraum 1961-1990 vor allem (jeweils in Teilen) die Schleswiger Vorgeest, das südliche Angeln, die Bredstedt-Husumer Geest und die Heide-Itzehoer Geest. Im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 war die klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991-2020 fast landesweit höher. Die höchsten Werte

[622] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 615: S. 9

[623] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 615: S. 9

[624] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 615: S. 9

[625] Die Definition der KWB geht auf Arbeiten von Kuhnke (1936) und Thornthwaite (1948) zurück. Sie wird aus der korrigierten Niederschlagssumme für einen Betrachtungszeitraum und der potenziellen Verdunstung im gleichen Zeitraum berechnet: KWB = P – ETP, mit P für den Niederschlag des Bezugszeitraums in mm und ETP für die potenzielle Evapotranspiration im gleichen Zeitraum. (Bernhofer et al. 2015, s. Fußnote 617: S. 31) Als Wert für die potenzielle Evapotranspiration wird häufig die FAO Grasreferenzverdunstung eingesetzt (s. Fußnote 626).

[626] „Die FAO Grasreferenzverdunstung ist eine international gebräuchliche Berechnungsform und wird häufig als Referenz oder für Normierungszwecke der Verdunstung verwendet. […] Die Ansätze gelten für eine normierte Grasfläche, die sich im Laufe des Jahres nicht ändert. Für die Berechnung werden viele unterschiedliche Tageswerte als Input benötigt, die zum Teil nicht gemessen und daher abgeleitet werden müssen. Die Tagesmitteltemperatur und der mittlere Dampfdruck des Tages werden mithilfe der Minimum- und Maximumtemperatur der Luft berechnet, das Tagesmittel der Windgeschwindigkeit wird auf 2 m heruntergerechnet, außerdem wird das Tagesmittel der relativen Feuchte verwendet und die Strahlungsbilanz wird mithilfe der Globalstrahlung als Inputgröße berechnet." (DWD – Deutscher Wetterdienst 2023: Datensatzbeschreibung. Tägliche Raster der FAO Grasreferenzverdunstung: S. 1. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/evaporation_fao/BESCHREIBUNG_gridsgermany_daily_evaporation_fao_de.pdf)

der KWB (über 400 mm) wurden bei Flensburg, Brunsbüttel und in Teilen der Heide-Itzehoer Geest erreicht. Die niedrigste klimatische Wasserbilanz wiesen Fehmarn und Teile des Naturraums Nordoldenburg auf.

Da die klimatische Wasserbilanz Temperatur und Niederschlag in einer Darstellung zusammenführt, wird sie für die Operationalisierung der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" genutzt. Die Art des Niederschlags kann mit ihr nicht abgebildet werden.

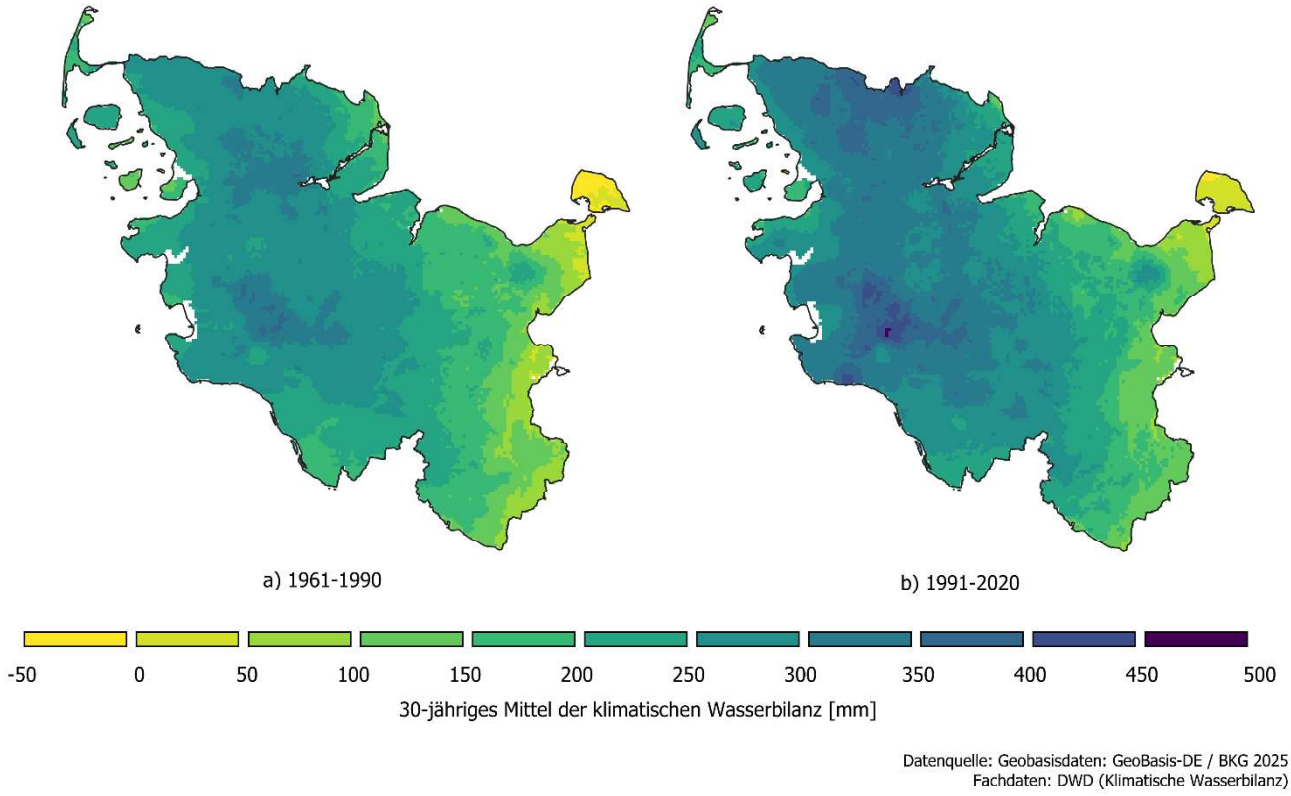


Abbildung 95: Entwicklung des langjährigen Mittels der KWB in Schleswig-Holstein, Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020

13.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

13.4.3.1 Exposition

Als Exposition geht in die Klimarisikoanalyse die Lage der Fließgewässer in Schleswig-Holstein ein. Schleswig-Holstein ist ein gewässerreiches Bundesland mit **rund 30.000 km Fließgewässern**.[627] Diese sind gleichmäßig über das Land verteilt. Abbildung 96 zeigt die Wasserkörper nach WRRL[628]. Darüber hinaus gibt es noch zahlreiche kleinere Fließgewässer, die in Abbildung 96 der Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellt werden.

Die Lage der Fließgewässer wird für die Klimarisikoanalyse nicht projiziert. Relevante Veränderungen der Lage der schleswig-holsteinischen Fließgewässer bis zur Mitte des Jahrhunderts werden nicht erwartet.

[627] MEKUN 2022: Flüsse und Bäche.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/fluesse-und-baeche

[628] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

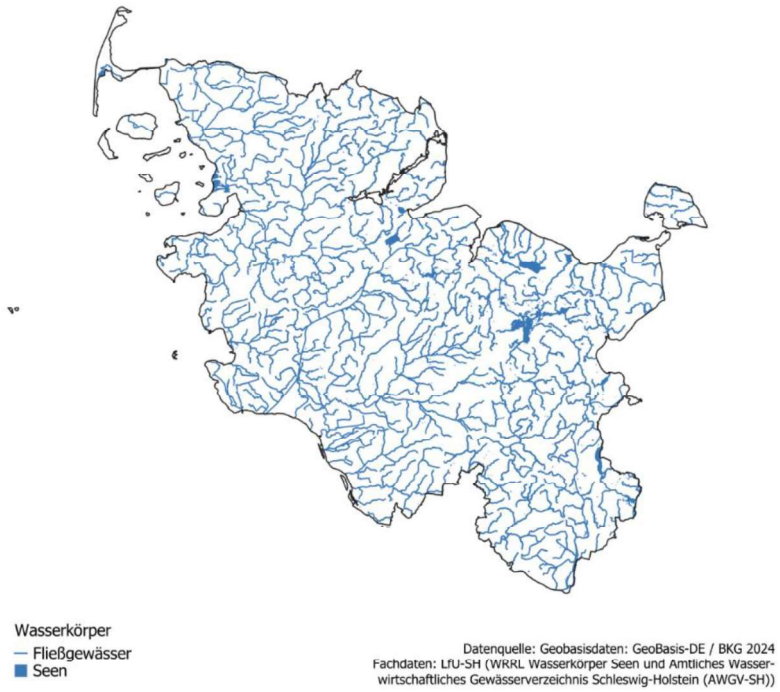


Abbildung 96: Fließgewässer und Seen in Schleswig-Holstein

13.4.3.2 Sensitivität

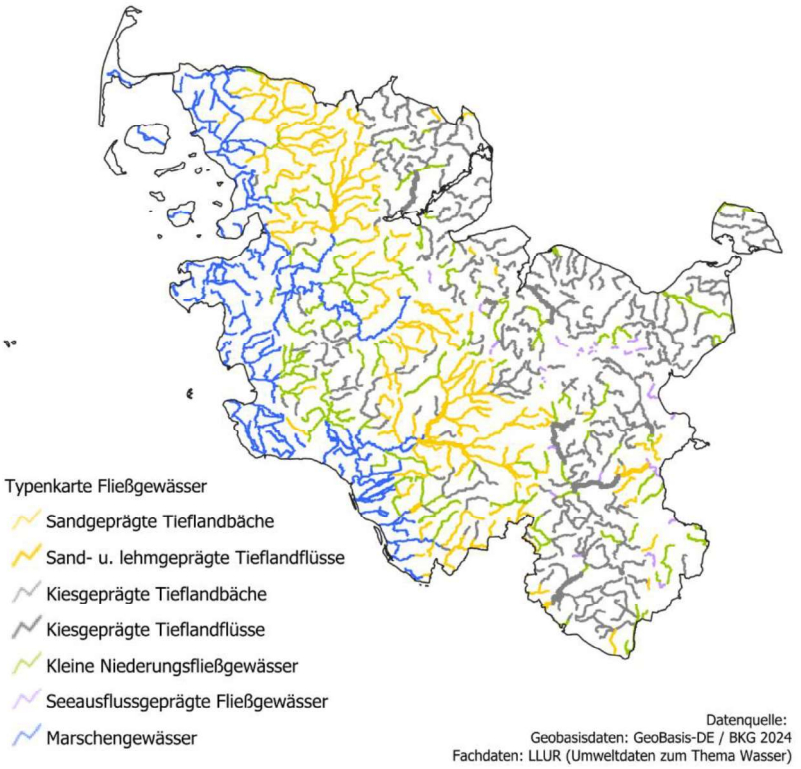


Abbildung 97: Fließgewässertypen in Schleswig-Holstein

Es gibt verschiedene Faktoren, die die Sensitivität der Fließgewässer und ihrer Ökosysteme gegenüber Niedrigwasser bestimmen. Beispielsweise fallen Bäche in Trockenperioden schneller trocken als Flüsse, die insgesamt einen höheren Abfluss und zudem ein deutlich größeres Einzugsgebiet haben. Abbildung 97 zeigt, dass Bäche (dünnere Linien) in Schleswig-Holstein deutlich häufiger sind als Flüsse (dickere Linien). Ein weiterer Faktor ist die **Grundwasserbürtigkeit** der Gewässer.[629] Sie bestimmt, ob ein Fließgewässer nur durch Oberflächenabfluss gespeist wird oder auch durch das Grundwasser. Fließgewässer, insbesondere Bäche, deren Abfluss nur zu einem geringen Teil oder gar nicht vom Grundwasser gespeist

[629] Brunke 2008, s. Fußnote 608

werden, sind gegenüber Trockenperioden deutlich sensitiver. Eine Auswertung von Willems et al. (2004)[630] zeigt, dass solche Bäche in der hohen Geest und dem östlichen Hügelland entspringen (siehe Abbildung 2). Willems et al. nutzen den Baseflow-Index (BFI), ein Maß zur Berechnung des Basisabflusses eines Fließgewässers, der sich aus dem Grundwasser und dem Zwischenabfluss speist, um die Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer des Landes in drei Klassen einzuteilen: gering (BFI ≤ 0,780), mittel (0,780 < BFI ≤ 0,799) und stark (BFI > 0.799). Sie verwenden hierfür (Oberflächen-)Pegeldaten, was mit Unsicherheiten bei der räumlichen Zuordnung behaftet ist. Aufbauend auf ihre Analysen zur Grundwasserbürtigkeit haben sie sieben Abflussregime-Typen in Schleswig-Holstein identifiziert, die sich anhand ihrer Grundwasserbürtigkeit, des Sättigungsabflussanteils, des Grundwasserflurabstands und der Geschwindigkeit der Entleerung des Grundwasserspeichers in Trockenzeiten unterscheiden. Der Sättigungsabflussanteil beschreibt dabei, welcher Anteil des Abflusses des jeweiligen Fließgewässers aus Oberflächenabfluss aufgrund einer Sättigung der Böden mit Wasser gewonnen wird. Der Grundwasserflurabstand gibt an, wie tief das Grundwasser unter dem Gelände liegt. Die sieben Abflussregime-Typen werden in Tabelle 4 näher beschrieben. Von den Typen H2 bis G1 nimmt das Risiko der Austrocknung während sommerlicher Trockenwetterphasen zu. Besonders hoch ist das Risiko in Teilen der Geest und des Hügellandes im Landesinneren.

Tabelle 55: Abflussregime-Typen in Schleswig-Holstein nach Willems et al. 2004, zitiert nach Brunke 2008, s. Fußnote 608: S. 55

Typenname	**Grundwasserbürtigkeit**	**Untertyp**
H 2	Hoch	Sättigungsabflussanteil hoch, Grundwasserflurabstand gering, Speicherentleerung langsam
H 1	Hoch	Sättigungsabflussanteil gering, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung langsam
M 3	Mittel	Sättigungsabflussanteil sehr hoch, Grundwasserflurabstand sehr gering, Speicherentleerung mittelschnell
M 2	Mittel	Sättigungsabflussanteil mittel, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung mittelschnell
M 1	Mittel	Sättigungsabflussanteil sehr gering, Grundwasserflurabstand sehr hoch, Speicherentleerung mittelschnell
G 2	Gering	Sättigungsabflussanteil hoch, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung schnell
G 1	Gering	Sättigungsabflussanteil mittel, Grundwasserflurabstand mittel, Speicherentleerung sehr schnell

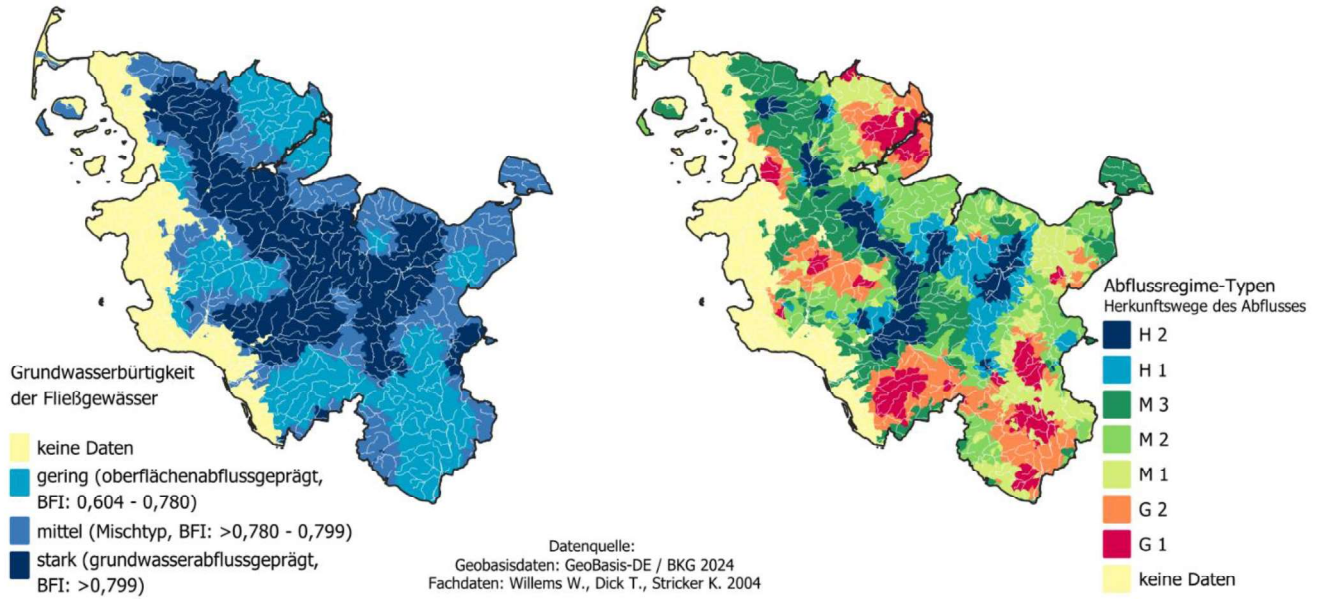


Abbildung 98: links: Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer; rechts: Räumliche Verteilung der Abflussregime-Typen

[630] Willems W., Dick T., Stricker K. 2004: Statistische Regionalisierung von Hochwasserabflüssen, Abflussregimen und ökologischen Indizes in Schleswig-Holstein. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein.

Es besteht die Möglichkeit, dass sich die Grundwasserbürtigkeit der Fließgewässer mit dem fortschreitenden Klimawandel und aufgrund anthropogener Nutzungen verändert, weil die Grundwasserstände sinken[631]. Für die Klimarisikoanalyse (Kapitel 13.4.4.2) stehen jedoch keine Projektionen der Grundwasserbürtigkeit zur Verfügung.

Eine **anthropogene Regelung des Abflusses** beispielsweise über Stauvorrichtungen kann den Abfluss auch in Niedrigwassersituationen stark verändern. Oberhalb der Anlage kann ein extrem niedriger Wasserstand durch ein Aufstauen möglicherweise verhindert werden, unterhalb der Anlage würde dies die Niedrigwassersituation jedoch noch verstärken. In Schleswig-Holstein gibt es zahlreiche aufstauende sowie künstlich entwässernde Bauwerke an den Fließgewässern. Pauschal kann das reine Vorhandensein eines solchen Bauwerks keinen Hinweis auf eine größere Sensitivität von Fließgewässern und ihren Ökosystemen gegenüber Niedrigwasser geben. Für viele von ihnen gilt, dass der Betrieb flexibel gestaltet werden kann und sie damit in Niedrigwassersituationen auch zum Erhalt höherer Wasserstände (oberhalb des Bauwerks) genutzt werden können. Eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Bauwerke, ihres Zwecks und ihrer Nutzung ist notwendig, um ihren Einfluss auf die Sensitivität zu bestimmen. Dies übersteigt die Möglichkeiten einer landesweiten Klimarisikoanalyse, weshalb Informationen zur Lage dieser Bauwerke nicht in die Operationalisierung der hier analysierten Klimawirkung eingehen. Für lokale Analysen aber wären es relevant, Informationen zu vorhandenen Bauwerken einfließen zu lassen.[632]

Wie oben beschrieben, ist Niedrigwasser auch von Relevanz für die **Gewässerchemie**. Sinkt der Abfluss, werden eingeleitete Stoffe weniger stark verdünnt und belasten das Ökosystem mehr. Andererseits ist Niederschlag ein bedeutender Eintragspfad für viele Nähr- und Schadstoffe, der in Trockenperioden ausbleibt.

Gewässer, die generell eine schlechtere Wasserqualität aufweisen, haben eine ungünstigere Ausgangssituation in Niedrigwasserphasen. Ein ohnehin gestresstes Ökosystem reagiert sensitiver auf zusätzlichen Stress. Eine Vorbelastung der Fließgewässer in Schleswig-Holstein mit Chemikalien wie Medikamentenrückständen, Metallen oder Pestiziden ist landesweit gegeben. Um die Anforderungen der WRRL zu erfüllen, hat die EU über die Umweltqualitätsnorm-Richtlinie (EG-UQN-RL) 50 Stoffe und Stoffgruppen bestimmt, die den chemischen Zustand der Gewässer definieren und deren Vorkommen in den Gewässern regelmäßig erhoben werden muss.[633] In Deutschland erfolgte dies zuletzt im Zuge des 3. Zyklus der WRRL (2022-2027). In der Gesamtbewertung wurde für alle Gewässer des Landes (und des Bundes) ein schlechter chemischer Zustand festgestellt. Differenzierter wird der Blick, wenn die in Anlage 8 (Spalte 7) der Oberflächengewässerverordnung (OGewV)[634] definierten ubiquitären Stoffe[635] nicht mit betrachtet werden. Nimmt man diese Stoffe aus, gilt der chemische Zustand vieler Fließgewässer in Schleswig-Holstein als gut. Nur einzelne Gewässer haben einen schlechten chemischen Zustand, beispielsweise die Silberstedter Au und der Nordhastedter Mühlenbach (siehe Abbildung 99).

[631] Dass die Grundwasserstände sinken, zeigt der Klimafolgenmonitoring-Indikator WW-I-1 „Grundwasser" (Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/grundwasser.pdf). Siehe auch Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit".

[632] Als Ausgangpunkt für die Berücksichtigung dieser Bauwerke in einer lokalen Analyse kann das Digitale Anlagenverzeichnis (DAV) im Amtlichen Wasserwirtschaftlichen Gewässerverzeichnis (AWGV) genutzt werden. Hier sind unter anderem Lagedaten und weitere Hinweise zu Stauanlagen mit den zugeordneten Unteranlagenarten „Kulturwehr" (UAA 21), „Stauanlage" (UAA 120), „Wehr zum Befüllen und Entleeren von Speicherbecken" (UAA 22) sowie „bewegliches Wehr zur Regulierung des Wasserstandes" (UAA 107) enthalten. Das AWGV enthält auch einen Datensatz zu den künstlich entwässernden Bauwerken. Nähere Informationen zum AWGV: https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuid=b1ad8bc8-b9b1-450f-84f8-2444a350a85b&q=flie%C3%9Fgew%C3%A4sser

[633] UBA – Umweltbundesamt 2023: Chemischer Zustand der Fließgewässer. https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/chemischer-zustand-der-fliessgewaesser#der-chemische-zustand-der-gewsser; Die Liste der Stoffe findet sich hier: Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. Anhang I. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008L0105-20130913#tocId23

[634] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung - OGewV): Anlage 8. https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/anlage_8.html

[635] „Ubiquitär" heißt allgegenwärtig. Das heißt, es handelt sich hierbei um Schadstoffe, die in der Umwelt so weit verbreitet sind, dass die ohnehin überall vorkommen, wie bromierte Diphenylether, Quecksilber und Quecksilberverbindungen oder polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).

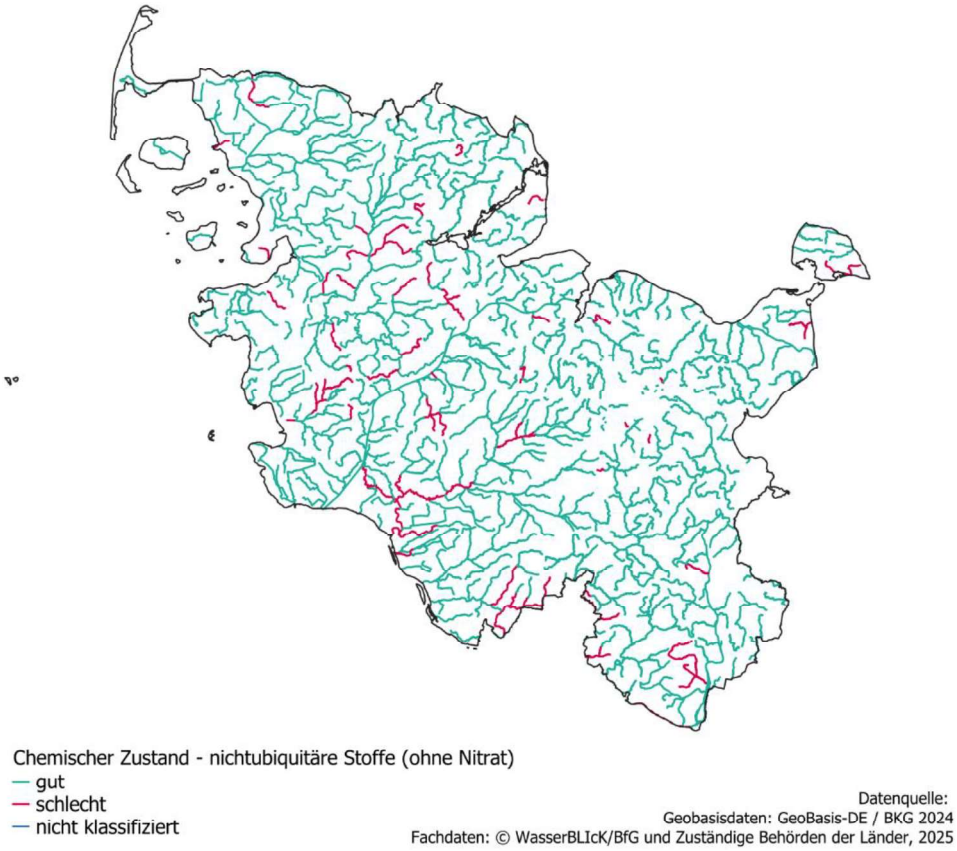


Abbildung 99: Chemischer Zustand der Fließgewässer in Schleswig-Holstein (ohne ubiquitäre Stoffe und Nitrat)

Nährstoffe sind für die Sensitivität der Fließgewässer und ihrer Ökosysteme gegenüber Niedrigwasser von Bedeutung, weil sie die Eutrophierung von Gewässern verstärken. Stickstoff- und Phosphorverbindungen werden von landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer eingetragen. Stickstoffverbindungen werden vor allem durch Drainagen, Sickerwasser und Grundwasser in die Fließgewässer eingetragen. Der Gesamtstickstoffgehalt meint in Gewässern vor allem Nitrat-, Ammonium-, und Nitritstickstoffe. Die Quellen von Stickstoffverbindungen sind vielfältig, zu ihnen gehören Mineraldünger, Gülle und Kläranlagen. Phosphorverbindungen erreichen die Fließgewässer häufig mit dem Oberflächenabfluss und aufgrund von Bodenerosion, weil Phosphor partikelgebunden ist. Vor allem im östlichen Hügelland von Schleswig-Holstein sind die Fließgewässer auf diese Weise belastet. In der Gruppe der Phosphate ist vor allem das Orthophosphat von Bedeutung, das besonders reaktiv und ein wichtiger Pflanzennährstoff ist. Orthophosphat ist die Phosphorverbindung, die am besten bioverfügbar ist und dadurch in einem naturnahen Ökosystem auch limitierend wirkt.

Mit Orthophosphat sind vor allem Fließgewässer entlang der Nordseeküste, auf Fehmarn und im südlichen Schleswig-Holsteinischen Hügelland belastet. Auch darüber hinaus gibt es einzelne Gewässer mit einer Jahreskonzentration über 0,2 mg/l Orthophosphat (siehe Abbildung 100). Mit Stickstoff belastete Gewässer gibt es im gesamten Schleswig-Holsteinischen Hügelland und vereinzelt in anderen Regionen des Landes (siehe Abbildung 101).

Die Umweltziele der WRRL für die Küstengebiete können aber nur erreicht werden, wenn die Jahresmittelkonzentration des Gesamtstickstoffs in den Fließgewässern nicht mehr als 2,6 mg/l (Ostsee) beziehungsweise 2,8 mg/l (Nordsee) beträgt.[636] Diese Zielwerte können laut LAWA-Handlungsanweisung für die Ermittlung von Minderungsbedarfen in Schleswig-Holstein für alle Fließgewässer angesetzt werden. Für Orthophosphat (Abbildung 100) gelten als Orientierungswerte für den guten ökologischen Zustand je nach Fließgewässertyp Werte zwischen 0,012 bis 0,2 mg/l.[637]

[636] LLUR (Hrsg.) 2014: Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins Entwicklung und Bewirtschaftungsziele: S. 28. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/W/wasserrahmenrichtlinie/Downloads/weitere_Dokumente/10_NaehrstoffeGewaesser.pdf

[637] LLUR 2014, s. Fußnote 636: S. 28

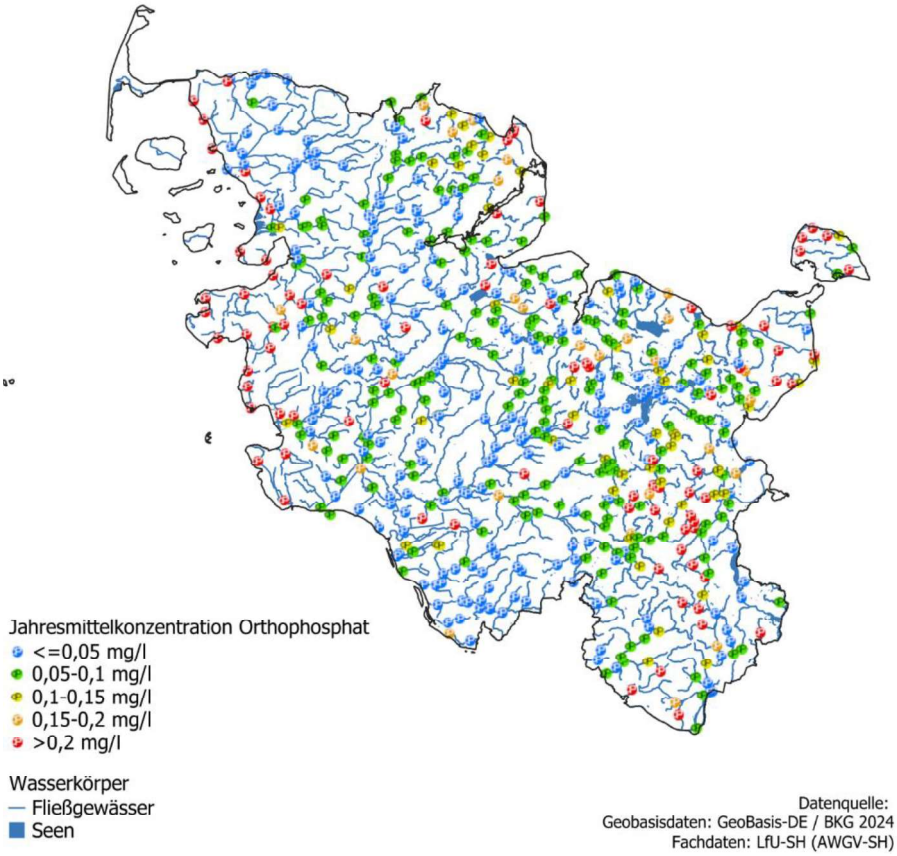


Abbildung 100: Jahresmittelkonzentration von Orthophosphat in den Fließgewässern Schleswig-Holsteins

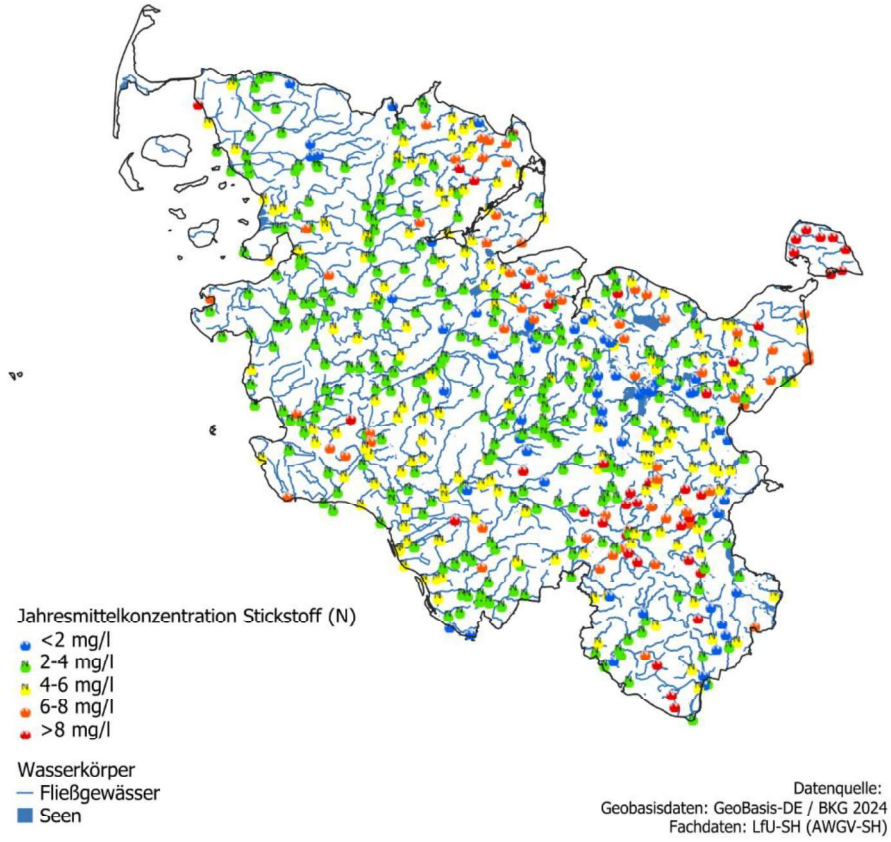


Abbildung 101: Jahresmittelkonzentration von Stickstoff in den Fließgewässern Schleswig-Holsteins

Eine weitere Quelle von Nähr-, Zehr- und Spurenstoffen können **Einleitungen** aus kommunalen Kläranlagen sowie gewerbliche oder industrielle Direkteinleitungen sein. Abbildung 102 zeigt die Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen in Schleswig-Holstein. Zu sehen ist, dass es landesweit zahlreiche Einleitungsstellen gibt. Im Hamburger Ring und in anschließenden Naturräumen ist die Zahl der Einleitungsstellen vergleichsweise gering. Eine besonders hohe Dichte an Einleitungsstellen gibt es östlich davon im Gebiet Bad Segeberg / Lübeck bis Lauenburg. Abwässer aus Kläranlagen sind nicht vollständig gereinigt. In konventionellen mechanisch-biologischen Kläranlagen (1. bis 3. Reinigungsstufe) erfolgt keine gezielte Entfernung von Spurenstoffen. Einige Spurenstoffe werden in diesen Kläranlagen trotzdem (teilweise oder vollständig) abgebaut, andere jedoch gar nicht. Wie stark ein Spurenstoff entfernt wird, hängt von den jeweiligen stoffspezifischen Eigenschaften ab. Nicht eliminierte Spurenstoffe gelangen über das gereinigte Abwasser in die Gewässer. Gemäß novellierter Kommunalabwasserrichtlinie (KARL) werden zukünftig bestimmte Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe, die der gezielten Spurenstoffelimination dient, auszurüsten sein. Die KARL gibt neben dieser Ausbaupflicht ein Mindesteliminationsziel für bestimmte Spurenstoffe, sogenannte Indikatorenstoffe, vor. Zusätzlich zu den emissionsbezogenen Anforderungen der novellierten KARL spielen bei der Beurteilung von Abwassereinleitungen auch die Immissionsanforderungen aus der WRRL eine wichtige Rolle. Während die KARL ein verbindliches Eliminationsziel von mindestens 80 % für definierte Indikatorenstoffe vorgibt, legt die WRRL Umweltqualitätsnormen für Gewässer fest, die für die Beurteilung des chemischen Zustandes herangezogen werden. In der WRRL sind aktuell 50 prioritäre Stoffe geregelt, darunter Industriechemikalien, PAK und PFAS. Arzneimittel werden in der WRRL aktuell nicht berücksichtigt, zukünftig aber voraussichtlich über die Novellierung der Tochterrichtlinie EG-UQN-RL mit aufgenommen.[638] Das Vorhandensein von Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen kann ein Hinweis auf eine Vorbelastung mit solchen Spurenstoffen sein, insbesondere für lokale Klimarisikoanalysen. Einleitungen aus Kläranlagen können zudem die Wassertemperatur des Gewässers erhöhen, in das eingeleitet wird. In sommerlichen Niedrigwasserperioden, in denen die Ökosysteme der Fließgewässer ohnehin unter steigenden Wassertemperaturen leiden, ist dies eine zusätzliche Belastung der Gewässer unterhalb der Einleitungsstellen.

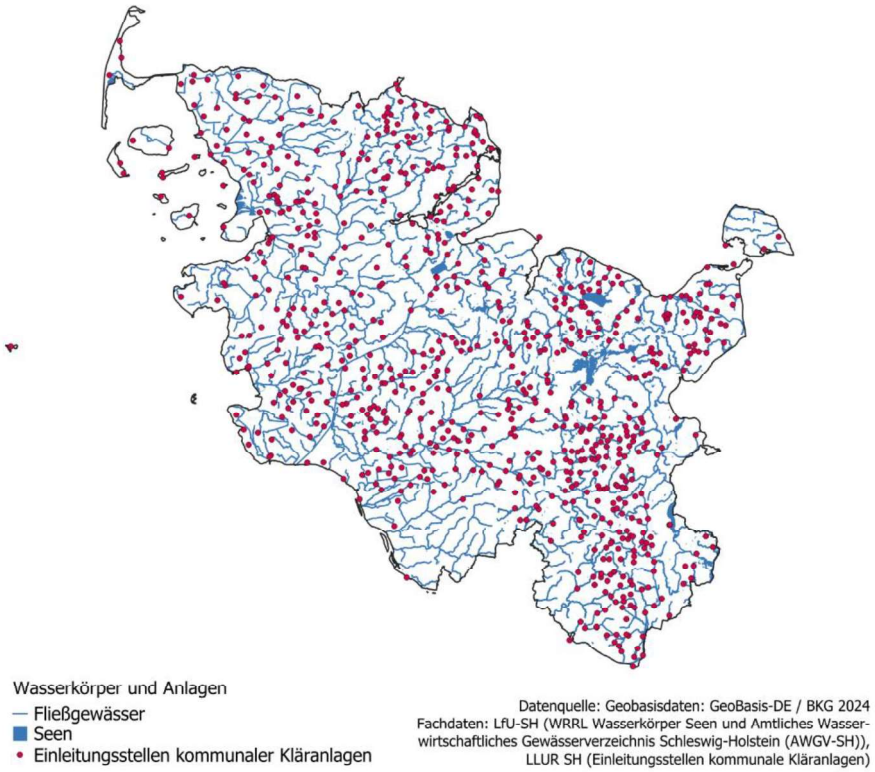


Abbildung 102: Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen in Schleswig-Holstein

Die Menge der Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen zeigt, dass eine Berücksichtigung dieses Sensitivitätsfaktors in einer Klimarisikoanalyse auf Landesebene nur bedingt sinnvoll ist. Es gibt nur wenige Fließgewässer, die nicht vorbelastet sind und diese Analyse betrachtet eher Regionen als einzelne Wasserkörper. Regionen mit besonders geringer Dichte oder besonders hoher Dichte an solchen Einleitungsstellen sollten aber bei der Analyse der Klimawirkung im Blick behalten werden. Für lokale Klimarisikoanalysen sind diese Informationen hingegen von größerer Bedeutung.

[638] Im September 2025 haben sich der Europäische Rat und das Europäische Parlament darauf geeinigt, die Liste dieser prioritären Stoffe unter anderem um bestimmte Arzneimittelstoffe wie Diclofenac zu erweitern (Rat der Europäischen Union 2025: Wasserverschmutzung: Rat und Parlament erzielen vorläufige Einigung über die Aktualisierung prioritärer Stoffe in Oberflächengewässern und Grundwasser. Pressemitteilung vom 23. September 2025. https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2025/09/23/water-pollution-council-and-parliament-reach-provisional-deal-to-update-priority-substances-in-surface-and-ground-waters/).

Der chemische Zustand der Fließgewässer wird für die Klimarisikoanalyse nicht projiziert. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch Mitte des Jahrhunderts belastende Chemikalien im Wasser der Fließgewässer gelöst sind. Für viele Schadstoffe, insbesondere für ubiquitäre Stoffe oder für sogenannte Ewigkeitschemikalien, gilt, dass sie aus der Umwelt nicht oder nur über sehr lange Zeiträume entfernt werden können.

13.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

13.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Das Indikatorset zum Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein beinhaltet einen Indikator zum Niedrigwasser (WW-I-4 Niedrigwasser[639]). Er wurde aus Daten von acht Abflusspegeln in den Flussgebieten von Eider, Schlei / Trave und Elbe berechnet. Kriterium für die Auswahl der Pegel war unter anderem, dass sie möglichst wenig anthropogen beeinflusst sind. Betrachtet wird jeweils das wasserhaushaltliche Jahr vom 01. April bis zum 31. März des Folgejahrs. Das hat den Vorteil, dass langanhaltende Niedrigwassersituationen, die im Frühjahr oder Sommer entstehen und bis in den nächsten Herbst und Winter andauern können, in voller Länge einem Jahr zugeordnet werden.

Die Zeitreihe zeigt, dass immer wieder Jahre mit vielen Niedrigwassertagen auftraten (siehe Abbildung 103). Niedrigwasserereignisse sind im Sommer deutlich üblicher als im Winter. Im Jahr 1996 folgte auf ein Rekordniederschlagsdefizit im Winter ein niederschlagsarmes Sommerhalbjahr und somit eine Rekordanzahl von Niedrigwassertagen. Auch die aufeinanderfolgenden heißen und trockenen Jahre ab 2018 zeigten vergleichsweise viele Niedrigwassertage. Es muss davon ausgegangen werden, dass es in zahlreichen Bächen Schleswig-Holsteins in solchen Jahren zu kritischen Situationen für die Ökosysteme der Fließgewässer kam.

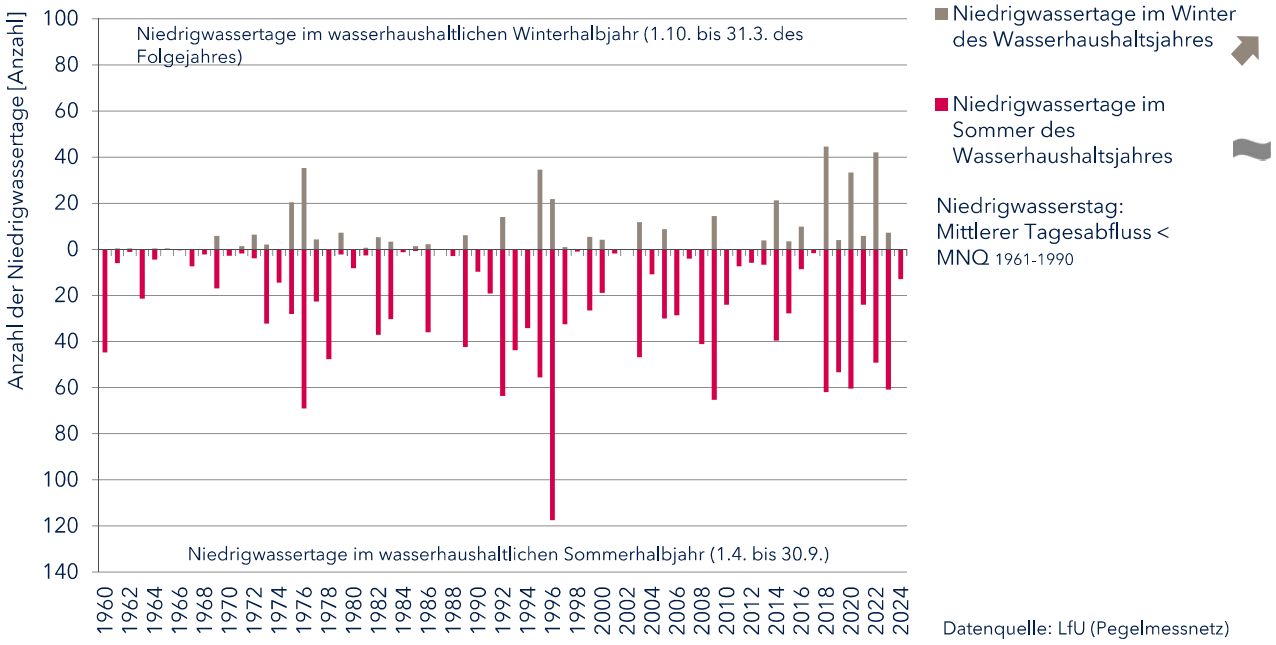


Abbildung 103: Klimafolgen-Indikator WW-I-4 Niedrigwasser

In den Sommermonaten zeigt die Anzahl der Niedrigwassertage im Zeitraum 1960-2024 keinen statistisch signifikanten Trend. In den Jahren 2018 bis 2023, deren Sommer vergleichsweise heiß und trocken waren, waren zwar vergleichsweise viele Niedrigwassertage zu verzeichnen, doch traten solche aufeinanderfolgenden Sommer mit 20 bis über 60 Niedrigwassertagen schon mehrfach auf. Interessant ist, dass die Anzahl der Niedrigwassertage im Winter statistisch signifikant zunimmt, während zugleich die Menge des winterlichen Niederschlags[640] statistisch signifikant zunimmt. In Abbildung 103

[639] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-4: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/niedrigwasser.pdf

[640] Zu beachten sind hier die verschiedenen Zeiträume: Während der Indikator zum Niedrigwasser den Winter des Wasserhaushaltsjahres betrachtet (Oktober bis März), nutzt die Darstellung zum jahreszeitlichen Niederschlag in der Klimaanalyse den hydrologischen Winter (November bis April).

ist zu sehen, dass es im Winter insgesamt deutlich seltener zu Niedrigwassertagen kommt als im Sommer. Es fließen dementsprechend weniger Datenpunkte in die Trendanalyse ein. Gleichzeitig ist es infolge der heißen und trockenen Sommer seit 2018 mehrfach zu Niedrigwasserphasen gekommen, die an einzelnen Pegeln bis in den Dezember (vereinzelt sogar bis in den Januar) hinein gedauert haben. Diese Jahre prägen den Trend. Ob der Trend auch in den kommenden Jahren Bestand hat, vor allem bei zunehmenden winterlichen Niederschlägen und abnehmender Schneedecke, ist abzuwarten.

13.4.4.2 Klimarisikoanalyse

13.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Das Klimasignal wird für die Klimarisikoanalyse zur Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" anhand der klimatischen Wasserbilanz operationalisiert. Diese ermöglicht es, Temperatur und Niederschlag (sowie weitere Klimafaktoren) in einer Kenngröße zu vereinen. Abbildung 104 zeigt die unter Annahme des RCP8.5 für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2026) projizierte klimatische Wasserbilanz in Schleswig-Holstein. Wird das 15. Perzentil der projizierten Werte zugrunde gelegt, könnte es zu einer leichten Zunahme der klimatischen Wasserbilanz entlang der Nordseeküste kommen, während es im Südosten des Landes (in etwa südlich einer Linie Fehmarn-Pinneberg) zu einem Rückgang der klimatischen Wasserbilanz käme. Das 85. Perzentil zeigt hingegen landesweite Zunahmen der klimatischen Wasserbilanz. Regionen mit einer geringen klimatischen Wasserbilanz bis zu 100 mm wären dann noch auf Fehmarn, im Lübecker Becken und im äußersten Südosten des Landes (südwestmecklenburgische Niederung sowie Teile des westmecklenburgischen Seenhügellands und der Lauenburger Geest) zu finden. Die zum Teil in ihrer Richtung noch ungewisse Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz erklärt sich bei Betrachtung der Projektionen der Jahresniederschlagsmenge. Sowohl für die Mitte des Jahrhunderts als auch für das Ende des Jahrhunderts werden sowohl (regional) weniger Niederschlag als auch eine landesweite Zunahme der Jahresniederschlagssumme projiziert (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27).

Um eine vorsorgende Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu ermöglichen, bildet die Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein stets das Worst-Case-Szenario unter den gesetzten Rahmenbedingungen ab. In der Regel ist dies bei den Klimaprojektionen das 85. Perzentil, weil es die stärkere Erwärmung, die größere Anzahl Heißer Tage etc. zeigt. Im Falle der hier analysierten Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" beschreibt aber das 15. Perzentil das Worst-Case-Szenario, denn die Niedrigwassergefahr steigt umso mehr, je geringer die klimatische Wasserbilanz ist. Daher geht in die Operationalisierung dieser Klimawirkung das 15. Perzentil der projizierten klimatischen Wasserbilanz ein.

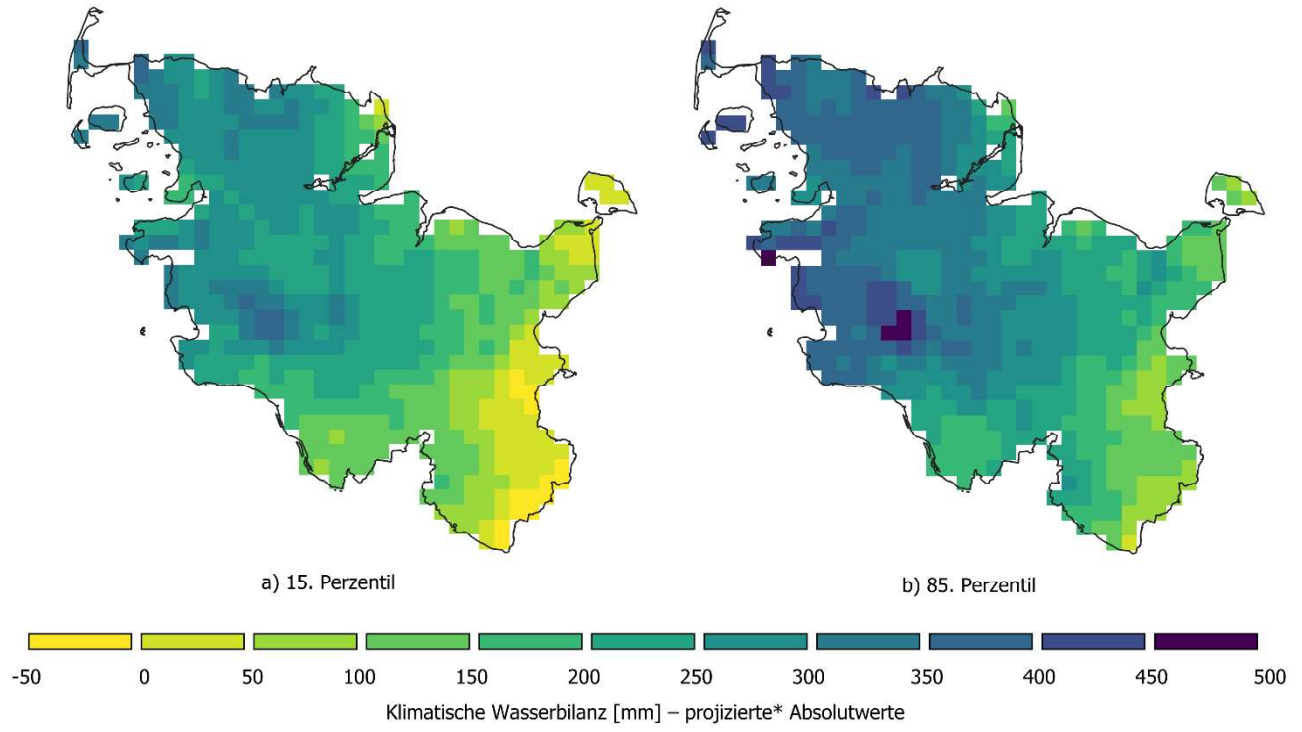


Abbildung 104: Projektion des langjährigen Mittels der KWB zur Mitte des Jahrhunderts (2031-2060)

13.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Die Exposition wird über die Lage der Fließgewässer abgebildet. Eine Projektion des künftigen Fließgewässernetzes findet nicht statt. Es ist nicht davon auszugehen, dass sich das Fließgewässernetz in den nächsten Jahrzehnten in relevantem Maß ändert.

Zusammen mit der Lage der Fließgewässer wird ihre Sensitivität abgebildet. Dafür werden die Fließgewässer nach den in Abbildung 2 gezeigten Abflussregime-Typen eingefärbt. Je röter die Linie eines Fließgewässers dargestellt wird, desto höher ist seine Sensitivität, also das Risiko der Austrocknung während einer sommerlichen Trockenperiode.

13.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Während die Richtung der Temperaturentwicklung im Zuge des Klimawandels eindeutig ist, sind die Projektionen zum Niederschlag in ihrer Entwicklungsrichtung noch nicht eindeutig. Wird der RCP8.5 zugrunde gelegt, projizieren die Klimamodelle für den größten Teil des Landes Schleswig-Holstein für die Mitte des Jahrhunderts verglichen mit der Referenzperiode einen stabilen oder höheren Jahresniederschlag. Im für diese Klimawirkung Worst-Case-Szenario (RCP8.5, 15. Perzentil) betrüge die Änderung gegenüber dem Referenzzeitraum -2,5 bis 5 Prozent. Gleichzeitig ist schon jetzt eine höhere Niederschlagsmenge in den Wintermonaten zu messen, sodass ein gleichbleibender Jahresniederschlag durchaus sinkende Niederschlagsmengen im Sommer bedeuten könnte. Die Projektionen der Anzahl von Trockenperioden, also Perioden mit mindestens 14 aufeinanderfolgenden Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, sind in ihrer Entwicklungsrichtung jedoch auch nicht eindeutig, landesweit werden sowohl leichte Zunahmen als auch leichte Abnahmen projiziert (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29). Das Worst-Case-Szenario hier wären 0 bis 0,75 Trockenperioden mehr im Jahr zur Mitte des Jahrhunderts, was ein moderater Anstieg wäre. Sicher ist, dass die Verdunstung zunehmen wird, allein aufgrund des Temperaturanstiegs und der zunehmenden Anzahl Heißer Tage. So zeigen die Projektionen, dass die Anzahl der Heißen Tage zunimmt, vor allem im schon jetzt heißeren Süden des Landes, wo es künftig bis zu elf Heiße Tage im Jahr geben könnte, statt der bisherigen vier bis fünf (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Ein Risiko zunehmender Niedrigwasserphasen in den Fließgewässern mit der entsprechenden ökologischen Beeinträchtigung von Flora und Fauna besteht also durchaus.

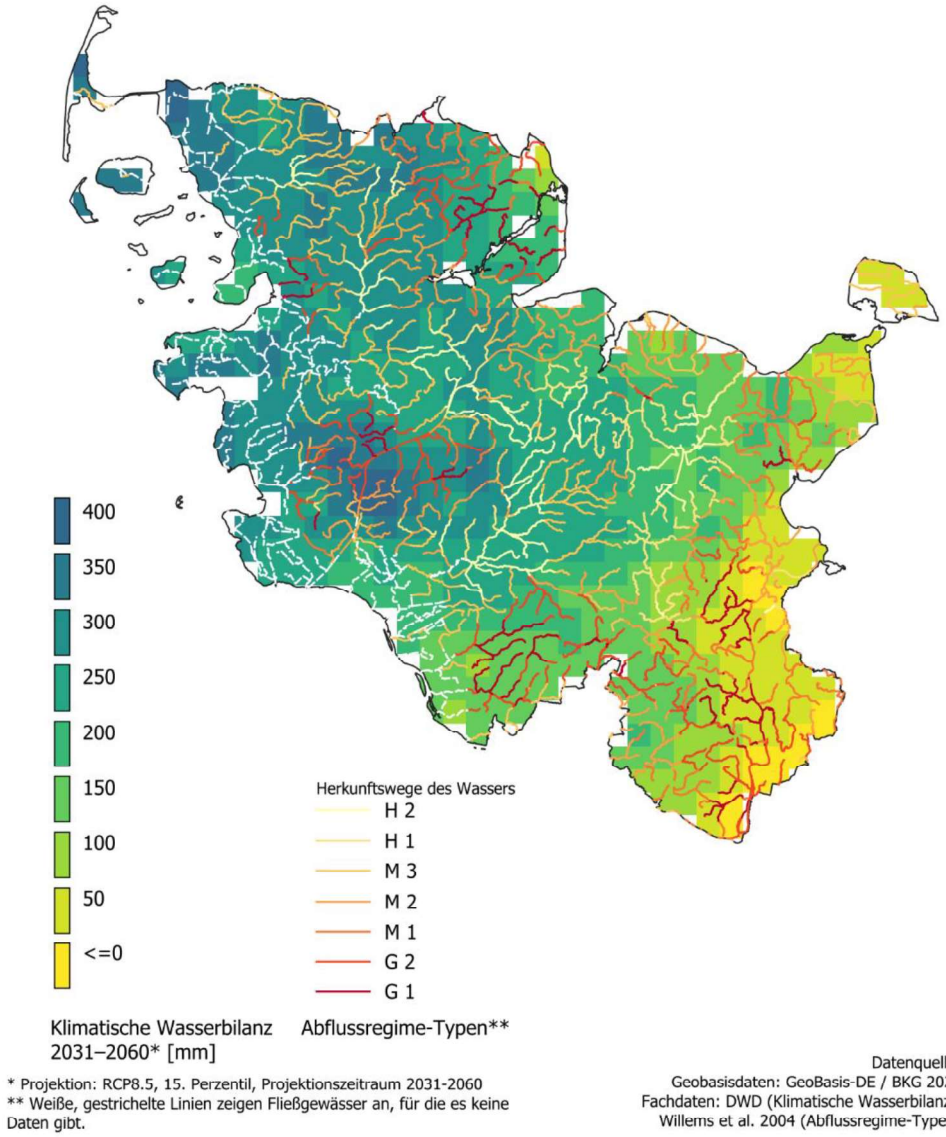


Abbildung 105: Risikoabschätzung zur Klimawirkung auf Grundlage einer Parameterüberlagerung

zeigt die räumliche Risikoabschätzung zur Klimawirkung. Sie zeigt als Grundlage die Projektion der klimatischen Wasserbilanz unter Annahme des RCP8.5 (15. Perzentil), um Niederschlag und Verdunstung in einem Klimasignal zusammenzuführen. Wie beschrieben könnte es im Südosten des Landes zu einem Rückgang der klimatischen Wasserbilanz um bis zu 50 mm und damit zu Werten bis -50 mm kommen. Viele der dort befindlichen Fließgewässer gehören den sensitiven Typen G1 und G2 an. Das heißt, ihr Sättigungsabflussanteil ist mittel bis hoch, ihr Grundwasserflurabstand mittel und ihre Speicherentleerung schnell bis sehr schnell. Damit zeichnet sich im Südosten ein Hotspot der beschriebenen Niedrigwasserproblematik ab, zumal für diese Landesteile auch besonders viele Heiße Tage projiziert werden. Einige betroffene Gewässer sind zudem vorbelastet in Hinblick auf die Wasserchemie. Die Dichte der Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen ist im Südosten besonders hoch und einige Gewässer haben hohe Nitrat- und Orthophosphatwerte.

Gebiete mit einem mittleren Risiko sind entlang der Ostseeküste, beispielsweise in Nordoldenburg und auf Fehmarn oder an der Geltinger Bucht, zu erkennen. Auch hier weisen die Gewässer hohe Nährstoffgehalte auf, was ihre Sensitivität zusätzlich erhöht. Aufgrund einer hohen Sensitivität der Fließgewässer und einer mittleren klimatischen Wasserbilanz könnte zudem das Niedrigwasserrisiko für die Gewässer im nord-westlichen Hamburger Ring in einem mittleren Bereich liegen. Diese Gewässer werden jedoch nicht zusätzlich durch Nährstoffe und Einleitungsstellen kommunaler Kläranlagen belastet. Ein weiteres Risikogebiet könnte in der westlichen Geest liegen (vor allem in der Heide-Itzehoer Geest, der Bredstedt-Husumer Geest und Teilen der Eider-Treene-Niederung). Für diese Region wird, über das gesamte Jahr betrachtet, eine vergleichsweise hohe klimatische Wasserbilanz projiziert. Dennoch ist nicht ausgeschlossen, dass es im Sommer zu Niedrigwasserphasen kommen kann, die dann deutliche Folgen für die Ökosysteme hätten, weil sie hoch sensitive Fließgewässer treffen würden.

Ob die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag künftig zunimmt, ist noch ungewiss. Im Worst-Case (RCP8.5, 85. Perzentil) würde es aber landesweit mehr solcher Tage geben, insbesondere im Norden und Westen des Landes. Insbesondere die hoch sensitiven Fließgewässer in der Region Angeln und in der westlichen Geest könnten durch Starkregenereignisse stofflich belastet sein und so gegenüber möglichen Niedrigwasserphasen noch sensitiver. Die Gewässer in Angeln sind zudem kiesgeprägt und somit sensitiv gegenüber einer durch Starkregen induzierten Kolmation, die die Resilienz des Ökosystem gegenüber weiteren Störungen wie Niedrigwasser verringern könnte. Um solche zusätzlichen Stressoren für die Fließgewässerökosysteme zu reduzieren und die Resilienz der Flora und Fauna gegenüber Niedrigwasserereignissen zu erhöhen, ist ein vorausschauendes, klimaangepasstes Gewässermanagement landesweit sinnvoll.

13.5 Klimawirkung „Beeinträchtigung des qualitativen und quantitativen Zustands von Seen“

13.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Die rund 300 natürlichen Seen Schleswig-Holsteins[641] sowie die künstlich angelegten Speicherbecken verändern sich im Zuge des Klimawandels. Der Klimawandel kann die Seen auf verschiedene Weise beeinflussen. Von außen am einfachsten wahrnehmbar sind Änderungen des Wasserstands. Zunehmende Hitze und Trockenheit können durch erhöhte Verdunstung und verringerten Zufluss (ob oberflächlich oder aus dem Grundwasser) zu Wassermangel in den Seen führen. Seen mit flachen Uferbereichen verlieren dadurch an Fläche, Randbereiche verlanden, wassergebundene Lebensräume gehen verloren. Mit sinkendem Wasserstand erwärmt sich das Wasser der Seen schneller. Im Wasser gelöste Schad- und Nährstoffe werden weniger stark verdünnt.

Von außen nicht zu sehen, aber ebenso bedeutend, ist eine Veränderung des Zustands des Wassers. Zunehmende Lufttemperaturen haben zunehmende Wassertemperaturen in den Seen zur Folge, auch wenn die Erwärmung des Wassers nicht 1:1 der der Luft folgt.[642] Die Wassertemperatur steuert bei vielen Lebewesen im Wasser phänologische Prozesse. Zudem kann wärmeres Wasser weniger Sauerstoff binden und befördert die Eutrophierung. Gleichzeitig erhöht es die Stoffwechselaktivität der in der Regel wechselwarmen Wasserfauna und somit deren Sauerstoffbedarf.[643] In tiefen Seen ist die Dauer der Stagnationsphasen (das heißt die stabile Schichtung von Wasserbereichen unterschiedlicher Temperatur im Sommer und Winter) von der Temperatur des Oberflächenwassers abhängig.

Für den Prozess der Photosynthese (und andere biologische Prozesse) ist die im Wasser ankommende Globalstrahlung von Bedeutung, die sich mit dem Klimawandel ebenfalls verändern kann (etwa durch abnehmende Bewölkung in zunehmend stabilen Hochdruckphasen). Eine zusätzliche Belastung für die Seenökosysteme sind in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmende Starkregenereignisse. Sie können zu erhöhtem Nährstoffeintrag von nahegelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen führen. Da diese das Algenwachstum befördern, verstärken auch sie die Eutrophierung.

13.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

13.5.2.1 Klimasignale

Die **Lufttemperatur** in Schleswig-Holstein steigt (siehe Klimaanalyse[644], Abbildungen 2 bis 4). Damit verbunden ist eine Zunahme der Anzahl an Sommertagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25 °C und Heißen Tagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C (siehe Klimaanalyse, Abbildung 5). Das führt zu steigenden Wassertemperaturen und höherer Verdunstung. Wie beschrieben kann wärmeres Wasser weniger Sauerstoff binden. Der Sauerstoffmangel kann in Stillgewässern noch gravierender werden als in Fließgewässern, weil die längere Verweildauer des Wassers und die geringe Wasserbewegung bei einer ausreichenden Nährstoffversorgung Algenmassenentwicklungen fördern. Unterwasserpflanzen sind jedoch auf ausreichende Lichtverfügbarkeit angewiesen. Eine erhöhte Phytoplanktondichte führt zu Lichtlimitierung, wodurch Wachstum, Tiefenverbreitung und Artenvielfalt der Unterwasservegetation abnehmen. Die Zersetzung abgestorbener Algen verbraucht zusätzlich Sauerstoff und so nimmt der Sauerstoffgehalt des Wassers zunehmend ab. Diesen Prozess nennt man Eutrophierung. Blaualgen (Cyanobakterien) können zudem Giftstoffe produzieren. Die Wassertemperatur ist auch ein wichtiger Faktor für einzelne Entwicklungsphasen der Wasserfauna. Phänologische Prozesse wie Paarung, Eiablage etc. sind häufig an bestimmte Wassertemperaturen gebunden und können sich mit einer Veränderung

[641] MEKUN 2022: Seen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/seen

[642] Hupfer M., Schwefel R., Jordan S. 2022: Auswirkungen des Klimawandels auf Seen in Deutschland. Abschlussbericht des Projekts K-4.20 im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA-AK). Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei. 78 Seiten: S. 50 https://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/static/LFP/Dateien/LAWA/Sonstige/K_4.21_Abschlussbericht_LAWA.pdf

[643] Basen T., Chucholl C., Brinker A. 2022: Auf schmalem Grad°. Die Zukunft unserer Fische in der Klimakrise. Analysen, Vorhersagen, Handlungsmöglichkeiten. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. 120 Seiten: S. 21.

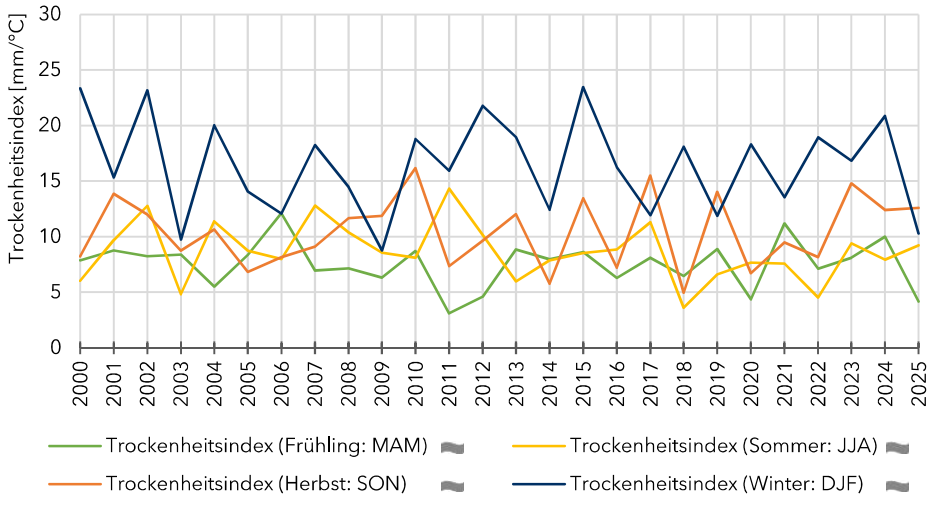
[644] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

des Jahresgangs der Wassertemperaturen zeitlich verlagern oder beschleunigen. Dadurch können Nahrungsketten gestört werden.

Die Wassertemperatur von Seen ist nicht homogen. In tiefen Seen stellt sich im Sommer und im Winter eine stabile thermische Schichtung zwischen dem kälteren Tiefenwasser und dem wärmeren Oberflächenwasser ein. Zwischen den Wasserschichten findet kein Austausch statt, sodass das Tiefenwasser keinen Sauerstoffzustrom aus der Luft beziehungsweise dem Oberflächenwasser bekommt. Im Frühjahr und Herbst bricht die Schichtung auf, das Wasser wird umgewälzt und sauerstoffreiches Wasser erreicht die tiefen Regionen der Seen. Diese Schichtungszyklen sind von Bedeutung für das jeweilige Ökosystem. Mit der klimawandelbedingten Temperaturerhöhung ist zu beobachten, dass Seen längere, stabilere sommerliche Schichtungsphasen aufweisen, was zu einer längeren Sauerstoffarmut im Tiefenwasser und damit zu einer stärkeren Phosphorrücklösung aus dem Sediment führen kann. Auch dies kann Eutrophierungsprozesse verstärken.

Während die mittlere Lufttemperatur in Schleswig-Holstein keine großen räumlichen Unterschiede zeigt, ist die **Anzahl der Heißen Tage** im Süden des Landes deutlich höher als im Norden. Abbildung 7 der Klimaanalyse zeigt, dass es ein Süd-Nord-Gefälle von durchschnittlich neun Heißen Tagen im Jahr in großen Teilen des Landkreises Herzogtum Lauenburg bis zu durchschnittlich einem Heißen Tag im Jahr auf Sylt und in Teilen der Landkreise Nordfriesland und Schleswig-Flensburg gibt.

Abbildung 106: Trockenheitsindex nach de Martonne für Schleswig-Holstein



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Der **Niederschlag** ist in Schleswig-Holstein räumlich ungleich verteilt. Der Norden und Westen des Landes sind feuchter als der Osten und Süden. Tendenziell nimmt der Jahresniederschlag in Schleswig-Holstein zu (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 9 und 10). Allerdings wird es vor allem im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) feuchter (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 12 und 13). Die Entwicklung im Sommerhalbjahr, in dem Niedrigwasser deutlich häufiger ist, zeigt noch keinen Trend. Auch der aus Lufttemperatur und Niederschlag errechnete **Trockenheitsindex** nach de Martonne zeigt für den Sommer, wie für die anderen Jahreszeiten, bisher keinen statistisch signifikanten Trend. Abbildung 106 zeigt den Trockenheitsindex nach de Martonne differenziert für die vier Jahreszeiten Frühling (März bis Mai), Sommer (Juni bis August), Herbst (September bis November) und Winter (Dezember bis Februar) im Zeitraum 2000-2025. Zu erkennen sind deutliche Schwankungen zwischen den Jahren, insbesondere in den Wintermonaten.

Tage mit mindestens 20 mm Niederschlag gelten als Tage mit **starkem Niederschlag**. An jenen Tagen muss es kein Starkregenereignis geben, aber es ist eine übliche Näherung, diese Tage als Proxyindikator für Starkregenereignisse zu betrachten.[645] In Schleswig-Holstein schwankt die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag, ein Trend lässt sich noch nicht erkennen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 14). Allerdings ist die räumliche Verteilung der Tage mit starkem Niederschlag sehr verschieden. Ein deutlicher Schwerpunkt befindet sich mit 6,5 Tagen mit starkem Niederschlag pro Jahr in Schleswig und

[645] Für nähere Informationen zu Erfassung von Starkregenereignissen in Deutschland mithilfe der Radarklimatologie seit dem Jahr 2001 siehe Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" im Handlungsfeld „Stadt- und Siedlungsentwicklung". Landesweit betrachtet, zeigt sich für Schleswig-Holstein bisher kein statistisch signifikanter Trend in dieser Zeitreihe.

Umland. Im Süden und Osten Schleswig-Holsteins gibt es mit 2,5 bis 4 Tagen mit starkem Niederschlag im Jahr erkennbar weniger dieser Tage.

Die **Sonnenscheindauer**, von der die in den Seen ankommende Strahlung abhängig ist, nimmt zu (siehe Klimaanalyse, Abbildung 17). In den zehn Jahren von 2014 bis 2023 lag sie im Mittel rund 9 % über dem 30-jährigen Mittel der Jahre 1961 bis 1990. Dies trägt zur Erwärmung der Seen bei.

13.5.2.2 Exposition

Die Exposition dieser Klimawirkung besteht in der **Lage der Seen** in Schleswig-Holstein. Wie Abbildung 107 zeigt, gibt es nahezu in allen Naturräumen des Landes Seen. Große Seen gibt es vor allem im Osten des Landes im Schleswig-Holsteinischen Hügelland und auf der Mecklenburgischen Seenplatte.

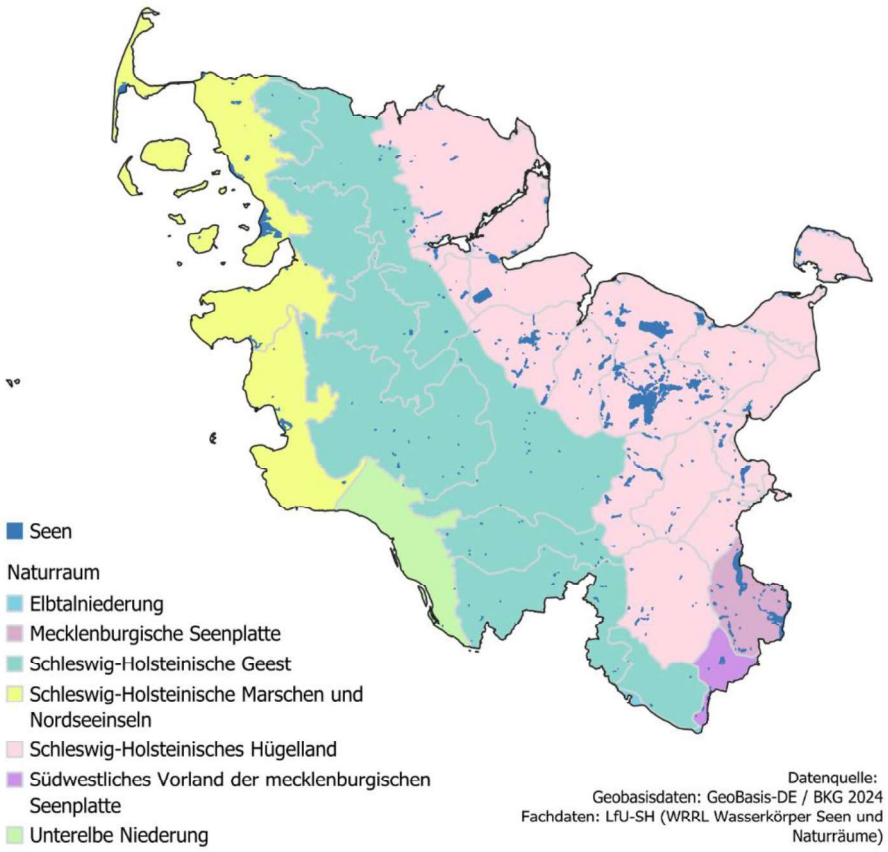


Abbildung 107: Seen in Schleswig-Holstein

Es ist nicht anzunehmen, dass sich an der Exposition bis zur Mitte des Jahrhunderts größere Veränderungen ergeben. Eine Projektion der künftigen Lage von Seen ist daher nicht sinnvoll.

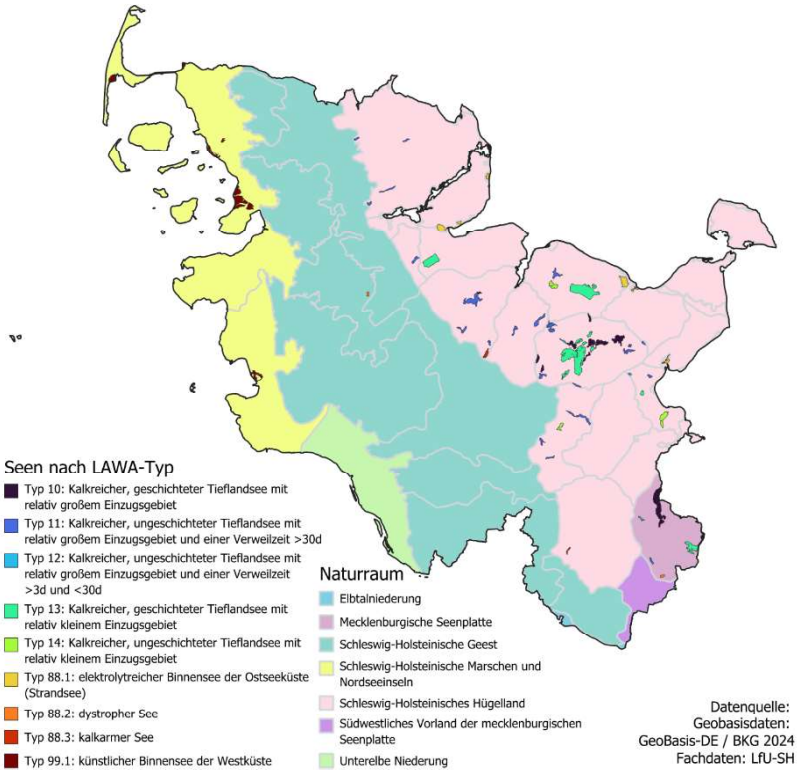
13.5.2.3 Sensitivität

Wie sensitiv ein See und sein Ökosystem auf Klimaänderungen reagieren, hängt von den lokalen Ausgangsbedingungen ab. So ist beispielsweise die **Tiefe des Sees** ein wichtiger Faktor dafür, wie stark sich sein Wasserkörper in heißen Sommern erwärmt. Nur tiefe Seen sind im Sommer stabil thermisch geschichtet. Ein weiterer Faktor ist die Größe des oberirdischen **Einzugsgebiets**. Sie bestimmt, wie viel oberflächlicher Abfluss dem See zufließt. Wichtig ist zudem das Verhältnis von oberflächlichem Zustrom zu unterirdischem Zustrom aus dem Grundwasser. Da Grundwasser auf Witterungseinflüsse mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung reagiert, verlieren Seen, die sich vor allem aus Grundwasser speisen, in Trockenphasen weniger schnell Wasser. Das Grundwasser dient als natürlicher Puffer, weshalb die Wasserstände vor allem aus dem Grundwasser gespeister Seen häufig weniger stark schwanken. Gleichzeitig dauert es aber auch länger, bis Grundwasserspeicher durch Niederschlag wieder aufgefüllt werden, sodass solche Seen auch in niederschlagsreichen Zeiten, die auf Trockenphasen folgen, noch abgesenkte Wasserstände haben können.

Seen über 50 ha fallen unter die EG- WRRL. Sie unterliegen einem regelmäßigen Monitoring. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat für jene Seen eine **Typologie** ausgearbeitet, die sie näher kategorisiert. Die Typen der Seen in Schleswig-Holstein zeigt Abbildung 108. In Schleswig-Holstein finden sich Seen des Norddeutschen Tieflands (Typen 10 bis 14) sowie Sondertypen (Typen 88 und 99). Solche Sondertypen finden Anwendung, wenn für einen See kein ähnlicher

Seentyp zur Bewertung anwendbar ist. Typ 88 bezeichnet dabei Sondertypen natürlicher Seen (beispielsweise Strandseen) und Typ 99 bezeichnet Sondertypen künstlicher Seen (beispielsweise Speicherbecken in der Marsch).[646]

Abbildung 108: Seen Schleswig-Holsteins nach Seen-Typ



Die Seen des Typs 10 (kalkreiche, geschichtete Tieflandseen mit relativ großem Einzugsgebiet) sind Seen mit einem im Verhältnis zum Seevolumen großen Einzugsgebiet.[647] Oberirdische Zuläufe sind häufig vorhanden. Wie groß der unterirdische Zufluss ist, ist unterschiedlich. Das große Einzugsgebiet und die oberirdischen Zuflüsse verringern die Sensitivität der Seen gegenüber Trockenheit. Eine Wasserverweilzeit[648] von zumeist mehr als einem Jahr sowie länger anhaltende, stabile thermische Schichtungsphasen können allerdings zu einer stärkeren Erwärmung des Oberflächenwassers bei Hitze sowie Sauerstoffmangel in tieferen Wasserschichten führen. Außerdem bedeutet die vergleichsweise hohe Wasserverweilzeit, dass Nährstoffeinträge aufgrund von Starkregenereignissen den See länger beeinträchtigen, und als Seen mit einem großen Einzugsgebiet haben diese Seen eine hohe Nährstofffracht. Ein Beispiel für einen See des Typs 10 ist der Tresdorfer See. Alle Seen des Typs 10 liegen im Schleswig-Holsteinischen Hügelland und im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte.

Seen des Typs 11 (kalkreiche, ungeschichtete Tieflandseen mit relativ großem Einzugsgebiet und einer Verweilzeit von mehr als 30 Tagen) haben ebenfalls ein im Verhältnis zum Seevolumen großes Einzugsgebiet, was Trockenphasen möglicherweise abmildert. Allerdings sind diese Seen häufig mit einer geringen mittleren Tiefe relativ flach, was bei Trockenheit Verlandungen im Randbereich fördert. Die Seen sind im Sommer nicht oder nur weniger als drei Monate geschichtet, was die Wahrscheinlichkeit von Sauerstoffmangel in tieferen Wasserschichten verringern könnte, zumal eine im Vergleich zum Typ 10 deutlich kürzere Wasserverweilzeit eine raschere Erholung nach Stoffeinträgen ermöglicht. Sie schützt zudem vor starker Erwärmung. Jedoch führen die großen Einzugsgebiete bei diesen Seen zu hohen Nährstofffrachten. Verlängern sich die Schichtungsphasen klimawandelbedingt, kommt es zu Sauerstoffdefiziten und einer Phosphorrücklösung aus dem Sediment im Tiefenwasser. Das so angereicherte Tiefenwasser wird bei der nächsten Durchmischung wieder ins Oberflächenwasser transportiert, wo es den Algen zum Wachstum zur Verfügung steht. Damit reagieren die Seen des Typs 11 trotz

[646] Riedmüller U., Mischke U., Pottgiesser T., Böhmer J., Deneke R., Ritterbusch D., Stelzer D., Hoehn E. 2022: Steckbriefe der deutschen Seetypen. Begleittext und Steckbriefe.
https://www.gewaesser-bewertung.de/media/steckbriefe_deutscher_seetypen_mitbegleittext_maerz2022.pdf

[647] Riedmüller et al. 2022, s. Fußnote 646. Auch die Charakterisierung der folgenden Seentypen erfolgt in Anlehnung an Riedmüller et al. 2022. Die Einschätzung der Sensitivität ist jedoch nicht Riedmüller et al. 2022 entnommen, sondern erfolgte für die vorliegende Klimarisikoanalyse.

[648] Die Wasserverweilzeit gibt an, wie lange es dauert, bis das gesamte Wasser eines stehenden Gewässers durch Zu- und Abfluss theoretisch einmal ausgetauscht wird. Eine hohe Verweilzeit bedeutet, dass sich das Wasser im Sommer stärker erwärmt. Sie bedeutet aber auch, dass sich das Gewässer von stofflichen Belastungen nur langsam erholt.

der kurzen Verweilzeit sehr sensitiv auf den Klimawandel. Ein Beispiel für einen See des Typs 11 ist der Große Eutiner See. Wie die Seen des Typs 10, liegen die Seen des Typs 11 im Schleswig-Holsteinischen Hügelland und im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte.

In Schleswig-Holstein gibt es zwei Seen des Typs 12 (kalkreiche, ungeschichtete Tieflandseen mit relativ großem Einzugsgebiet und einer Verweilzeit über 3 Tagen und unter 30 Tagen), den Barkauer See und den Schwentinesee. Beide Seen liegen im Schleswig-Holsteinischen Hügelland. Ihr oberirdisches Einzugsgebiet ist im Vergleich zum Seevolumen sehr groß, weil es sich um Flussseen handelt. Die Seen sind ungeschichtet (oder weniger als drei Monate geschichtet), und sie haben eine sehr kurze Wasserverweilzeit. Der Grundwasserzutritt ist eher unbedeutend. Diese Seen sind also eher weniger sensitiv, haben aber ohnehin stärkere Wasserstands- und Durchflussschwankungen.

Seen des Typs 13 (kalkreiche, geschichtete Tieflandseen mit relativ kleinem Einzugsgebiet) könnten aufgrund ihres im Vergleich zum Seevolumen kleinen oberirdischen Einzugsgebiets sensitiv gegenüber Trockenheit sein. Allerdings können sie einen im Verhältnis zum oberirdischen Zufluss starken Grundwasserzustrom haben, was diese Sensitivität verringern könnte. Deutlich höher ist ihre Sensitivität gegenüber Erwärmung und Sauerstoffzehrung, da sie im Sommer stabil geschichtet und die Wasserverweilzeiten sehr lang sind (in der Regel über fünf, teilweise über 10 Jahre). Diese Seen sind daher auch wenig resilient gegenüber Nährstoffeinträgen durch Starkregenereignisse. Beispiele für Seen des Typs 13 sind der Schöhsee, Schluensee, Suhrer See und Selenter See. Die Seen des Typs 13 liegen im Schleswig-Holsteinischen Hügelland und im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte.

Drei Seen in Schleswig-Holstein sind Seen des Typs 14 (kalkreiche, ungeschichtete Tieflandseen mit relativ kleinem Einzugsgebiet), der Große Segeberger See, der Dobersdorfer See und der Hemmelsdorfer See. Sie alle liegen im Bereich des Schleswig-Holsteinischen Hügellands. Seen dieses Typs haben ein im Vergleich zum Seevolumen kleines Einzugsgebiet ohne nennenswerte oberirdische Zuläufe, keine oder nur kurze Schichtungsphasen und mittlere Wasserverweilzeiten von mehr als 30 Tagen, zum Teil von mehr als einem Jahr. Mit einer mittleren Tiefe um 6 m sind die drei Seen größtenteils eher flach, ihre tiefsten Stellen sind aber zwischen 12 und 20 m tief.[649] Es könnte sein, dass sie aufgrund ihrer nicht all zu langen Wasserverweilzeit und der schwachen thermischen Schichtung eher weniger sensitiv sind gegenüber Hitze und Nährstoffeinträgen. Die Klimawandel-bedingte Temperaturerhöhung kann jedoch zu einer Stabilisierung der Schichtung und somit zu einer erhöhten Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser führen. Auch könnte langanhaltende Trockenheit problematisch sein, wenn Grundwasserstände sinken. An flachen Ufern kann es zu Verlandungen kommen.

Seen der Typen 88 und 99 sind in Riedmüller et al. 2022 nicht charakterisiert, weshalb eine Einschätzung der Sensitivität schwerfällt. Die Seen des Typs 88.1 an der Ostseeküste und die Seen des Typs 99.1 an der Nordseeküste sind jedoch sehr nah an der Küste und könnten von Salzwassereinträgen infolge von Sturmfluten betroffen sein. Seen der Typen 88.2 und 88.3 gibt es je zwei. Für sie wären im Rahmen lokaler Klimarisikoanalysen Einzelfallbetrachtungen sinnvoll.

Eine Projektion der Sensitivität erscheint nicht sinnvoll. Zwar ist es wahrscheinlich, dass sich im Zuge des Klimawandels beispielsweise das Schichtungsverhalten eines Sees deutlich verändert. Aber dies ist schwer zu projizieren. Es wäre in jedem Fall eine bedeutende Klimawirkung für das Ökosystem des Sees und würde seine Sensitivität über alle Seentypen hinweg deutlich erhöhen.

13.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

13.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Für das Klimafolgenmonitoring des Landes wurde ein Indikator zum Wasserstand von Seen ausgearbeitet (siehe Abbildung 109). Er zeigt die Abweichung des Pegelstands vom Mittelwert des Referenzzeitraums 1985-2014 von acht Seen als Jahresmittel, Mittel im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) und Mittel im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis September). Keine der Zeitreihen zeigt bisher einen statistisch signifikanten Trend. Die betrachteten Seen sind Seen der LAWA-Typen 11 und 13. Auch bei separater Betrachtung dieser Typen zeigt sich aktuell noch kein Trend.

[649] MEKUN k.A.: Seen Schleswig-Holstein. Wasserwirtschaftliches Fach-Informationssystem. https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/Seen/seenalle.php

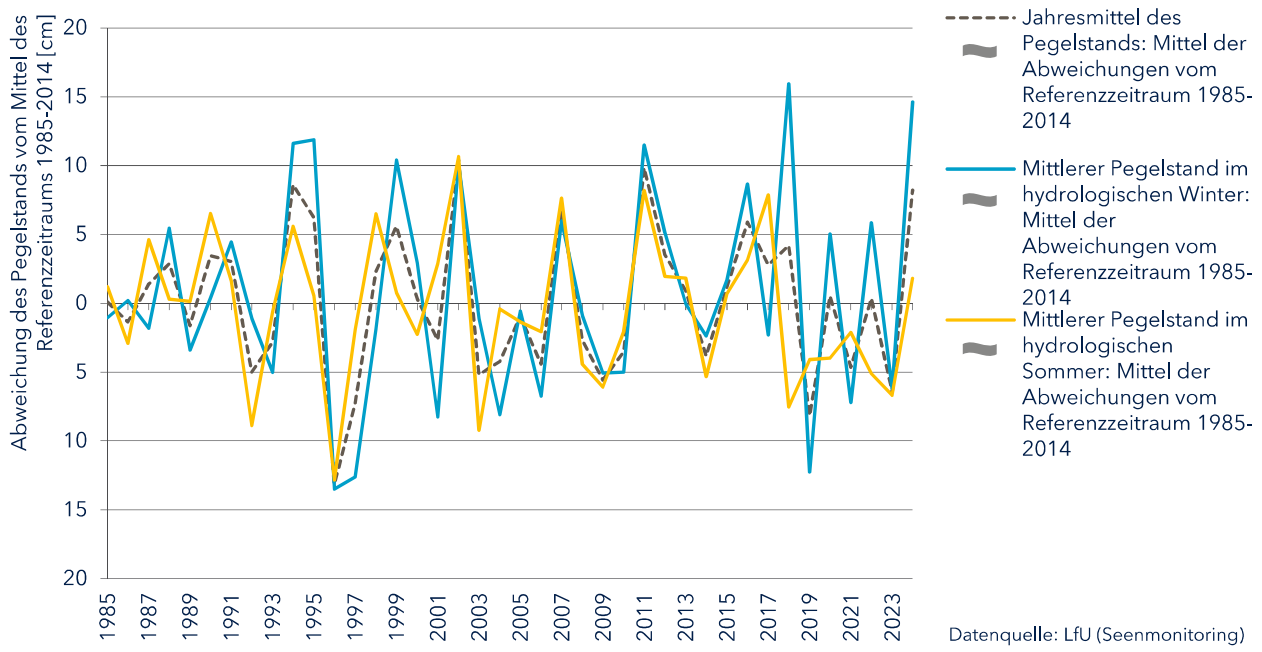


Abbildung 109: Monitoring-Indikator WW-I-6 „Wasserstand von Seen"[650]

13.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Es muss davon ausgegangen werden, dass mindestens die steigenden Lufttemperaturen die Bedingungen in den Seen verändern. Die Projektion der Jahresmitteltemperatur zeigt unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5 bis zur Mitte des Jahrhunderts einen Anstieg der Lufttemperatur von rund 2,6 bis 4,7 °C.[651] Dies wird zu steigenden Wassertemperaturen in den Seen führen. Hinzu kommt eine Zunahme der Heißen Tage mit mindestens 30 °C Höchsttemperatur um bis zu sieben Tage im Jahr (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Schon jetzt gibt es im Süden des Landes deutlich mehr Heiße Tage als im Norden, das heißt, die Seen im südlichen Schleswig-Holsteinischen Hügelland und im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte sind stärker von Hitze betroffen. Die Klimamodelle projizieren zudem hier eine stärkere Zunahme der Anzahl der Heißen Tage, wodurch die Belastung im Vergleich zu den im Norden des Landes liegenden Seen noch steigt. Die Zunahme der sommerlichen Temperaturen wird in tiefen Seen zu längeren Phasen stabiler Schichtung in den Sommermonaten führen. Da diese tiefen Seen im Bereich der Mecklenburgischen Seenplatte und im Schleswig-Holsteinischen Hügelland liegen, ist für viele von ihnen mit einer deutlichen Zunahme der Heißen Tage zu rechnen. Im Winter hingegen könnte die Schichtung der tiefen Seen durch den landesweiten Rückgang der Anzahl der Frosttage weniger stabil werden (siehe Klimaanalyse, Abbildung 26).

Für den Jahresniederschlag sind die Projektionen in der Entwicklungsrichtung weniger eindeutig. Unter Annahme des Emissionsszenarios RCP8.5 wird aber eher eine Zunahme des Niederschlags projiziert, die Projektionsergebnisse schwanken zwischen einer Abnahme um 1 % im Süden des Landes und einer Zunahme um bis zu 18 % in den westlichen Landesteilen.[652] Hinsichtlich der Trockenperioden ist die Richtung der Entwicklung ebenfalls noch unsicher (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29). Projektionen zum Wasserstand der Seen sind also noch ungewiss. Hingegen ist die Entwicklungsrichtung für die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag eindeutiger: Sie bleibt unter Annahme des RCP8.5 stabil oder nimmt zu (siehe Klimaanalyse, Abbildung 28). Im Falle einer Zunahme muss mit zusätzlichen Einträgen von Nährstoffen in die Seen gerechnet werden, insbesondere wenn es bei der gängigen Düngepraxis in der Landwirtschaft bleibt. Die Projektionen zeigen dabei eine etwas stärkere Zunahme der Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag im Westen und Norden Schleswig-Holsteins, sodass dies die Seen im nördlichen Bereich des Schleswig-Holsteinischen Hügellands und im Bereich von Geest und Marschen stärker betreffen könnte.

[650] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-6: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/wasserstand_seen.pdf

[651] Klimaanalyse, s. Fußnote 644: S. 17

[652] Klimaanalyse, s. Fußnote 644: S. 20

13.6 Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit“

13.6.1 Die Klimawirkung im Überblick

Grundwasser bildet sich aus Niederschlag, der in den Boden versickert und nicht aus dem Boden wieder verdunstet oder von Pflanzen aufgenommen wird. Ein bestimmender Faktor für die Evapotranspiration, also die Verdunstung aus dem Boden und die Transpiration über Pflanzen, ist die Temperatur. Folglich hat der Klimawandel, der Temperatur und Niederschlagsmuster verändert, Einfluss auf die Grundwasserneubildung und darüber auch auf die Grundwasserverfügbarkeit. Grundwasser wird im Wesentlichen im Winterhalbjahr (Herbst bis Frühjahr) neu gebildet. Daher ist nicht nur die jährliche Menge des Niederschlags von Bedeutung für die Grundwasserneubildung, sondern auch der Zeitraum, in dem er fällt. Auch die Art des Niederschlags ist entscheidend dafür, wie viel von ihm im zur Grundwasserneubildung beitragen kann. Über den Meeresspiegelanstieg hat der Klimawandel bei küstennahen Grundwasserkörpern zudem Folgen für die Qualität des Grundwassers. Es besteht die Gefahr einer zunehmenden Versalzung des Grundwassers durch Meerwasserintrusion.

Grundwasser ist eine wichtige Ressource. In Schleswig-Holstein wird 100 % des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen.[653] Menge und Qualität des verfügbaren Grundwassers sind damit von großer sozialer und wirtschaftlicher Bedeutung. Je aufwändiger es ist, ausreichend Wasser in der notwendigen Qualität für die Bevölkerung, die Tourismuswirtschaft, die Landwirtschaft und andere Wirtschaftszweige zur Verfügung zu stellen, desto teurer wird die Wassernutzung für die Endverbraucher.

Vor allem im Sommer kann Wasser knapp werden. Gleichzeitig steigt der Wasserverbrauch im Sommer in Schleswig-Holstein regional aufgrund des Tourismus[654] an, vor allem in den Küstenorten. Doch auch unabhängig vom Tourismus steigt der Trinkwasserbedarf bei Hitze. Die Menschen trinken mehr, sie duschen länger, sie bewässern ihre Gärten und Balkone und füllen Pools und Planschbecken. Die Forschung zeigt, dass in Haushalten exponentiell mehr Wasser verbraucht wird, sobald die Lufttemperatur etwa 25 °C übersteigt.[655] Im Projekt „Multisektorale Wasserbedarfsprognosen für Deutschland und ihre Bedeutung für zukünftige potenzielle Wasserengpassregionen“ (WatDEMAND) wird von einem Mehrbedarf von 50 % an Sommertagen und einem Mehrbedarf von 100 % an Heißen Tagen ausgegangen.[656] Hinzu kommt, dass die Landwirtschaft im Sommer mehr Wasser für die Versorgung des Viehs und die Bewässerung verschiedener Kulturen braucht. Auch dies kann regional die Grundwasserverfügbarkeit belasten, wenn das Wasser aus dem Grundwasser gewonnen wird.

13.6.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

13.6.2.1 Klimasignale

In Schleswig-Holstein steigt die **Lufttemperatur** an. Die Klimaanalyse[657] zeigt, dass die Jahresmitteltemperatur über den Zeitraum 1882-2023 zugenommen hat, wenn auch nicht kontinuierlich (Klimaanalyse, Abbildungen 2 bis 4). Insbesondere

[653] McNamara I., Tetzlaff B., Wolters T., Wendland F. 2025: Modellierung der flächendifferenzierten Grundwasserneu-bildung für Schleswig-Holstein im Beobachtungszeitraum 1961 – 2021 und für Klimaszenarien bis 2100. Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie & Umwelt, Band 654: S. 10. https://juser.fz-juelich.de/record/1038888/files/Energie_Umwelt_654.pdf
Hinweis: Die Ergebnisse der Studie wurden auch veröffentlicht in: McNamara I., Wolters T., König B., Rugen A.-L., Toro M., Flörke M., Wendland F. 2025: Modelling the impacts of climate change on groundwater recharge patterns in northern Germany. Journal of Hydrology: Regional Studies. 60, 102507. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102507

[654] Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2025: Tourismus in Schleswig-Holstein. https://experience.arcgis.com/experience/a16c66b4f9604cfeb8eb997c7e2d5d48

[655] Lütkemeier R. 2023: „Ein verregneter Sommer bringt uns das verlorene Grundwasser nicht zurück“. Ein Gespräch mit ISOE-Forscher Robert Lütkemeier über unseren Wasserverbrauch, sinkende Grundwasserspiegel und den Sommerregen. https://www.isoe.de/blog/ein-verregneter-sommer-bringt-uns-das-verlorene-grundwasser-nicht-zur%C3%BCck

[656] Zaun F., aus der Beek T., Weber T., Vollmer T., Müller B., Sturm S., Streck T., Boeing F., Marx A. 2025: Multisektorale Wasserbedarfsprognosen für Deutschland und ihre Bedeutung für zukünftige potenzielle Wasserengpassregionen (WatDEMAND). Zukunft der Wasserverfügbarkeit und -bedarfe in Deutschland. https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/events/20250204_WasserbilanzDeutschland_IWW.pdf
Sommertage sind Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25 °C. Heiße Tage haben eine Höchsttemperatur von mindestens 30 °C.

[657] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

seit Mitte der 1980er Jahre zeigt sich ein deutlicher Anstieg. Auch die Anzahl der Sommertage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 25 °C und der Heißen Tagen mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C steigt (siehe Klimaanalyse, Abbildung 5). Mit den steigenden Temperaturen erhöht sich die Evapotranspiration. Das heißt, es kann mehr Niederschlag als zuvor aus dem Boden und von Oberflächen verdunsten. Pflanzen benötigen mehr Wasser, weil sie mehr transpirieren. Damit versickert bei gleichbleibenden Niederschlägen weniger Wasser ins Grundwasser und die Grundwasserneubildung sinkt.

Die mittlere Lufttemperatur weist in Schleswig-Holstein keine großen räumlichen Unterschiede auf. Die Anzahl der Heißen Tage zeigt jedoch ein deutliches Süd-Nord-Gefälle (siehe Klimaanalyse, Abbildung 7). So gibt es in großen Teilen des Landkreises Herzogtum Lauenburg durchschnittlich neun Heiße Tagen im Jahr, auf Sylt und in Teilen der Landkreise Nordfriesland und Schleswig-Flensburg ist es nur einer. Damit sind die Evapotranspiration und auch der Wasserbedarf der Haushalte im Süden Schleswig-Holsteins im Sommer potenziell höher als im Norden des Landes.

Gleichzeitig ist der Süden Schleswig-Holsteins vergleichsweise trocken. In Schleswig-Holstein sind der Norden und Westen des Landes feuchter als der Osten und Süden (siehe Klimaanalyse, Abbildung 11). Während es beispielsweise auf Fehmarn weniger als 600 mm im Jahr regnet, gibt es an der Grenze zu Dänemark Gegenden mit fast 1.000 mm Niederschlag im Jahr. Tendenziell nimmt der **Jahresniederschlag** in Schleswig-Holstein zu. Im Zeitraum 1881-2021 ist die Zunahme statistisch signifikant (siehe Klimaanalyse, Abbildungen 9 und 10). Feuchter wird es nach aktuellem Trend im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April; siehe Klimaanalyse, Abbildungen 12 und 13). Für das Sommerhalbjahr ist noch kein statistisch signifikanter Trend zu erkennen.

Die **klimatische Wasserbilanz** (KWB) ist eine Möglichkeit, die Wasserverfügbarkeit unter Berücksichtigung von Niederschlag, Temperatur und weiterer Faktoren wie der Windgeschwindigkeit zu betrachten. Auch die räumliche differenzierte Betrachtung der klimatischen Wasserbilanz zeigt, dass der Osten des Landes trockener ist als der Westen (siehe Abbildung 110). Ebenfalls spiegelt sich die Zunahme des Jahresniederschlags wider: Im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 war die klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 1991-2020 fast landesweit höher. Das landesweite Mittel der klimatischen Wasserbilanz lag im Zeitraum 1961-1990 durchschnittlich bei 221 mm im Jahr. Im Zeitraum 1991-2020 lag es durchschnittlich bei 263 mm im Jahr.

Neben der Niederschlagsmenge ist die Art des Niederschlags für die Grundwasserneubildung von Bedeutung. Es wird angenommen, dass es im Zuge des Klimawandels verstärkt zu Starkregenereignissen kommt, weil wärmere Luft mehr Wasser speichern kann. Fällt Niederschlag als Starkregen, fließt viel davon oberirdisch ab. Nur wenig Wasser kann im Boden versickern. Wenn mit dem zunehmenden Jahresniederschlag also verbunden ist, dass Regen zunehmend als Starkregen fällt, ist die Niederschlagszunahme für die Grundwasserneubildung nur wenig von Belang. Als Tage mit **starkem Niederschlag** gelten Tage mit 20 mm Niederschlag. An jenen Tagen muss es kein Starkregenereignis geben, aber es ist eine übliche Näherung, diese Tage als Proxyindikator[658] für Starkregenereignisse zu betrachten[659]. In Schleswig-Holstein schwankt die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag, ein Trend lässt sich noch nicht erkennen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 14). Daher kann vermutet werden, dass der zunehmende Niederschlag aktuell zu einer Erhöhung der Grundwasserneubildung führt.

[658] Ein Proxyindikator ist ein Indikator der stellvertretend für einen direkten Indikator einen Indikationsgegenstand in Näherung abbildet. Proxyindikatoren werden dort eingesetzt, wo es nicht möglich ist, den Indikationsgegenstand direkt abzubilden.

[659] Für nähere Informationen zu Erfassung von Starkregenereignissen in Deutschland mithilfe der Radarklimatologie seit dem Jahr 2001 siehe Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" im Handlungsfeld „Stadt- und Siedlungsentwicklung". Landesweit betrachtet, zeigt sich für Schleswig-Holstein bisher kein statistisch signifikanter Trend in dieser Zeitreihe.

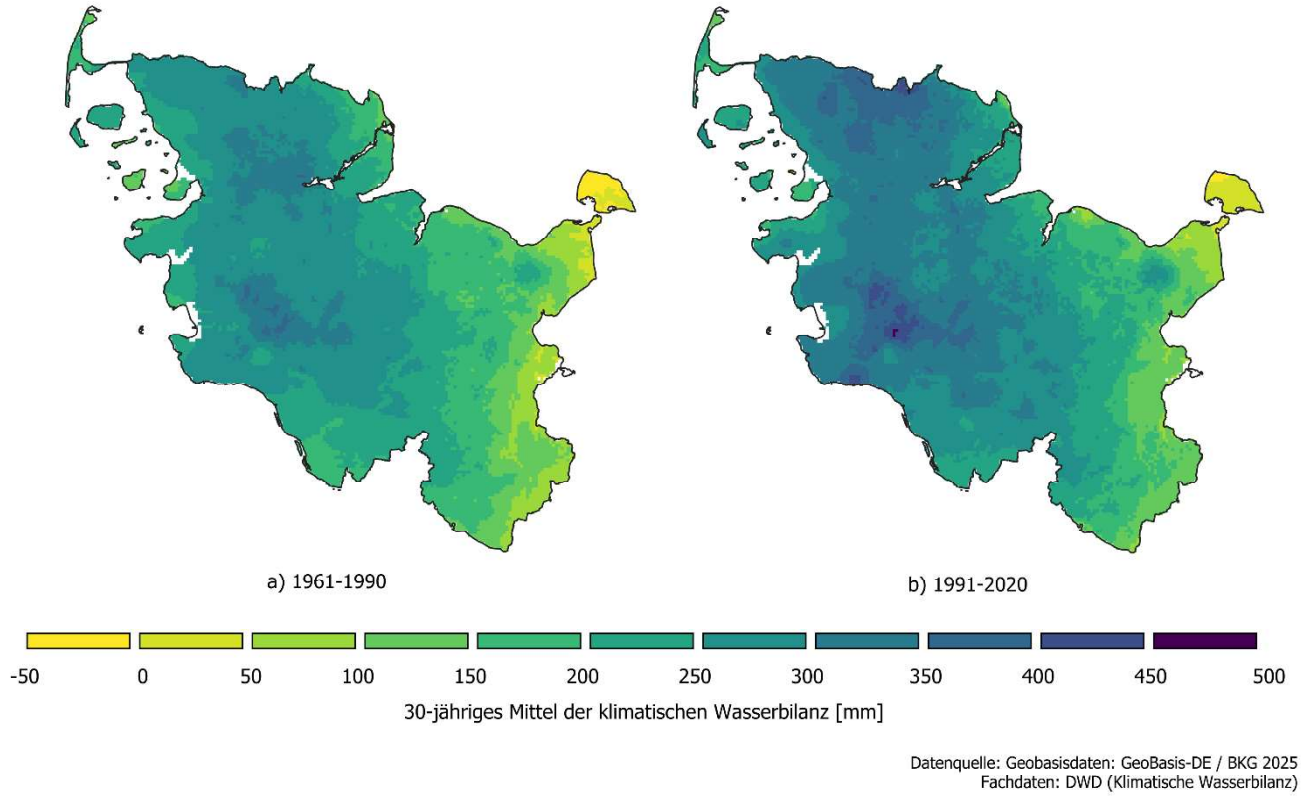


Abbildung 110: Entwicklung des langjährigen Mittels der KWB in Schleswig-Holstein, Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020

13.6.2.2 Exposition

Der hier betrachtete Wirkstrang hat zwei Schwerpunkte. Zum einen wird die Grundwasserneubildung betrachtet. Expositionsfaktor hierfür sind die **Grundwasserkörper** Schleswig-Holsteins. Zum anderen steht die Grundwasserverfügbarkeit im Fokus. Um die Exposition dieses Teils des Wirkstrangs abzubilden, wird in dieser Klimarisikoanalyse auf die **Grundwassergewinnung** geschaut (siehe Abbildung 111). Besonders viel Grundwasser wird nordwestlich von Hamburg gewonnen (genehmigte Fördermenge: rund 40,5 Millionen Kubikmeter im Jahr). Hier ist auch die Dichte der Anlagen zur Grundwassergewinnung besonders hoch. Im Bereich der Vorgeest gibt es Grundwasserkörper, aus denen bis zu rund 30 Millionen Kubikmeter Wasser im Jahr entnommen werden, und im Ostholsteinischen Hügelland wird bis zu rund 25 Millionen Kubikmeter Grundwasser gewonnen. Deutlich weniger Grundwasser wird im Bereich der Marschen gefördert.

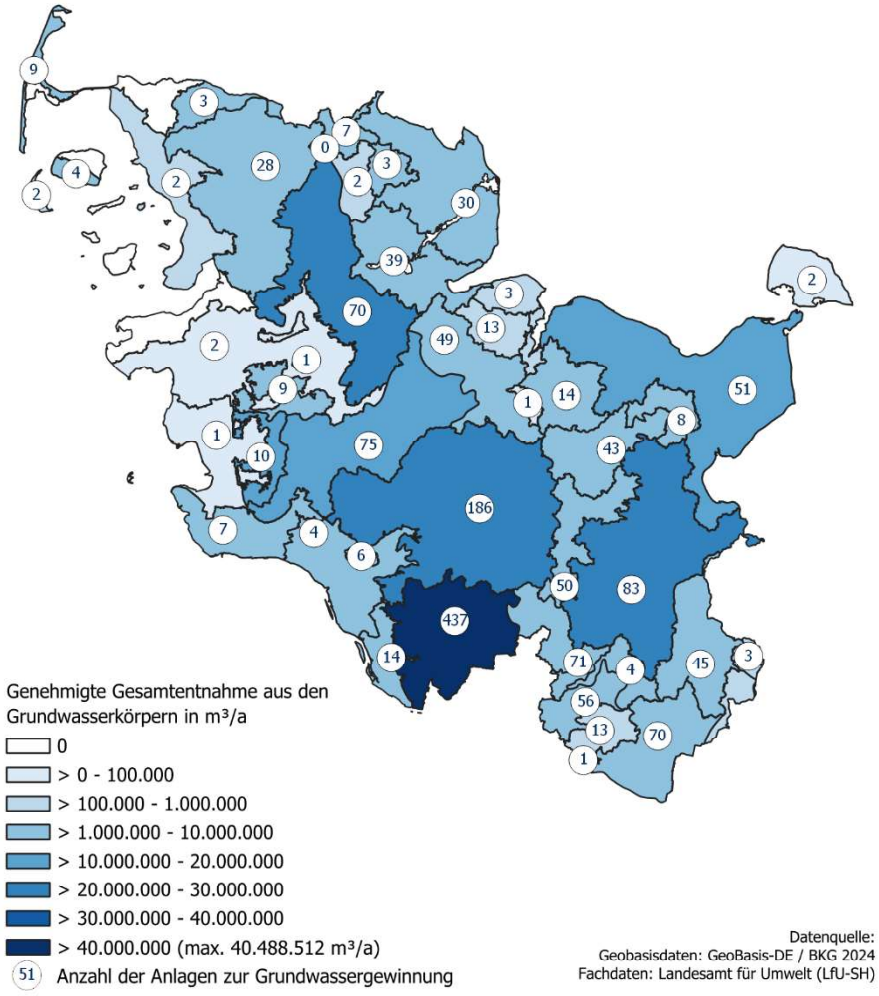


Abbildung 111: Gesamtmenge der genehmigten Grundwasserentnahmen in Schleswig-Holstein differenziert für die Grundwasserkörper im Hauptgrundwasserleiter sowie Anzahl der Anlagen zur Grundwassergewinnung

(Hinweis: Für Grundwasserkörper, die zum Teil jenseits der Landesgrenze von Schleswig-Holstein liegen, ist nur die im Land selbst genehmigte Entnahmemenge abgebildet.)

13.6.2.3 Sensitivität

Auch für die Definition der Sensitivität ist von Bedeutung, dass der hier betrachtete Wirkstrang letztlich aus zwei Klimawirkungen besteht. Sie ist differenziert für die Grundwasserneubildung und die Wasserverfügbarkeit aus Grundwasser für Bevölkerung und Wirtschaft zu betrachten. Um die Grundwasserneubildung zu modellieren, werden als Eingangsgrößen neben den Daten zur Niederschlagshöhe und zur potenziellen Evapotranspiration (Klimasignale) zahlreiche andere Informationen gebraucht, etwa Daten zur **Versiegelung des Bodens**, zur **Landbedeckung** und **bodenkundliche Informationen**.[660] Diese können als Sensitivitätsfaktoren für diesen ersten Teil des Wirkstrangs gesehen werden.

Die Sensitivität hinsichtlich der Wasserversorgung von Bevölkerung und Wirtschaft ergibt sich vor allem aus dem **Stress**, dem die Grundwasserressourcen ausgesetzt sind. Gemeint ist damit, ob die Grundwasserkörper nachhaltig genutzt werden und die Ressource damit langfristig verfügbar bleibt. Als übernutzt gilt Grundwasser häufig, wenn die Grundwasserentnahmen 20 % der Grundwasserneubildung übersteigen.[661] Der mengenmäßige Zustand nach Wasserrahmenrichtlinie wird für die 55 Grundwasserkörper im Hauptgrundwasserleiter als gut eingestuft.[662] Die Netto-Grundwasserneubildung hat sich in Schleswig-Holstein in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich verändert (siehe 13.6.3 Ausprägung der Klimawirkung). Die durch öffentliche Wasserversorgungsunternehmen aus Grundwasser gewonnene Wassermenge hat seit 1995 leicht zugenommen (siehe Abbildung 112). Da die für Endverbraucher an Haushalte und Kleingewerbe abgegebene Wassermenge im Gegensatz dazu leicht gesunken ist und auch der Wasserverbrauch je Einwohnerin und Einwohner

[660] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653

[661] Riedel T., Nolte C., aus der Beek T., Liedtke J., Sures B., Grabner, D. 2021: Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung – Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und den existierenden Maßnahmen und Strategien. Umweltbundesamt: S. 37. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/niedrigwasser-duerre-grundwasserneubildung

[662] Ergebnis der Erhebungen im dritten Bewirtschaftungszeitraum nach Wasserrahmenrichtlinie (Stand: 2021; Daten bis 2018 berücksichtigt), hier abzurufen: https://umweltanwendungen.schleswig-holstein.de/fachauswertungweb/q/6HFCVzKNZ5QJ17iH8oZtWP

in Schleswig-Holstein seit 1995 gesunken ist, ist davon auszugehen, dass gewerbliche und andere Abnehmer[663] einen steigenden Wasserbedarf haben.

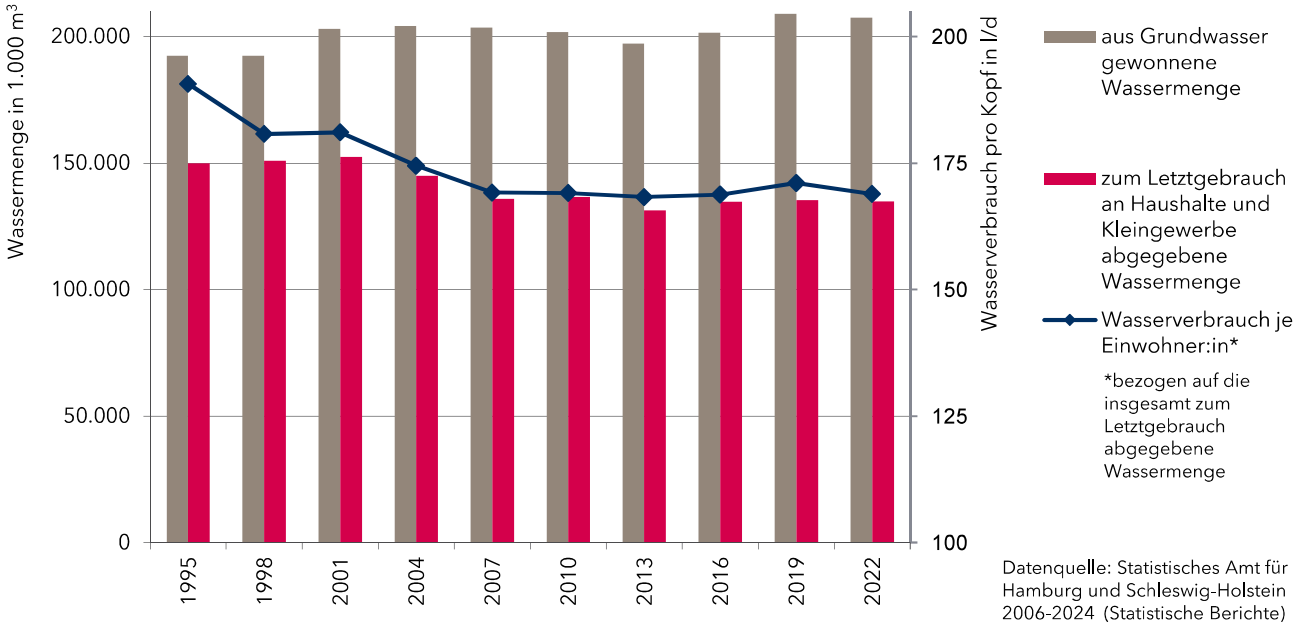


Abbildung 112: Aus Grundwasser gewonnene Wassermenge und Wasserverbrauch von Haushalten und Kleingewerbe in Schleswig-Holstein

Grundsätzlich ist es so, dass der mit Anstand größte Anteil des geförderten Grundwassers als Trink- und Brauchwasser an Haushalte und Gewerbe abgegeben wird (siehe Abbildung 113). Bedeutende Grundwasserentnahmen tätigen zudem die Landwirtschaft, die Industrie sowie im Einzugsgebiet der Elbe der Bergbau.

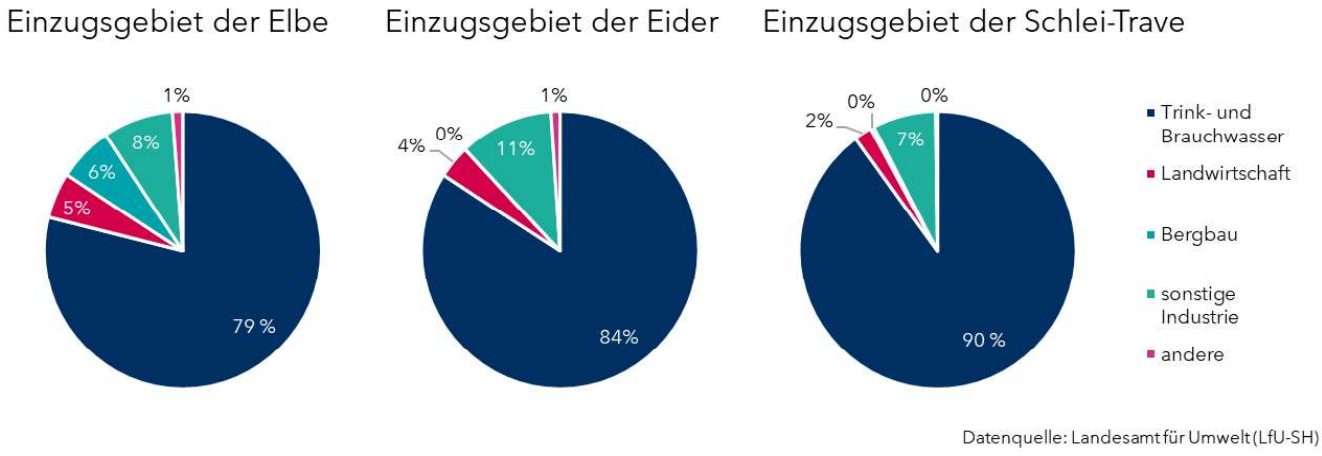


Abbildung 113: Genehmigte Entnahmen aus dem Grundwasser nach Sektor und Flusseinzugsgebiet

Ein weiterer Sensitivitätsfaktor ist die bestehende **Grundwasserversalzung**. Wo Meerwasser in küstennahe Grundwasserkörper eindringt, ist dessen Nutzung erheblich eingeschränkt. In Schleswig-Holstein reicht die Küstenversalzung an der Nordsee bis zu 15 km weit ins Landesinnere, während sie an der Ostseeküste nur eine geringe Ausdehnung hat (siehe Abbildung 114).[664] Nach Grube et al. (2000) erwachsen daraus jedoch „meist keine großen wasserwirtschaftlichen

[663] Wasserabgabe zum Letztgebrauch bezeichnet Wasserabgabe an private Haushalte (einschließlich Handwerk und Kleingewerbe), gewerbliche Unternehmen (produzierendes Gewerbe, Handel, Verkehr, Dienstleistungen) und sonstige Abnehmer (z. B. Krankenhäuser und Schulen, Behörden und kommunale Einrichtungen, Bundeswehr, landwirtschaftliche Betriebe und Einrichtungen für öffentliche Zwecke), mit denen die für die öffentliche Wasserversorgung tätigen Unternehmen das abgegebene Wasser unmittelbar abrechnen.

[664] Grube A., Wiechmann K., Hahn J., Nachtigall K. H. 2000: Geogene Grundwasserversalzung in den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. - Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Band 9

Probleme"[665], während im Ballungsraum Lübeck die Probleme mit der Grundwasserversalzung dazu geführt haben, dass neue Standorte erschlossen werden sollten.[666] Steigt der Meeresspiegel im Zuge des Klimawandels, könnte es zu Meerwasserintrusion in Grundwasserkörper kommen, die jetzt noch nicht versalzen sind. Dies könnte deren Nutzung künftig einschränken.

Abbildung 114: Grundwasserversalzung in Schleswig-Holstein



Auch der **chemische Zustand der Grundwasserkörper** ist von Bedeutung. Er wird ebenfalls im Rahmen der Bewertung des Gewässerzustandes gemäß Wasserrahmenrichtlinie erhoben und berücksichtigt, ob Nitrat, Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln oder andere Schadstoffe im Grundwasser enthalten sind. Sie erschweren die Aufbereitung des Grundwassers als Trinkwasser. 21 der 55 Grundwasserkörper im Hauptgrundwasserleiter haben aktuell (Bewirtschaftungsplan 2021) einen schlechten chemischen Zustand.[667]

13.6.3 Ausprägung der Klimawirkung

13.6.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Das Indikatorset zum Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein beinhaltet einen veröffentlichten Indikator zum Grundwasserstand (WW-I-1 Grundwasserstand [668]). Er bildet für den Zeitraum 1961-2024, gemittelt über sieben Grundwassermessstellen, die Anzahl der Monate im Jahr ab, an denen der mittlere höchste Grundwasserstand der Referenzperiode 1961-1990 überschritten wurde. Der mittlere höchste Grundwasserstand wurde dabei messstellenspezifisch bestimmt, indem für jedes Jahr der Referenzperiode der höchste Grundwasserstand einer Messstelle ermittelt wurde und diese Werte

[665] Grube et al. 2000, s. Fußnote 664: S. 95

[666] Grube et al. 2000, s. Fußnote 664: S. 96

[667] Umweltportal Schleswig-Holstein, s. Fußnote 662

[668] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt WW-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/grundwasser.pdf

dann über die gesamte Referenzperiode gemittelt wurden. Anschließend wurde messstellenspezifisch für jedes Jahr die Anzahl der Monate mit Überschreitung des mittleren höchsten Grundwasserstands gezählt. Diese Anzahl wurde dann über alle betrachteten Messstellen gemittelt. Analog stellt der Indikator für die sieben Grundwassermessstellen die Anzahl der Monate im Jahr dar, an denen der mittlere niedrigste Grundwasserstand der Referenzperiode 1961-1990 unterschritten wurde. Die Zeitreihen zeigen witterungsbedingt deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Außerdem sind zyklische Veränderungen in der Zeitreihe erkennbar. Dennoch ist in beiden Zeitreihen ein statistisch signifikanter Trend feststellbar: Die Überschreitungen des mittleren höchsten Grundwasserstands haben von 1961 bis 2024 signifikant abgenommen. Die Unterschreitungen des mittleren niedrigsten Grundwasserstands haben im gleichen Zeitraum signifikant zugenommen. Das heißt, dass die Grundwasserstände an diesen Messstellen sinken (siehe Abbildung 115).

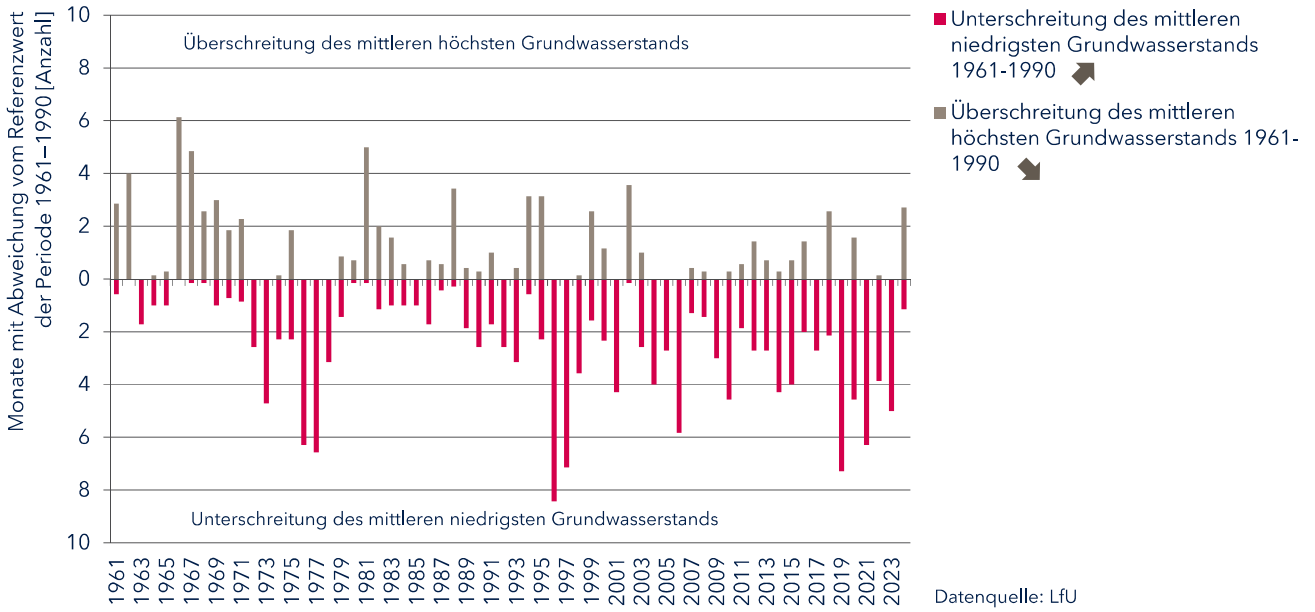


Abbildung 115: Klimafolgenmonitoring-Indikator Indikator WW-I-1 „Grundwasserstand"

McNamara et al. (2025)[669] haben, im Auftrag des und in enger Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, die Grundwasserneubildung für Schleswig-Holstein modelliert, sowohl für vergangene Zeiträume als auch für die Zukunft. Genutzt wurde dafür das Modell mGROWA, das in der Lage ist, für jede Rasterzelle[670] (hier 100 x 100 m Größe) in täglicher Auflösung und über mehrere Bodenschichten den Wasserhaushalt zu berechnen. Abbildung 116 zeigt die Ergebnisse der Modellierung für die Zeiträume 1971-2000, 1981-2010 und 1971-2020. Am höchsten ist die mittlere jährliche Netto-Grundwasserneubildung[671] im Bereich der Geest. In der westlichen Elbmarsch ist das Grundwasser sehr oberflächennah und kann direkt verdunsten. Hinzu kommt die künstliche Entwässerung zur Landgewinnung. Daher ist die Netto-Grundwasserneubildung hier geringer. Im Östlichen Hügelland ist die Grundwasserneubildung aufgrund der geringeren Niederschläge, aber auch aufgrund der geringeren Durchlässigkeit bindiger Deckschichten geringer. Das räumliche Mittel der mittleren jährlichen Netto-Grundwasserneubildung für Schleswig-Holstein im Zeitraum 1991-2020 lag bei 151 mm im Jahr.[672] Da die Ergebnisse für die drei Zeiträume recht ähnlich sind und die Differenzen zwischen den Zeiträumen keine eindeutige Entwicklungsrichtung erkennen lassen, sehen die Autoren aktuell noch keine Auswirkungen des Klimawandels auf die langfristige mittlere Grundwasserneubildung.[673] Das räumliche Mittel der jährlichen Netto-

[669] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653

[670] ausgenommen Rasterzellen, die Oberflächengewässern entsprechen (McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 60)

[671] McNamara et al. 2025 haben die Brutto-Grundwasserneubildung und die Netto-Grundwasserneubildung modelliert. Die Brutto-Grundwasserneubildung beschreibt dabei die Wassermenge, die dem Grundwasser zuströmt, der kapillare Aufstieg und die direkte Evapotranspiration aus dem Grundwasser sind nicht berücksichtigt. In die Modellierung der Netto-Grundwasserneubildung hingegen ist der kapillare Aufstieg und die direkte Evapotranspiration aus dem Grundwasser auf grundwasserbeeinflussten Standorten eingeflossen, sodass sie dem realen Anstieg der Grundwassermenge besser entspricht (McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: Seite 60).

[672] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 61

[673] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 71

Grundwasserneubildung lag im Zeitraum 1981-2010 bei durchschnittlich 162 mm im Jahr und im Zeitraum 1971-2000 bei durchschnittlich 150 mm im Jahr.[674]

Die Grundwasserneubildung hat eine natürliche, innerjährliche Variabilität. In den Monaten November bis Januar ist die Grundwasserneubildung am höchsten, während sie in den Monaten Mai bis Juli besonders gering ist. In diesen Monaten ist die modellierte Grundwasserneubildung in Teilen des Landes negativ.[675]

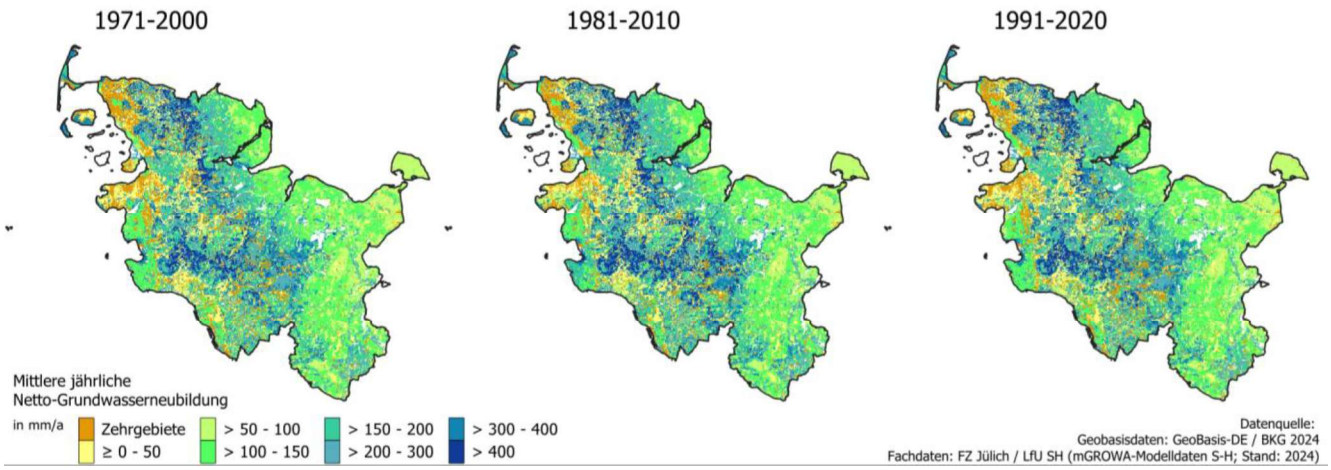


Abbildung 116: Mittlere jährliche Netto-Grundwasserneubildung in Schleswig-Holstein[676]

Für die Zukunft zeigt die Klimaanalyse für Schleswig-Holstein, dass die Projektionen der Niederschlagsmenge im Gegensatz zu denen der Lufttemperatur in ihrer Entwicklungsrichtung nicht für ganz Schleswig-Holstein eindeutig sind (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27). Im Worst-case (hier RCP8.5, 15. Perzentil) bleibt die Jahresniederschlagsmenge weitestgehend stabil mit leichten Zunahmen in einigen Landesteilen und leichten Abnahmen vor allem in der südlichen Hälfte des Landes. Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag nehmen den Projektionen zufolge zu, im Falle des Worst-case (hier das 85. Perzentil) könnte es bis zum Ende des Jahrhunderts im Norden und Westen Schleswig-Holsteins zu einer Verdopplung der Anzahl dieser Tage kommen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 28). Eine Projektion der klimatischen Wasserbilanz zeigt im Worst-case (hier das 15. Perzentil) eine leichte Zunahme entlang der Nordseeküste und eine Abnahme im Südosten des Landes.[677]

McNamara et al. (2025) haben Projektionen der Grundwasserneubildung für die RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 berechnet. Für diese Klimarisikoanalyse werden die Projektionen für das RCP8.5 näher betrachtet. Der Modellierung liegen Projektionen zur Niederschlagsmenge und zur potenziellen Evapotranspiration von 21 Klimamodellen zugrunde. Projiziert wurden die Zeiträume 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100. Die Mediane aller Modelle (50. Perzentil) zeigen eine leichte Zunahme der landesweiten jährlichen mittleren Netto-Grundwasserneubildung bis zu 10 mm im Jahr in der fernen Zukunft (siehe Tabelle 56). Dabei ist für die Sommermonate erst gegen Ende des Jahrhunderts ein leichter Rückgang zu erkennen, während der allgemeine Anstieg der Grundwasserneubildung auf einen Anstieg in den Wintermonaten zurückzuführen ist. Das hier relevante Worst-case-Szenario (15. Perzentil) ergab eine leichte Abnahme der landesweiten jährlichen mittleren Netto-Grundwasserneubildung gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000 um 14 mm im Jahr bis zum Zeitraum 2041-2070 und um 16 mm im Jahr bis zum Ende des Jahrhunderts. Abbildung 117 zeigt die Ergebnisse räumlich differenziert. Zu erkennen ist, dass der im 15. Perzentil projizierte Rückgang der Grundwasserneubildung von Osten nach Westen hin zunimmt. Nordwestlich von Hamburg, wo besonders viel Grundwasser gewonnen wird, könnte es im Falle dieses Worst-case zu einem Rückgang der Grundwasserneubildung um 10 bis 20 mm im Jahr kommen. Auch der stark genutzte Grundwasserkörper in der südlichen Vorgeest könnte von einem solchen Rückgang der Grundwasserneubildung bis zur Mitte des Jahrhunderts, bis zum Ende des Jahrhunderts sogar von einem Rückgang um 20 bis 30 mm im Jahr betroffen sein. Die stärkste Abnahme ist in den Marschen zu erkennen, wo jedoch kaum Grundwasser gefördert wird. An der Nordseeküste

[674] eigene Auswertung aus den Daten von McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653

[675] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 77

[676] Die Daten entstammen der Studie von McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653.

[677] s. Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft

kommt zudem das Thema der Meerwasserintrusion hinzu, das durch den steigenden Meeresspiegel hier künftig an Bedeutung gewinnen könnte.

Tabelle 56: Zusammenfassung der Mediane (50. Perzentil) sowie der 15. und 85. Perzentile für die mittlere jährliche Netto-Grundwasserneubildung in Schleswig-Holstein unter der Annahme des RCP8.5-Szenarios. Alle Werte sind in mm/a angegeben. Der erste Wert in jeder Zelle ist die absolute Netto-Grundwasserneubildung, während der Wert in Klammern die Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum 1971-2000 angibt.
Quelle: McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 117

Zeitraum	**RCP8.5**		
	15 %	**50 %**	**85 %**
2011-2040	144 (-6)	156 (+6)	177 (+27)
2041-2070	136 (-14)	159 (+9)	180 (+30)
2071-2100	134 (-16)	160 (+10)	213 (+63)

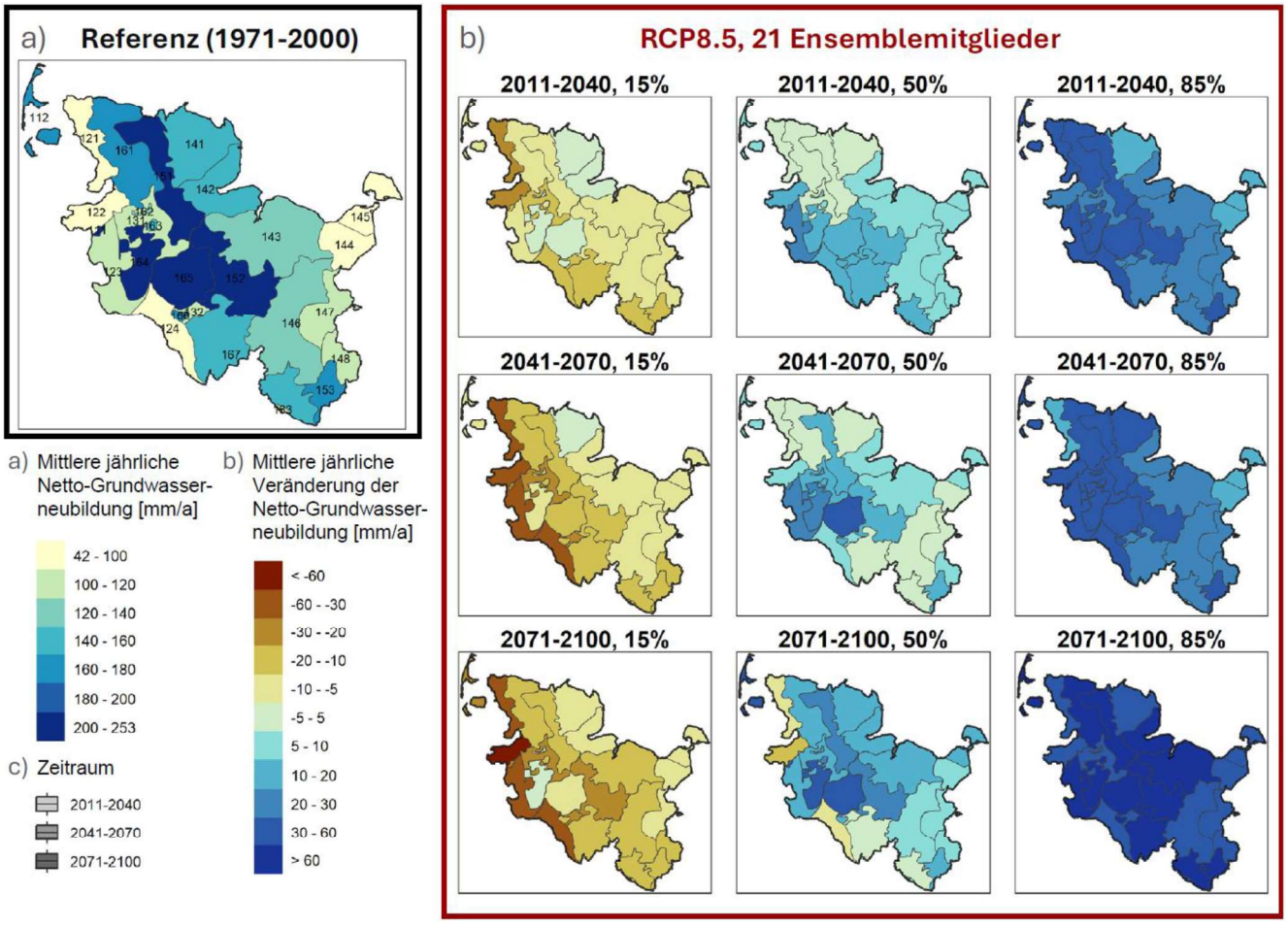


Abbildung 117: a) Referenzwerte der räumlichen Mittelwerte der simulierten Netto-Grundwasserneubildung anhand beobachteter klimatischer Inputs für 1971-2000; b) räumliche Mittelwerte der Veränderung der Netto-Grundwasserneubildung für die Zeiträume 2011-2040, 2041-2071 und 2071-2100, berechnet für das 15., 50. und 85. Perzentil der 21 RCP8.5-Ensemblemitglieder. Die räumlichen Mittelwerte werden für die 27 hydrogeologischen Räume in Schleswig-Holstein nur über die Landflächen berechnet.
Quelle: McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 128

Zu bedenken ist bei der Betrachtung der Ergebnisse, dass in der Studie von McNamara et al. (2025) wesentlich mehr Klimamodelle eine signifikante Zunahme der Grundwasserneubildung berechneten als eine signifikante Abnahme. Jedoch

gelten die Projektionen der einzelnen Modelle alle als gleich wahrscheinlich.[678] Somit ist die Entwicklungsrichtung der Grundwasserneubildung nicht eindeutig und die Autoren bezeichnen ihre Ergebnisse als nicht robust.[679] Hinzu kommt, dass der monatliche Grundwasserstand im Boden für grundwasserbeeinflusste Flächen im Modell mGROWA als Randbedingung gesetzt wird und für die Projektionen bis zum Ende des Jahrhunderts als konstant angenommen wurde. Ebenso wurden andere Eingangsgrößen wie die versiegelten Flächen, die Landbedeckung und die künstlich entwässerten Flächen als konstant angenommen, sodass letztlich nur die eingehenden Klimadaten für die Betrachtung der Zukunft verändert wurden.

Die rückläufige Grundwasserneubildung steht gegebenenfalls einem zunehmenden Wasserbedarf der Haushalte gegenüber, verursacht durch die Zunahme an Sommertagen und Heißen Tagen, insbesondere im Süden Schleswig-Holsteins. Der Süden Schleswig-Holsteins verzeichnet nicht nur jetzt schon mehr Heiße Tage als der Norden des Landes. Die Klimamodelle projizieren für den Süden auch eine stärkere Zunahme. Hier könnte sich die Anzahl der Heißen Tage schon zur Mitte des Jahrhunderts mehr als verdoppeln (siehe Klimaanalyse, Abbildung 25). Rund um die Metropole Hamburg, wo schon jetzt zum Teil besonders viel Grundwasser gewonnen wird, könnte der Wasserbedarf auch aufgrund des Bevölkerungswachstums zunehmen.[680]

Mit Blick auf die Industrie sieht das Projekt WatDEMAND einen rückläufigen Wasserbedarf, vor allem in den Landkreisen Steinburg, Dithmarschen, Pinneberg und Herzogtum Lauenburg. Auch für Hamburg wird ein größerer Rückgang des industriellen Wasserbedarfs projiziert.[681] Dies könnte die Klimawirkung abschwächen. Jedoch besteht zugleich die Möglichkeit, dass neue Wasserbedarfe entstehen, beispielsweise durch den Ausbau von grüner Industrie und Dekarbonisierung (die Herstellung von grünem Wasserstoff beispielsweise bedarf viel Wasser[682]) oder durch Ansiedlung von Batteriefabriken oder Chip-Herstellern. Eine detaillierte Betrachtung der Endverbraucher wäre für regionale Klimarisikoanalysen folglich wichtig. Auf Landesebene erarbeitet das Land Schleswig-Holstein derzeit eine Wasserbedarfsprognose, die zu diesen Entwicklungen künftig weitere Informationen liefern wird.

WatDEMAND geht von einer Ausweitung des Bewässerungsbedarfs in der Landwirtschaft mit fortschreitendem Klimawandel aus. Diese könnte ebenfalls vor allem im Süden Schleswig-Holsteins relevant sein[683]. Wird dann noch davon ausgegangen, dass die deutschen Küstenregionen an Attraktivität für Touristen gewinnen, unter anderem weil andere Destinationen im Sommer zu heiß werden und gleichzeitig das Fliegen aufgrund von Klimaschutzbemühungen an Attraktivität verliert, sollte grundsätzlich mit steigenden Wasserbedarfen in Schleswig-Holstein gerechnet werden. Ein nachhaltiges Grundwassermanagement ist folglich umso wichtiger, insbesondere in den Regionen mit zu erwartenden knapperen Ressourcen sowie steigenden Wasserbedarfen.

[678] Dies ist ein Grund, warum bei der Modellierung des Klimas und von Folgen des Klimawandels in der Regel mit Modellensembles gearbeitet wird.

[679] McNamara et al. 2025, s. Fußnote 653: S. 111

[680] Zaun et al. 2025, s. Fußnote 656: Folien 10f

[681] Zaun et al. 2025, s. Fußnote 656: Folie 14

[682] siehe hierzu Klimawirkung „Mangelndes Kühlwasser für die Wasserelektrolyse" im Handlungsfeld Energieinfrastruktur

[683] Zaun et al. 2025, s. Fußnote 656: Folie 22

13.7 Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten“

13.7.1 Die Klimawirkung im Überblick

Niederungen, das heißt Gebiete unterhalb von 2,5 m Normalhöhennull (NHN), umfassen etwa 20 % der Landesfläche Schleswig-Holsteins.[684] Ein großer Teil dieser Niederungen (rund 30 %) liegt sogar unterhalb des mittleren Meeresspiegels.[685] Heute werden diese Flächen vielfältig genutzt: Sie sind besiedelt, werden landwirtschaftlich bewirtschaftet oder dienen als Standort von Infrastrukturen wie Energieerzeugungsanlagen. Möglich ist dies durch die Eindeichung und ein intensives Entwässerungssystem. Der Prozess, die Besiedlung und Nutzung der Niederungen, die zuvor im Winter häufig überschwemmt wurden, deutlich auszubauen, wurde im Rahmen des Programms Nord ab den 1950er-Jahren begonnen.[686]

Heute sehen sich die Niederungsgebiete vielfältigen Herausforderungen gegenüber. Der Klimawandel führt zu steigenden Meeresspiegeln an Nord- und Ostsee und gleichzeitig zu einer Zunahme der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten. Hinzu kommen unter anderem Geländehöhenverluste entwässerter organischer Böden, Flächenversiegelungen in den Einzugsgebieten der Fließgewässer, wodurch der oberflächliche Abfluss zunimmt und Retentionsräume verloren gehen, sowie ein erheblicher Modernisierungsbedarf der wasserwirtschaftlichen Anlagen, die vielfach aus den 1950er bis 1970er Jahren stammen.[687] All diese Punkte zusammen können zu einer Überlastung der Entwässerungseinrichtungen in den Niederungsgebieten führen.

Das Land Schleswig-Holstein hat im Jahr 2024 eine Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100 mit dem Titel „Zukunft Niederungen“ verabschiedet.[688] Diese beschreibt die aktuellen und künftigen Herausforderungen im Detail und beinhaltet eine räumlich differenzierte Betroffenheitsanalyse, die angibt, in welchen Regionen Anpassungen der Wasserwirtschaft und der davon abhängigen Landnutzung besonders dringend sind. In den sechs Handlungsfeldern Wasserwirtschaft, Raumordnung, Landwirtschaft, Naturschutz und Biodiversität, ländliche Entwicklung sowie Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung sind in der Strategie Ziele und Maßnahmen für den Umgang mit den Schleswig-Holsteinischen Niederungen in den kommenden Jahrzehnten definiert. Die folgenden Ausführungen basieren zu einem großen Teil auf den umfangreichen Arbeiten, die im Zuge der Strategieentwicklung geleistet wurden, um die aktuelle und die zukünftige Situation der Niederungsgebiete zu beschreiben.

13.7.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

13.7.2.1 Klimasignale

Die Arbeitslast der komplexen und mehrstufigen Entwässerungseinrichtungen in den Niederungsgebieten ist stark abhängig vom lokalen Niederschlag. Insbesondere die **Niederschlagsmenge** in den Wintermonaten ist von Bedeutung. Im Winter kommen mehrere Faktoren zusammen, die Überschwemmungen in den Niederungsgebieten wahrscheinlicher machen. Der Boden ist im Winter häufig gefroren oder mit Wasser gesättigt, sodass er kaum oder gar kein Wasser aufnehmen kann. Zugleich ist die Verdunstung im Winter deutlich geringer als im Sommer. Niederschläge fließen damit verstärkt oberflächlich ab und sammeln sich in den Fließgewässern. Diese führen in der Folge im Winter häufiger Hochwasser als im Sommer. Wenn es zur Schneeschmelze kommt, fließt zudem viel Wasser in einem kurzen Zeitraum oberflächlich ab, was Fließgewässer und Gräben überlasten kann. Die Jahresniederschlagsmenge in Schleswig-Holstein steigt und das aufgrund zunehmender Niederschlagsmengen im Winter, denn für die Sommermonate zeigt sich bisher kein statistisch signifikanter

[684] MEKUN (Hrsg.) 2024: Zukunft Niederungen. Strategie für die Zukunft der Niederungen bis 2100: S. 11. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen/downloads/Strategiepapier_Niederungen_Dez.2024.pdf

[685] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 19

[686] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 4

[687] MEKUN 2024, s. Fußnote 684, sowie MEKUN 2026: Zukunft Niederungen. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/kueste-wasser-meer/niederungen

[688] MEKUN 2024, s. Fußnote 684

Trend (siehe Klimaanalyse[689], Abbildungen 9 und 12). Im Norden und Westen Schleswig-Holsteins regnet es deutlich mehr als im Süden und Osten. Besonders viel Niederschlag fällt bei Flensburg, im Norden der Schleswiger Vorgeest und in Teilen der Heide-Itzehoer Geest. Hier fielen im vergangenen Jahrzehnt über 950 mm Niederschlag im Jahr. Auf Fehmarn waren es hingegen unter 600 mm.

Besonders belastet ist die Entwässerungsinfrastruktur, wenn lokal sehr viel Niederschlag in kurzer Zeit fällt. Es wird davon ausgegangen, dass **Starkregenereignisse** im Zuge des Klimawandels an Häufigkeit und Intensität zunehmen, weil wärmere Luft mehr Wasser speichern kann. Als Proxyindikator für Tage mit Starkregenereignissen wird in Klimaanalysen in der Regel die Anzahl der Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag verwendet[690]. Im Zeitraum 1951 bis 2023 zeigt sich für die Anzahl dieser Tage noch kein statistisch signifikanter Trend (siehe Klimaanalyse, Abbildung 14). Doch es gibt wie bei der Jahresniederschlagsmenge erhebliche räumlich Unterschiede. Im Norden und Westen Schleswig-Holsteins gibt es bis zu 6,5 Tage mit starkem Niederschlag im Jahr, während es im Süden und Osten des Landes zwischen 2,5 und vier sind. Besonders viele Tage mit starkem Niederschlag gibt es in Schleswig und Umland.

Wesentliche Faktoren im Zusammenhang mit der Entwässerung der Niederungsgebiete sind auch die **Höhe des Meeresspiegels** sowie **Sturmfluten**. Sturmfluten treten an Nord- und Ostsee häufig in den Wintermonaten auf. Der Indikator KUE-I-2 „Sturmfluten" des Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein[691] zeigt für drei der vier betrachteten Pegel eine statistisch signifikante Zunahme des jährlichen höchsten (Tide-)Hochwassers. Das bedeutet, dass Sturmfluten in der Tendenz höher auflaufen. Folge können länger andauernde Sperr- und Kettentiden sein, die eine Entwässerung der Niederungen teilweise über mehrere Tage infolge verhindern. Als Sperrtiden werden Tidehochwasserstände bezeichnet, die eine Schließung der Sperrwerke und Siele zur Folge haben, um eine Überflutung des dahinter liegenden Landes zu vermeiden. Kettentiden sind eine Abfolge von Sperrtiden, die zeitlich unmittelbar aufeinander folgen und bei denen die die Tore von Sperrwerken und Sielen selbst bei Tideniedrigwasser nicht geöffnet werden. Insbesondere solche Kettentiden können zu Ausuferungen der Binnengewässer führen, verstärkt noch dadurch, dass Sturmfluten häufig mit starken oder langanhaltenden Niederschlägen verbunden sind. An der Ostseeküste könnte im Bereich der Regionaldeiche mit den höher auflaufenden Sturmfluten auch die Gefahr einer Überflutung der Niederungen mit Meerwasser steigen.[692] Hier gibt es im Vergleich zur Nordsee jedoch deutlich kleinere Niederungsbereiche. Gleichzeitig kann bei erhöhten Außenwasserständen das Gefälle der Entwässerungskanäle und Vorfluter so gering werden, dass es nicht mehr ausreicht, um das Wasser aus dem Binnenland im freien Gefälle in die Nord- oder Ostsee abzuleiten. Bestehende Schöpfwerke müssen bei höheren Außenwasserständen mehr leisten und möglicherweise bedarf es zusätzlicher Schöpfwerke, wo das Gefälle aktuell noch ausreicht und die Entwässerung über Siele erfolgt. Dass der Meeresspiegel steigt, zeigt der Indikator KUE-I-1 „Meeresspiegel" des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holstein[693]. Das mittlere jährliche (Tide-)Mittelwasser der zwei Nordsee-Pegel und der zwei Ostsee-Pegel, deren Daten in den Indikator eingeflossen sind, zeigt statistisch signifikant steigende Werte.

13.7.2.2 Exposition

Die Exposition zur Klimawirkung „Überlastung von Entwässerungseinrichtungen in Niederungsgebieten" muss über zwei Faktoren abgebildet werden. Zum einen über die **Lage der Niederungen** in Schleswig-Holstein, zum anderen aber auch über die **Lage der Entwässerungseinrichtungen**, denen die Überlastung droht. Für diese Analyse wird davon ausgegangen, dass sich weder die Lage der Niederungen. noch die Standorte der Entwässerungseinrichtungen verändern.

---

[689] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[690] Für nähere Informationen zu Erfassung von Starkregenereignissen in Deutschland mithilfe der Radarklimatologie seit dem Jahr 2001 siehe Klimawirkung „Schäden in Siedlungen durch Starkregen" im Handlungsfeld „Stadt- und Siedlungsentwicklung". Landesweit betrachtet, zeigt sich für Schleswig-Holstein bisher kein statistisch signifikanter Trend in dieser Zeitreihe.

[691] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-2:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/sturmfluten.pdf

[692] Für Regionaldeiche bestehen im Allgemeinen geringere Sicherheitsstandards als für Landesschutzdeiche, die häufig mit einer zweiten Deichlinie oder sonstigen Hochwasserschutzanlagen zusammenwirken. Im Bereich der Schleswig-Holsteinischen Ostsee-Küste sind deutlich weniger Landesschutzdeiche vorhanden als an der Nordseeküste. (Winskowsky U., Matelski B. 2018: Modellbasierte Sicherheitsüberprüfung von Deichen an der Westküste Schleswig-Holsteins. In: Die Küste, 86 (2018), 521-529. https://izw.baw.de/publikationen/die-kueste/0/k086132.pdf) Bei der Ostseesturmflut im Oktober 2023 beispielsweise brachen mehrere Regionaldeiche.

[693] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt KUE-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/meeresspiegel.pdf

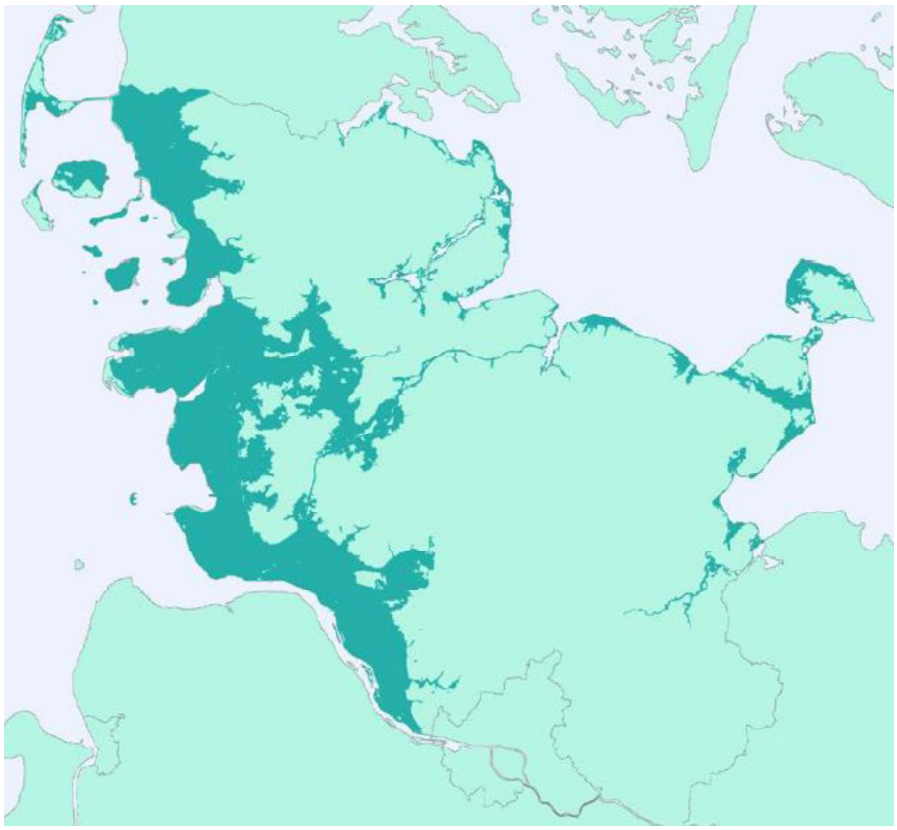


Abbildung 118: Verbreitung der Niederungsgebiete – definiert als Flächen unter 2,5 m NHN – in Schleswig-Holstein (Quelle: MEKUN 2024, siehe Fußnote 684: S. 17)

Zwar ist es möglich, dass nach der hier verwendeten Definition der Niederungsgebiete (< 2,5 m NHN) aufgrund von Höhenverlusten organischer Böden (siehe unten) weitere Flächen unter diesen Schwellenwert fallen, aber dies sollte nur in sehr geringem Umfang der Fall sein. Die Strategie für die Zukunft der Niederungen, zielt darauf ab, weitere Geländehöhenverluste möglichst zu verhindern. Eine Projektion der Niederungsgebiete auf Landesebene ist daher insgesamt nicht sinnvoll. Ebenso ist es in der Vergangenheit schon vorgekommen, dass die landwirtschaftliche Nutzung großräumig vernässter Flächen aufgegeben und die Entwässerungseinrichtungen vor Ort zurückgebaut wurden.[694] Da es jedoch Ziel der Strategie für die Zukunft der Niederungen ist, vor allem Siedlungen, kritische Infrastrukturen und Hochwasserschutzanlagen zu schützen, ist nicht von einem großräumigen Rückbau der Entwässerungsinfrastruktur auszugehen.

[694] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 44

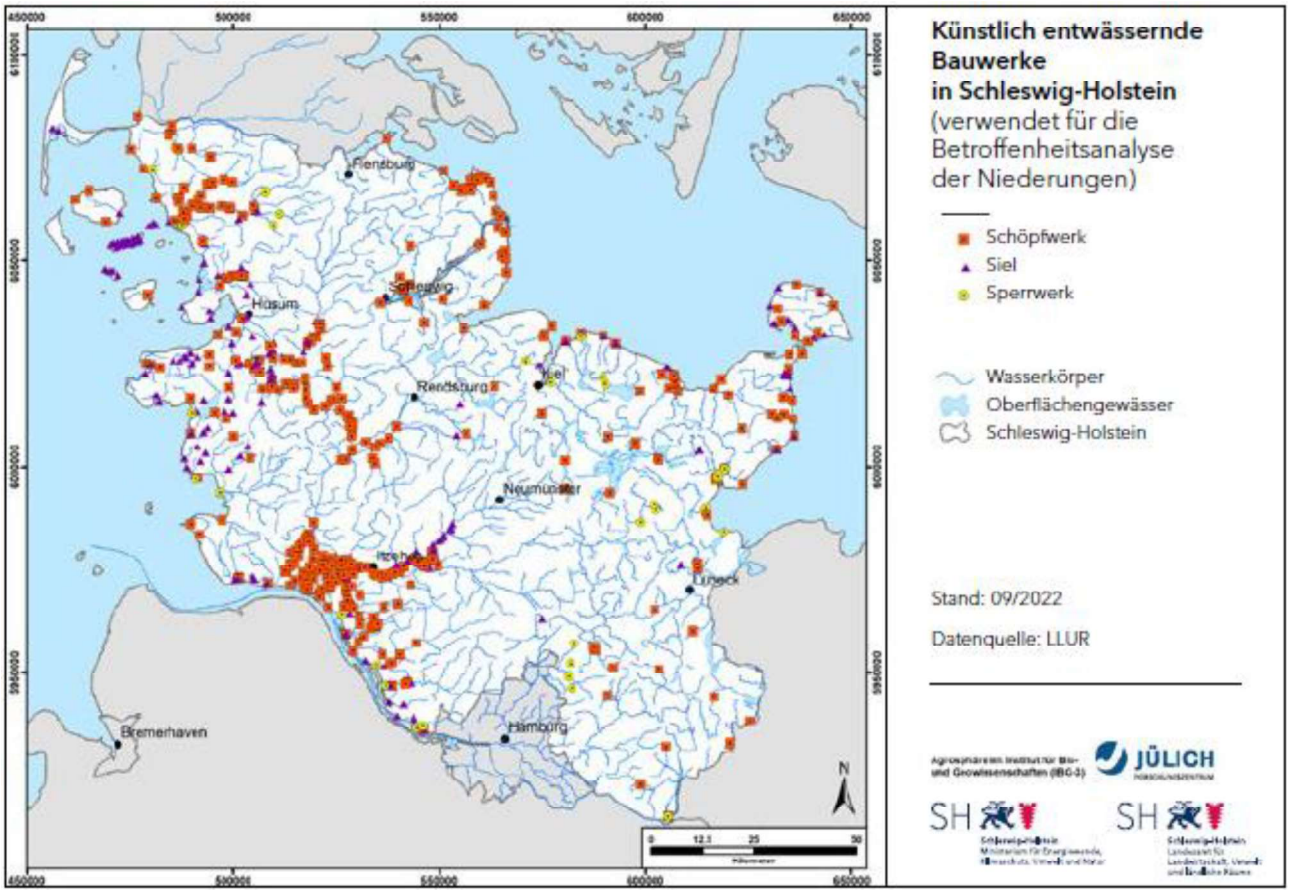


Abbildung 119: Verbreitung der Entwässerungsanlagen (Schöpfwerke, Siele und Sperrwerke) nach Angaben im Amtlichen Wasserwirtschaftlichen Gewässerverzeichnis (AWGV) (Quelle: MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 39).

13.7.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität der Niederungen gegenüber Klimaänderungen wird zum einen durch ihre **Geländehöhe** bestimmt. Die Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen definiert vier Kategorien der Geländehöhe (siehe Strategie für die Zukunft der Niederungen, Abbildung 8), wobei hier nicht das Wort „Sensitivität" verwendet wird, sondern synonym von „Betroffenheit" gesprochen wird: keine Betroffenheit (> 2,5 m NHN), geringe Betroffenheit (> 0,5-2,5 m NHN), mittlere Betroffenheit (> 0-0,5 m NHN) und hohe Betroffenheit (≤ 0 m NHN). Je geringer die Geländehöhe ist, desto größer sind die Anforderungen an die Entwässerungssysteme, um ausufernde Gewässer und Überflutungen zu vermeiden. Wichtig für die Sensitivität ist zudem die **Bodenart**. Kohlenstoffreiche Böden wie Moore senken sich durch die Entwässerung, da zum einen Porenvolumen verloren geht und zum anderen die organische Bodensubstanz mikrobiell abgebaut wird. Auch diese Sensitivität wird in der Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen in vier Klassen abgebildet (siehe Strategie für die Zukunft der Niederungen, Abbildung 9). Eine hohe Betroffenheit haben Moorböden mit ≥ 30 cm Torf über Mineralboden. Eine mittlere Betroffenheit zeichnet die Bodentypen Moorgley (0 bis < 30 cm Torf über Mineralboden) und Anmoorgley (15 bis < 30 % organische Substanz) aus. Und eine geringe Betroffenheit haben flache Mineralböden (0-30 cm) über organischen Schichten.

Zusätzlich bildet die Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen die **Anzahl der künstlich entwässernden Anlagen** je Bearbeitungsgebietsverband als Betroffenheitsfaktor für die Niederungen ab (siehe Strategie für die Zukunft der Niederungen, Abbildung 11). Abbildung 120 zeigt das Gesamtergebnis der Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen. Eine hohe Betroffenheit besteht demnach beispielsweise in den Elbmarschen, in der Eider-Treene-Sorge-Niederung, im Nordwesten des Kreises Nordfriesland sowie entlang der Ostseeküste im Oldenburger Graben, am Barsbeker See und teilweise an der Küste Fehmarns.[695]

[695] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 40

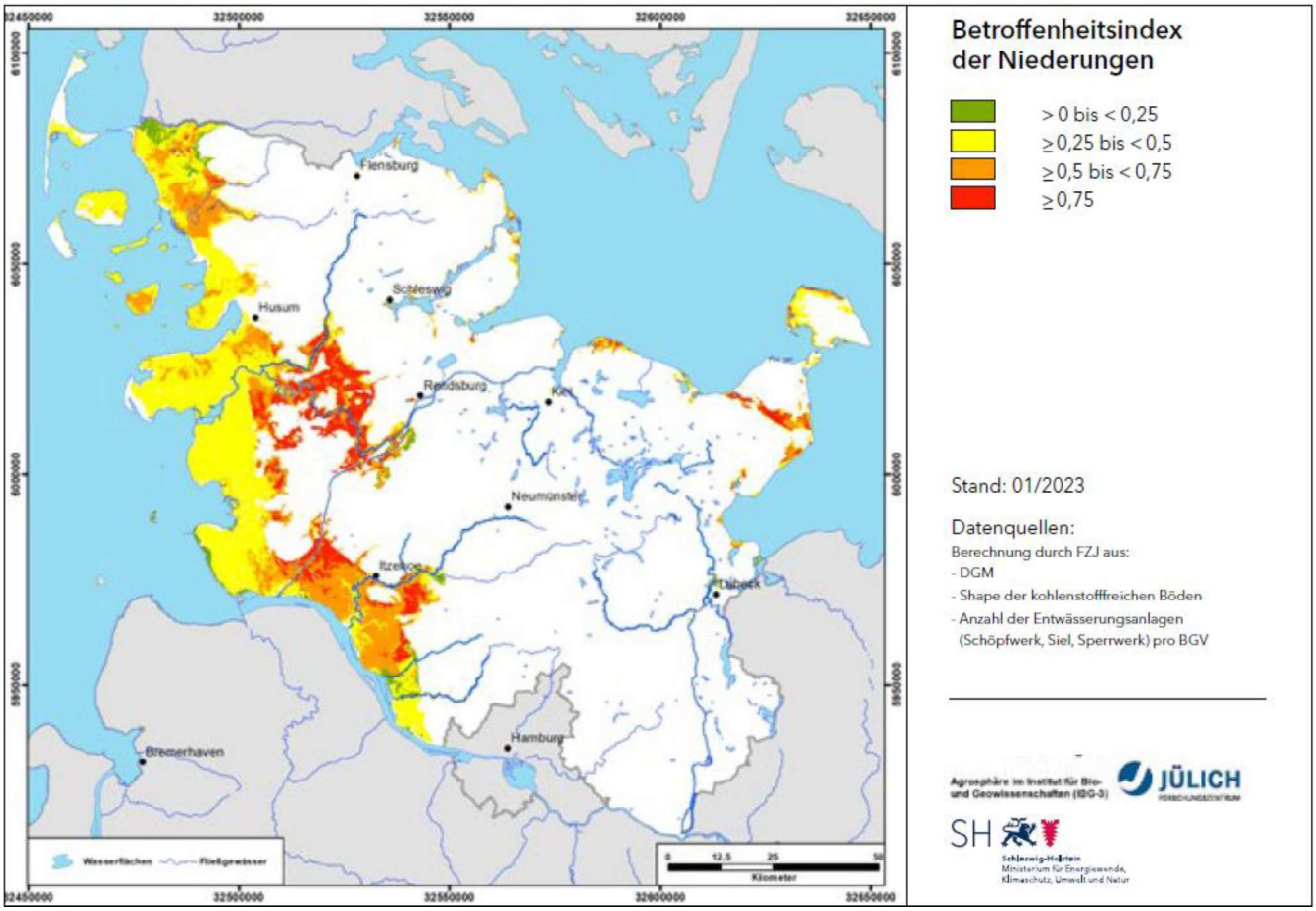


Abbildung 120: Ergebnisse der Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen unter Berücksichtigung von Höhendaten, kohlenstoffreichen Böden und wasserwirtschaftlichen Anlagen auf Ebene der Bearbeitungsgebietsverbände. Die Höhe des Betroffenheitsindex spiegelt die Notwendigkeit wider, mit der sich eine Region mit der Zukunft der Wasserwirtschaft und der davon abhängigen Landnutzung beschäftigen muss. (Berechnung: FZ Jülich 2023; Quelle: MEKUN 2024, siehe Fußnote 684: S. 40)

Zusätzlich zu den in der Betroffenheitsanalyse der Strategie für die Zukunft der Niederungen genannten Faktoren, könnten die **Versiegelung** in den Einzugsgebieten der Niederungen beziehungsweise das Vorhandensein von **Retentionsräumen** die Bewertung der Sensitivität erweitern. Mehr Versiegelung bedeutet mehr oberflächlicher Abfluss. Und Retentionsräume senken Abflussspitzen bei Hochwasser, indem sie ermöglichen, dass sich das Wasser in der Fläche ausbreiten kann, ohne Schaden anzurichten. Sie entlasten damit Entwässerungsanlagen.

Für die Überlastung dieser Anlagen in Niederungsgebieten ist neben der Sensitivität der Niederungsgebiete die Sensitivität der Entwässerungseinrichtungen selbst von Bedeutung. Hier ist vor allem der **Sanierungsbedarf** der Anlagen von Bedeutung, der aktuell insgesamt erheblich ist.[696] Laut Strategie für die Zukunft der Niederungen, wird angestrebt, bis zum Jahr 2040 alle systemrelevanten wasserwirtschaftlichen Anlagen „zu ermitteln, zu modernisieren oder zu sanieren"[697]. Dafür soll in den nächsten vier bis zehn Jahren ein Maßnahmenprogramm für notwendige Modernisierungen erarbeitet werden, das auch eine Priorisierung der Maßnahmen enthält.[698] Außerdem sind ihre **Maximallast** und ihre bisherige **Auslastung** wichtige Faktoren.

[696] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 44
[697] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 46
[698] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 48

13.7.3 Ausprägung der Klimawirkung

13.7.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Einen Klimafolgen-Indikator gibt es zu dieser Klimawirkung bisher nicht. Im Rahmen der Entwicklung des Klimafolgenmonitorings wurde geprüft, ob ein Monitoring-Indikator zur Leistung von Schöpfwerken erarbeitet werden kann. Daten zu den gepumpten Wassermengen stehen jedoch nicht zur Verfügung. Auch andere Ansätze, einen Indikator zu entwickeln, waren bisher nicht erfolgreich. So zeigte sich beispielsweise, dass die Auswirkungen des Klimawandels nicht über den Stromverbrauch der Schöpfwerke abgebildet werden können, da dieser von vielen Faktoren abhängt.

13.7.3.2 Klimarisikoanalyse

Unter Annahme des RCP8.5 wird die Jahresniederschlagsmenge bis zur Mitte des Jahrhunderts in großen Teilen Schleswig-Holsteins oder sogar landesweit zunehmen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 27). Besonders stark könnte die Zunahme im Westen Schleswig-Holsteins sein, in den Marschen und in Teilen der Eider-Treene-Niederung und der Heide-Itzehoer Geest. Im Osten des Landes könnte es auf Fehmarn zu einer deutlich erhöhten Niederschlagsmenge kommen. Auch die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag wird unter dieser Annahme (fast) landesweit zunehmen (siehe Klimaanalyse, Abbildung 28). Auch hier wäre die Zunahme im Westen des Landes in den Marschen und in Teilen der Heide-Itzehoer Geest besonders stark. Gleichzeitig wird der Meeresspiegel weiter steigen. Bund und Länder arbeiten mit einem Szenario, nach dem der globale Meeresspiegel in diesem Jahrhundert im Mittel um 0,77 m (zwischen 0,61 und 1,02 m) ansteigt.[699]

Der Klimawandel trifft in den Niederungen Schleswig-Holsteins auf eine anthropogen geprägte Landschaft, die technischer Entwässerung bedarf, um erhalten zu bleiben, und gleichzeitig nicht so stark entwässert werden darf, dass sich in großem Umfang weiter Böden senken. Gleichzeitig trifft er auf Entwässerungsanlagen, die vor Jahrzehnten unter anderen Bedingungen geplant und gebaut wurden und heute stark sanierungsbedürftig sind. Die Strategie für die Zukunft der Niederungen kommt daher zu folgendem Schluss: „Der ansteigende Meeresspiegel und das häufigere Auftreten von Binnenhochwasser erschweren die Entwässerung der Niederungen, insbesondere, wenn bei zunehmenden Häufigkeiten und Intensitäten von Sturmfluten die Schöpfwerke und Siele nicht mehr in der Lage sind, das ihnen aus dem Binnenland zufließende Wasser in die Nord- und Ostsee abzuführen.“[700]

Wenn es im Rahmen der Umsetzung der Strategie für die Zukunft der Niederungen gelingt, die Entwässerungsinfrastruktur bis zur Mitte des Jahrhunderts zu sanieren und zu modernisieren, ist dies die zentrale Voraussetzung, um diese Regionen auch unter den Bedingungen eines zunehmenden Klimawandels zu erhalten.

[699] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 27

[700] MEKUN 2024, s. Fußnote 684: S. 27

14 Handlungsfeld Fischerei

14.1 Relevanz des Handlungsfelds

Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene ist die Fischerei in Deutschland ein vergleichsweise kleiner Sektor. Der Großteil der Nachfrage wird über den Import von Fischprodukten gedeckt. Der Selbstversorgungsgrad, das heißt der Anteil heimischer Fischereierzeugnisse am Gesamtverbrauch, lag im Jahr 2024 bei rund 20 %. Innerhalb der deutschen Fischerei kommt der Seefischerei, zu der die Hochsee- und die Küstenfischerei zählen, die größte Bedeutung zu. Die Anlandungen der deutschen Flotte machten 2024 rund 83 % der heimischen Produktion aus. Weitere 16 % entfielen auf die deutsche Aquakultur. Die Fänge aus der erwerbsmäßigen Binnenfischerei trugen mit rund 1 % zur Produktion heimischer Fische und Fischereierzeugnisse bei.[701]

Auch wenn der Fischerei im bundesweiten gesamtwirtschaftlichen Kontext nur eine untergeordnete Rolle zukommt, ist sie regional vor allem in den Küstengebieten von großer Bedeutung. In Schleswig-Holstein hat die Fischerei lange Tradition und gehört zu den kulturell prägenden Wirtschaftszweigen. Sie trägt maßgeblich zur lokalen Wirtschaft, zur regionalen Versorgung mit Fischprodukten und zur Identität der Küsten- und Binnenregionen bei. Traditionelle Fischereitypen wie die Krabbenkutter an der Nordsee und die kleineren Fischereiboote an der Ostseeküste sind charakteristisch für die maritime Kultur Schleswig-Holsteins und wirken auch als touristische Anziehungspunkte. Zugleich ist das Land mit seinen Seen, Flüssen und Bächen ein bedeutendes Gebiet für die Binnen- und Angelfischerei. Die Aquakultur – vom klassischen Karpfenteich bis zu modernen Kreislaufanlagen und marinen Aquakulturanlagen in den Küstengewässern – ist der ertragsreichste Zweig der fischereilichen Produktion in Schleswig-Holstein. Dabei kommt der Muschelkultur in der Nordsee die größte wirtschaftliche Bedeutung zu.

Aktuell steht die Fischerei bundesweit vor Herausforderungen: Strenge Naturschutzanforderungen, ungünstige Bestandszustände bestimmter fischereilich relevanter Arten sowie Veränderungen von Fangrechten und -gebieten erfordern eine kontinuierliche Anpassung der fischereilichen Aktivitäten. Infolge des Klimawandels kommen klimatische Veränderungen hinzu. Diese wirken sich direkt auf die Lebensbedingungen für Fische und andere aquatische Organismen aus, beeinflussen die räumliche Verbreitung von Arten und Artzusammensetzungen, die Bestandsgrößen und die Nahrungsnetze und damit auch die Produktivität und die Effizienz der Fischerei. Insbesondere der Fang wildlebender Fische und Meeresfrüchte ist wie die Land- und Forstwirtschaft unmittelbar von der Verfügbarkeit und Regenerationsfähigkeit der natürlichen Ressourcen abhängig. Teichwirtschaften und Aquakulturen bestimmen die Artenzusammensetzung zwar selbst, sind aber auf eine ausreichende Verfügbarkeit von Frischwasser und somit auch auf natürliche Ressourcen angewiesen.[702] Die in Schleswig-Holstein besonders relevante marine Aquakultur steht zudem in enger Wechselwirkung mit den Veränderungen von Meeresspiegel und Sturmflutgeschehen. Von der europäischen bis zur lokalen Ebene ist die Nachhaltigkeit ein Grundsatz der Fischereipolitik, der nicht nur auf die Erhaltung von Fischbeständen, sondern auch auf die Sicherung des fischereilichen Handwerks abzielt. Für Schleswig-Holstein bedeutet dies die Herausforderung, die Balance zwischen ökologischer Tragfähigkeit, wirtschaftlicher Nutzung und der Erhaltung des kulturhistorischen Werts der Fischerei vor dem Hintergrund klimatischer Herausforderungen zu wahren.

[701] Thünen-Institut 2026: Deutsche Aquakultur im Überblick. Hintergrund: Fischkonsum in Deutschland. https://www.thuenen.de/de/themenfelder/nutztierhaltung-und-aquakultur/aquakultur-landwirtschaft-unter-wasser/deutsche-aquakultur-im-ueberblick

[702] Umweltbundesamt (Hrsg.) 2023: Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. https://www.umweltbundesamt.de/system/files/medien/376/publikationen/das-monitoringbericht_2023_bf_korr.pdf

14.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

14.2.1 Verkürzt bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee

Die Nord- und Ostsee bilden komplexe und vielfältige marine Ökosysteme, die eine wichtige Rolle für die biologische Vielfalt und die wirtschaftliche Nutzung durch die Fischerei in Schleswig-Holstein spielen. Küstennahe Flachwasserbereiche, offene Meereszonen und Brackwasserregionen bieten Lebensraum für zahlreiche spezialisierte Fischarten sowie für kalkbildende Organismen wie Muscheln und Schnecken. Die Produktivität und Stabilität dieser Ökosysteme hängen stark von klimatischen Faktoren ab, etwa von der Wassertemperatur, dem Salzgehalt, dem Sauerstoffangebot und der Strömungsdynamik. Diese Parameter beeinflussen das Wachstum, die Fortpflanzung und das Überleben mariner Arten und bestimmen gleichzeitig, welche Arten in den verschiedenen Lebensräumen vorkommen und wie sie miteinander interagieren. Veränderungen des Temperatur- und Niederschlagsregimes oder des Meeresspiegels können daher weitreichende Folgen für die Zusammensetzung der Arten und die ökologische Balance der Meeresfauna haben und wirken sich dadurch mittelbar auch auf die regionale Fischerei aus.

Die mittleren Meeresoberflächentemperaturen sind sowohl in der Nordsee als auch in der Ostsee im Laufe der letzten Jahrzehnte gestiegen. Die Wärme dringt zunehmend auch in tiefere Schichten vor. Wärmeliebende Arten – wie beispielsweise die Sprotte, die invasive Schwarzmundgrundel und typische Sommergäste in der Ostsee, wie die dicklippige Meeräsche oder die Streifenbarbe – profitieren von diesen höheren Temperaturen. Ihre Bestände wachsen und die Gebiete mit Vorkommen der profitierenden Arten nehmen in ihrer Ausdehnung zu. Eine umgekehrte Entwicklung ist bei temperaturempfindlichen Arten wie dem ehemals fischereilich relevanten Dorsch, dem Hering oder dem Atlantischen Lachs zu beobachten. Da die sich neu einstellenden Temperaturbedingungen in Nord- und Ostsee den spezifischen Temperaturansprüchen dieser Arten nicht mehr gerecht werden, geraten die Tiere unter Druck. Sie ziehen sich – falls möglich – in kühlere oder tiefere Zonen zurück. Gleichzeitig zu den Temperaturverhältnissen verändern sich die chemischen Wasserparameter wie Sauerstoffgehalt, Salinität und pH-Wert. Je nach Breite des Toleranzspektrums von Arten gegenüber diesen Parametern wird eine Ausbreitung begünstigt oder geeignete artspezifische Lebensräume gehen verloren. In der Ostsee schränkt die geografische Begrenzung der Lebensräume die Ausweichmöglichkeiten für sensible Arten ein. Ist ein Ausweichen in geeignetere Lebensräume nicht möglich, werden die betroffenen Arten beispielsweise in ihrer Reproduktion eingeschränkt und die Bestandsgrößen nehmen ab. Während auf der einen Seite bestimmte traditionelle Zielarten der Fischerei in Schleswig-Holstein aufgrund sinkender Bestände an Bedeutung für die Fischerei verlieren, können Fänge wertvoller Speisefischarten, die sich unter anderem infolge der Temperaturentwicklung in Nord- und Ostsee etablieren oder weiter ausbreiten, neue wirtschaftliche Chancen für die Fischerei bieten.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 14.4

Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen

Die Aquakultur ist in Schleswig-Holstein ein bedeutender Wirtschaftszweig und umfasst die Binnenaquakultur als auch die marine Aquakultur. Binnenaquakulturen konzentrieren sich vor allem auf die Zucht von Karpfen und Forellen in Teichen und Durchflussanlagen, während die marine Aquakultur insbesondere auf die Zucht von Muscheln und Austern in den Küstengewässern ausgerichtet ist. Die größte ökonomische Bedeutung kommt der Muschelwirtschaft an der Nordseeküste zu. Sie macht den größten Teil der fischereilichen Produktion und Erlöse in Schleswig-Holstein aus. Klimatische Veränderungen wirken sich auf die Aquakultur sowohl direkt über physiologische Belastungen der Tiere als auch indirekt über Veränderungen der Wasserqualität aus. Steigende Luft- und Wassertemperaturen beeinflussen Wachstum, Stoffwechsel und Reproduktionsfähigkeit der Kulturarten. Während die Wassertemperaturen bei wärmetoleranten Arten wie Miesmuscheln und Austern den artspezifischen Komfortbereich in der Regel noch nicht überschreiten, treten bei temperatursensiblen Arten wie Forellen bereits bei moderaten Anstiegen Stress auf. Hohe Temperaturen können darüber hinaus zu einem verminderten Sauerstoffgehalt in den Gewässern führen und die Eutrophierung beschleunigen. Diese Prozesse wirken sich negativ auf die Gewässerqualität aus und die können die Gesundheit der aquatischen Organismen beeinträchtigen. In wärmerem Wasser können sich zudem Krankheiten und Parasiten besser verbreiten. Änderungen im Niederschlagsregime wirken sich auf die Wasserstände, den Sauerstoffgehalt und die Nährstoffzufuhr aus: Trockenperioden können

Wasserstände und Sauerstoffgehalte senken, während Starkregenereignisse Sedimente, Schadstoffe und Nährstoffe eintragen und zu Eutrophierung, Trübung oder Überflutungen führen. In der marinen Aquakultur ist zudem die Ozeanversauerung ein Problem, da sie die Schalenbildung kalkbildender Arten beeinträchtigen und die Sterblichkeit erhöhen kann. Ein steigender Meeresspiegel und mögliche Veränderungen im Sturmflutgeschehen gefährden die Infrastruktur und können zu einem Verlust von Jungmuscheln führen.

Projektionen zeigen, dass sich die für die Aquakultur relevanten Klimasignale im Verlauf des 21. Jahrhunderts nachteilig entwickeln könnten. Gemäß den Daten ist zu erwarten, dass die Wassertemperaturen in Meeren und Binnengewässern steigen sowie Hitze- und Trockenperioden häufiger auftreten. Zudem könnte die Ozeanversauerung weiter zunehmen. Für die Muschel- und Austernzucht bedeutet dies vor allem ein erhöhtes Risiko für Krankheiten, physiologischen Stress und Einschränkungen bei der Schalenbildung. Trockenperioden und Niederschlagsvariabilität erhöhen die Anforderungen an das Wassermanagement in Binnenanlagen, und Starkwind- sowie Sturmflutereignisse stellen weiterhin ein Risiko für die marine Infrastruktur dar. Schleswig-Holstein ist jedoch gut aufgestellt, um den Herausforderungen wirksam zu begegnen: Die etablierten Forschungseinrichtungen des Landes entwickeln wissenschaftlich fundierte Anpassungsstrategien und begleiten die Umsetzung von innovativen Projekten zur Anpassung an die neuen klimatischen Bedingungen. Maßnahmen wie spezielle Saatmuschelgewinnungsanlagen, technologische Innovationen und gezielte Bewirtschaftungsstrategien tragen dazu bei, die Resilienz der Branche zu erhöhen.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 14.4

14.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[703] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 57 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 57: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Entkopplung von Nahrungsbeziehungen in der Ostsee	Der Klimawandel beeinflusst die Phänologie und damit die zeitliche Abstimmung von Lebenszyklen mariner Organismen. Insbesondere die steigenden Wassertemperaturen können dazu führen, dass fischereilich relevante Arten wie Hering und Dorsch ihre Laichzeiten verändern. Erfolgt das Ablaichen verfrüht, kann es zu einer sogenannten trophischen Entkopplung kommen: Die Larven treffen nicht mehr auf ein ausreichend hohes Nahrungsangebot, dessen Vorkommen vor allem lichtgesteuert ist. Gleichzeitig können wärmeliebende oder eingeschleppte Arten wie beispielsweise Rippenquallen von erhöhten Temperaturen profitieren und in Konkurrenz zu Fischlarven um Nahrung treten. Untersuchungen unter anderem in der Kieler Förde weisen auf klimawandelbedingte Beeinträchtigungen des Laicherfolgs von Hering und Dorsch hin. Grundsätzlich ist die Klimawirkung für Schleswig-Holstein relevant, da die Ostsee zu den sich besonders stark erwärmenden Meeresgebieten zählt und Veränderungen in marinen Nahrungsnetzen direkte Auswirkungen auf Fischbestände und damit auf die Küstenfischerei haben können. Allerdings beschränken sich die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse überwiegend auf einzelne Studien und zeitlich begrenzte Untersuchungen. Kontinuierliche Monitoringdaten zum Laicherfolg oder zum Larvenvorkommen in den schleswig-holsteinischen Ostseegewässern liegen ebenso wenig vor wie belastbare Projektionen zur zukünftigen Entwicklung. Die Datengrundlage wird daher als unzureichend für eine eigenständige, belastbare Risikoabschätzung bewertet. Zudem ist

[703] Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst L., Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Climate Change 22/2021. Dessau-Roßlau, 277 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-3-Cluster-Wasser

Klimawirkung	Erläuterungen
	der Prozess der trophischen Entkopplung angesichts seiner großräumigen Ausprägung in der Ostsee nur begrenzt und nicht kurzfristig steuerbar. Einzelne thematische Aspekte dieser Klimawirkung insbesondere zu Nahrungsentkopplungen beim Hering werden im Rahmen der Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“ berücksichtigt.
Verschlechterung der Habitateigenschaften für den Dorsch in der Ostsee	Der Klimawandel führt zu einer fortschreitenden Erwärmung der Ostsee und damit zu veränderten Lebensraumbedingungen für den temperatursensiblen Dorsch, eine ehemals fischereilich relevante Art in Schleswig-Holstein. Ab Wassertemperaturen von etwa 16 °C gerät die Art in Temperaturstress. Mit steigenden Temperaturen verschieben sich geeignete Habitatbereiche zunehmend in tiefere und kühlere Meereszonen. Flachwasserbereiche, die bislang eine wichtige Funktion als Nahrungs- und Aufwuchsgebiete erfüllten, können bei anhaltender Erwärmung nur noch eingeschränkt genutzt werden. Zusätzlich trägt die Erwärmung des Meerwassers zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts bei. In den vergangenen Jahrzehnten wurde eine Ausdehnung sauerstoffarmer bis anoxischer Zonen in der Ostsee beobachtet. Diese Entwicklung kann sich künftig fortsetzen. Der Sauerstoffmangel betrifft häufig auch die Laich- und Aufwuchsgebiete des Dorsches. Befinden sich Eier oder Larven in zu sauerstoffarmem Wasser, kann dies den Reproduktionserfolg erheblich beeinträchtigen. Daten zum Rekrutierungserfolg werden unter anderem im Rahmen internationaler Bestandsaufnahmen erhoben. Die Klimawirkung ist für Schleswig-Holstein von Relevanz, da der Dorsch über lange Zeit eine zentrale Rolle für die Ostseefischerei spielte und Veränderungen seiner Bestände ökologische wie auch fischereiwirtschaftliche Auswirkungen haben. Die Verschlechterung der Habitateigenschaften steht zudem im Zusammenhang mit umfassenderen Veränderungen der Artenzusammensetzung infolge steigender Wassertemperaturen. Aufgrund der inhaltlichen Überschneidungen wird die Klimawirkung nicht eigenständig bearbeitet, sondern ihre relevanten Aspekte in die Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“ integriert.
Veränderung der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern	Steigende Luft- und Wassertemperaturen sowie zunehmende Niedrigwasserphasen infolge des Klimawandels beeinflussen die Lebensbedingungen von Fischen in Fließgewässern. Mit der Erwärmung sinkt die Sauerstofflöslichkeit im Wasser, während gleichzeitig der Sauerstoffbedarf der Fische steigt. Dies kann insbesondere für kälte- und sauerstoffliebende Arten zu physiologischer Belastung, vermindertem Wachstum und reduzierten Überlebensraten führen. Wärmeliebende Arten wie Karpfen oder Wels können dagegen von höheren Temperaturen profitieren. Veränderungen im Abflussregime – etwa häufigere und längere Niedrigwasserperioden sowie Starkregenereignisse – wirken sich zusätzlich auf die Gewässermorphologie und den Sedimenthaushalt aus. Laichplätze können beeinträchtigt oder unzugänglich werden, insbesondere wenn Wanderbewegungen durch Querbauwerke oder eine geringe Vernetzung der Gewässer eingeschränkt sind. Für Schleswig-Holstein ist die Klimawirkung von Relevanz. Während ein Großteil des Fangs in Norddeutschland traditionell aus vergleichsweise wärmetoleranten Cypriniden besteht, sind insbesondere die hochpreisigeren und auch in der Freizeitfischerei sehr gefragten wandernden Arten wie Meerforelle und Lachs auf kühle, sauerstoffreiche Fließgewässer angewiesen. Veränderungen der Temperatur- und Abflussverhältnisse können sich vor allem in Laich- und Aufwuchsgebieten negativ auswirken. Daten zum Vorkommen und zur Bestandsentwicklung von Fischarten in den Fließgewässern liegen im Rahmen der Berichterstattung zur Wasserrahmenrichtlinie vor. Die Binnenfischerei trägt in Schleswig-Holstein nur in geringem Umfang zur heimischen Produktion von Fischereierzeugnissen bei, sodass die direkten fischereiwirtschaftlichen Auswirkungen begrenzt sind. Allerdings kommt hier der Freizeitfischerei und insbesondere der Angelfischerei eine hohe wirtschaftlicher Bedeutung zu, insbesondere in den ländlichen Räumen.

Klimawirkung	Erläuterungen
Auftreten von Fischkrankheiten	Der Klimawandel kann die Ausbreitung, Intensität und saisonale Dynamik von Fischkrankheiten beeinflussen. Steigende Wassertemperaturen wirken sich unmittelbar auf das Immunsystem von Fischen aus und können Stressreaktionen verstärken, wodurch die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern zunimmt. Gleichzeitig können höhere Temperaturen die Vermehrung bestimmter Parasiten, Bakterien und Viren begünstigen sowie deren Entwicklungszyklen beschleunigen. Auch veränderte chemische Gewässerparameter wie beispielsweise der Sauerstoff- oder Salzgehalt sowie eine Verschlechterung der Wasserqualität können das Krankheitsgeschehen beeinflussen. Für einzelne Erkrankungen ist ein Zusammenhang mit erhöhten Wassertemperaturen wissenschaftlich belegt. So tritt die Proliferative Kidney Disease (PKD) bei Salmoniden vermehrt in warmen Sommern auf und kann sowohl Wild- als auch Zuchtbestände betreffen. Darüber hinaus werden in Einzelfällen temperaturassoziierte Zusammenhänge mit Parasitenbefall oder erhöhter Mortalität – etwa bei Jungfischen – diskutiert. Die zugrunde liegenden Wirkungsgefüge sind jedoch komplex und umfassen neben klimatischen Faktoren auch Aspekte wie Nährstoffbelastung, Bestandsdichte oder weitere Umweltstressoren. Für Schleswig-Holstein ist die Klimawirkung grundsätzlich relevant, da sowohl aquakulturelle Betriebe als auch Wildbestände in Binnen- und Küstengewässern betroffen sein können. Allerdings ist das Wissen über die spezifischen klimabedingten Einflussfaktoren und ihre quantitative Bedeutung bislang begrenzt. Systematische und langfristige Datengrundlagen, die eine belastbare Zuordnung von Krankheitsgeschehen zu klimatischen Veränderungen erlauben, liegen derzeit nicht in ausreichendem Umfang vor.

14.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Folgen des Klimawandels für die Fischerei sind schon heute sichtbar, beispielsweise in Form von Artverschiebungen. Diese können zu Einschränkungen für die Fischerei führen, aber auch Chancen sind möglich, wo einwandernde Arten vermarktungsfähig sind. Die Bewertung der Klimawirkungen durch die Fachleute im Handlungsfeld Fischerei fiel sehr unterschiedlich aus, je nachdem, ob sie den Fischereisektor an sich oder die gesamte Bevölkerung und die Gesamtwirtschaft in den Blick genommen haben. Auf ganz Schleswig-Holstein bezogen und im Vergleich zu anderen Sektoren hat die Fischerei demnach heute keinen hohen Anteil an Beschäftigung und Wertschöpfung mehr, aber es sind viele Traditionen, Teile der Identität des Landes und lokale Wertschöpfungsketten damit verbunden. Mit Blick auf den Fischereisektor selbst wurde daher der Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee eine hohe bis sehr hohe soziale Bedeutung zugeschrieben, während sie gesamtgesellschaftlich eher gering ist. Insbesondere an der Ostsee kann ein Wegfall der Fischerei Störungen in der Nahrungsmittelversorgung, einen Einbruch lokaler Wertschöpfungsketten sowie den Verlust einer Berufsgruppe, von Traditionen, Werten und Identität in Küstenfischereigemeinden bedeuten. An der Nordsee hat die Fischerei mehr Möglichkeiten, andere Arten und Fanggebiete zu erschließen. Ein deutlicher Einbruch der Fischerei hier hätte dennoch ähnliche Wirkungen wie an der Ostsee. Auch die Veränderung der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern kann von hoher sozialer und ökonomischer Bedeutung sein, da sie die Naherholung von Angelnden und die lokale Wertschöpfung, die durch den Angeltourismus gefördert wird, einschränken kann.

Die ökologische Bedeutung aller im Handlungsfeld Fischerei bewerteten Klimawirkungen wurde von den Fachleuten als eindeutig sehr hoch bewertet. In beiden Meeren gehen mit einer Veränderung der Bestände beispielsweise durch das Abwandern oder Aussterben von Arten Störungen im Ökosystem einher, beispielsweise die Unterbrechung von Nahrungsketten. Die Veränderungen der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern hat vergleichbare Folgen für das Ökosystem. Bei negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die marine Muschelkultur droht mit dem Wegfall des Nährstoffaustrags aus dem Wasser über die Muschelernte der Wegfall einer wichtigen Ökosystemdienstleistung. Der Verlust von Teichwirtschaften im Binnenland geht mit dem Verlust einzigartiger Biotope und ihrer Biodiversität einher. Zudem sind auch Teichwirtschaften wichtige Ökosystemdienstleister, beispielsweise im Hinblick auf den Wasserrückhalt in der Fläche, Hochwasserschutz und Niedrigwassermanagement.

Hoch wirtschaftlich bedeutsam gilt die Veränderung der marinen Bestände. An der Nordsee mag es möglich sein, auf neue Arten und Fanggebiete umzustellen, doch dies ginge mit einer Umstrukturierung der Flotte und der Erschließung neuer Absatzmärkte einher, was Investitionen bedarf. Auch sind Veränderungen der Fangmenge möglich. Dort wo die Fischerei einbricht oder wegfällt, würden Einkommen und Wertschöpfungsketten wegbrechen sowie Sozialkapital verloren gehen. Auch ein Rückgang im (Angel-)Tourismus wurde für möglich erachtet. Auch dieser wird in Schleswig-Holstein als wichtiger Wirtschaftszweig angesehen. Einbußen im Angelgeschäft und im Tourismus sind auch die Gründe für die Bewertung der Klimawirkung „Veränderung der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern" als wirtschaftlich hochbedeutend. Als wirtschaftlich sehr bedeutend für den Fischereisektor wurden Klimafolgen für die marine Muschelkultur bewertet, weil sie innerhalb des Sektors von herausgehobener Bedeutung ist und die größte Wertschöpfung generiert. Gesamtwirtschaftlich ist die Bedeutung eher gering.

Handlungsbedarf seitens der Landesregierung besteht zu jeder der drei bewerteten Klimawirkungen (siehe Tabelle 59). Hinsichtlich der marinen Bestände sind beispielsweise eine Transformation und Diversifizierung der Fischerei, gegebenenfalls auch Exit-Strategien nötig. Strategien zur Förderung der Resilienz der Fischarten und Fischereien sind auszuarbeiten, und die Eutrophierung (vor allem der Ostsee) als zusätzlicher Stressfaktor ist zu reduzieren. Sollen neue Arten genutzt werden, sind gesetzliche Anpassungen und die Einführung von Fangquoten notwendig. Mit Blick auf die Teichwirtschaften ist eine Unterstützung der Betriebe vonnöten, während es für die Muschelkultur bereits Mechanismen (Maßnahmen und deren Finanzierung) gibt. In Fließgewässern sind Kaltwasserrefugien durch eine Anpassung der Gewässerstruktur und Beschattungen zu schaffen, auch um die Wiederansiedlung bedrohter Arten wie des Lachses zu unterstützen.

Tabelle 58: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Fischerei

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee	sehr hoch	sehr hoch	hoch	Nordsee: Artverschiebungen finden bereits statt Ostsee: gravierende Auswirkungen auf fischereilich relevante Arten sichtbar, deren Erholung auch langfristig zweifelhaft ist In beiden Regionen hat dies direkte Auswirkungen auf Ökosysteme und Fischerei.	insgesamt (landesweit) geringe soziale Beudeutung, aber für den Fischereisektor hohe soziale Bedeutung, weil die Veränderungen lokal das Aus für die Fischerei bedeuten können (insbesondere an der Ostsee ist die Situation prekär, an der Nordsee sind Anpassungen im Fischereisektor notwendig), Veränderungen der Bestände könnten für die Fischerei auch Chancen bieten
Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen	gering	sehr hoch	sehr hoch	Teichwirtschaft: nur wenige Teichwirtschaften, aber ggf. Wegfall einzigartiger Biotope und lokaler Wertschöpfungsketten Muschelkultur: nur wenige Muschelfischer in Schleswig-Holstein, aber möglicherweise drohender Wegfall einer wichtigen Ökosystemleistung (Nährstoffaustrag); Muschelwirtschaft erwirtschaftet im Fischereisektor den höchsten Ertrag	geringe wirtschaftliche Bedeutung (1 Votum), da gesamtwirtschaftlich von geringer Bedeutung; für die Fischerei ist die Muschelkultur jedoch von herausgehobener Bedeutung, sodass die sektorale und zum Teil die lokale Bedeutung der Klimawirkung hoch ist
Veränderung der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern	hoch	sehr hoch	hoch	eingeschränkte Naherholung, wenn Angeln unattraktiv, Veränderung der Ökosysteme, Einbußen im Angelgeschäft und Tourismus	geringe soziale Bedeutung (1 Votum)

Tabelle 59: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee	ja	notwendig sind eine Transformation der Fischerei, die Förderung der Resilienz der Fischarten und Fischereien, die Lösung von Nutzungskonflikten und die Eindämmung der Eutrophierung	-*
Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen	ja	Teichwirtschaft: Unterstützung der Betriebe notwendig Muschelkultur: kein zusätzlicher Handlungsbedarf	-
Veränderung der Verbreitung von Fischarten in Fließgewässern	ja	unter anderem Schaffung von Kälterefugien (Gewässerstruktur, Beschattung), um Grundlage für die Wiederansiedelung bedrohter Arten zu schaffen	-

* keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

14.4 Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee“

14.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Nord- und Ostsee sind als natürliche Lebensräume zahlreicher mariner Arten nicht nur ökologisch, sondern für Schleswig-Holstein auch fischereiwirtschaftlich bedeutsam. Infolge des Klimawandels stellen sich insbesondere mit steigenden Meerestemperaturen neue Habitateigenschaften in den marinen Ökosystemen ein. Dadurch kommt es unter anderem zu einer Veränderung der Bestandsgrößen von Arten, der Verbreitungsgebiete sowie der Artenzusammensetzung. Während sich wärmeliebende Arten ausbreiten und ihre Populationen vergrößern, ziehen sich kälteliebende Arten in kühlere Gewässer zurück. Die Entwicklungen beeinflussen neben der Stabilität der Ökosysteme auch die Anforderungen an eine wirtschaftliche und nachhaltige Fischerei.

14.4.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

14.4.2.1 Klimasignale

Die Habitateignung und Artenausstattung der marinen Ökosysteme hängen mit Blick auf klimatische Einflüsse entscheidend von der Entwicklung der **Meerestemperaturen** ab. Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben sich Nord- und Ostsee signifikant erwärmt. Dies liegt vor allem an einem Anstieg der Lufttemperaturen sowie der Strahlung beziehungsweise der Sonnenscheindauer über den Meeren. Detaillierte Informationen zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung dieser klimatischen Parameter in Schleswig-Holstein sind in der Klimaanalyse[704] nachzulesen. Die dort präsentierten Raster- und Stationsdaten beschränken sich zwar auf das Festland, grundsätzlich ist aber für die angrenzenden Meeresbereiche von ähnlichen Entwicklungstendenzen auszugehen.

Gemittelt über die gesamte Nordsee lag die Meeresoberflächentemperatur (Sea surface temperature, SST) im Durchschnitt der Jahre 2011–2020 um 0,9 °C höher als 1971–1980.[705] Der linear gemittelte Temperaturanstieg beträgt im selben Zeitraum rund 0,26 °C pro Dekade. In der Ostsee, die als flaches und nahezu abgeschlossenes Binnenmeer nur einen begrenzten Wasseraustausch mit dem Atlantik aufweist, ist die Erwärmung noch ausgeprägter. Für die südliche Ostsee ergibt sich auf der Basis langjähriger Messdaten der Wasseroberflächentemperatur im Zeitraum 1959–2019 ein Temperaturanstieg von 0,6 °C pro Dekade.[706] Die Temperaturentwicklung vor der Küste Schleswig-Holsteins lässt sich ergänzend anhand von Daten ausgewählter Einzelmessstationen nachvollziehen. An der Messstation „Deutsche Bucht“ des BSH ist die Meeresoberflächentemperatur der Nordsee über die letzten rund 30 Jahre um etwa 0,8 °C gestiegen.[707] An der Messstation „Leuchtturm Kiel“ in der Kieler Bucht hatte die Ostsee im Mittel der Jahre 1993–2002 eine Jahresmitteltemperatur von etwa 9,7 °C. Im Zeitraum 2015–2024 lag dieser Wert um etwa 1,3 °C höher.[708] Der Anstieg der durchschnittlichen Wassertemperatur an diesen beiden Messstationen ist über den Zeitraum 1993–2024 statistisch signifikant (siehe Abbildung 121). Es wird darauf hingewiesen, dass die Messdaten der Stationen „Deutsche Bucht“ und „Leuchtturm Kiel“ aus verschiedenen Gründen in einzelnen Jahren Lücken aufweisen. Ursachen können zum Beispiel ein Ausfall der Messsensorik oder ein fehlerhafter Datentransfer sein. Jahre, in denen für mehr als 50 % der Tage keine Messdaten vorliegen, ist keine Jahresmitteltemperatur angegeben. Kürzere Datenlücken wurden unter Berücksichtigung anderer Datenquellen, unter anderem den Datensätzen des Copernicus Marine Service, aufgefüllt.

---

[704] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[705] UBA – Umweltbundesamt 2023: Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie). Dessau-Roßlau. http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023

[706] Zalewska T., Wilman B., Łapeta B., Marosz M., Biernacik D., Wochna A., Saniewski M., Grajewska A., Iwaniak M. 2024: Seawater temperature changes in the southern Baltic Sea (1959–2019) forced by climate change. Oceanologia, 66, 1, 37–55. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.08.001

[707] BSH 2026: eigene Auswertung auf Basis von Stationsmessdaten

[708] BSH 2026, s. Fußnote 707

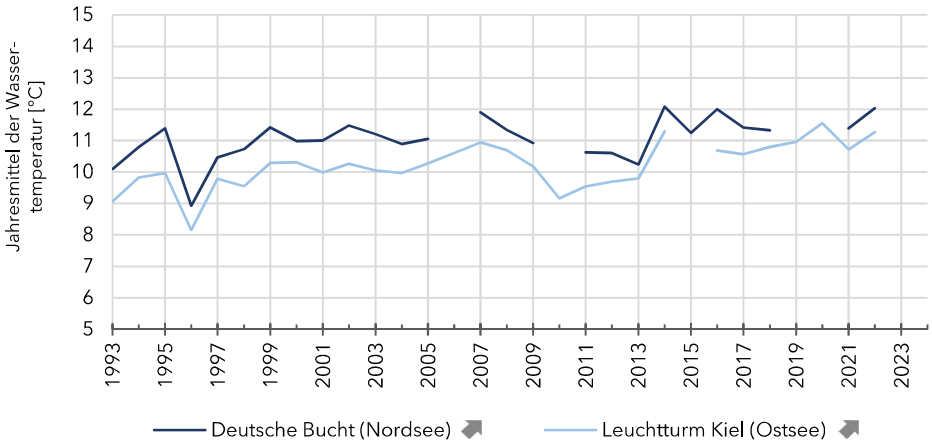


Abbildung 121: Jahresmittel der Wassertemperatur an den Messstationen Deutsche Bucht (Nordsee) und Leuchtturm Kiel (Ostsee) vor der Küste Schleswig-Holsteins im Zeitraum 1993–2024 (Quelle: BSH)

Quelle: BSH (Temperaturmessnetz)

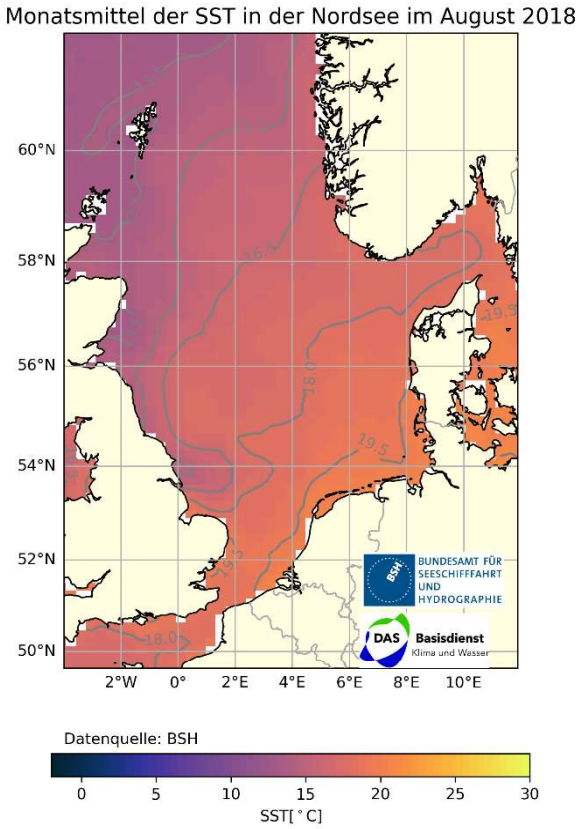


Abbildung 122: Meeresoberflächentemperatur der Nordsee im August 2018 (Quelle: BSH)

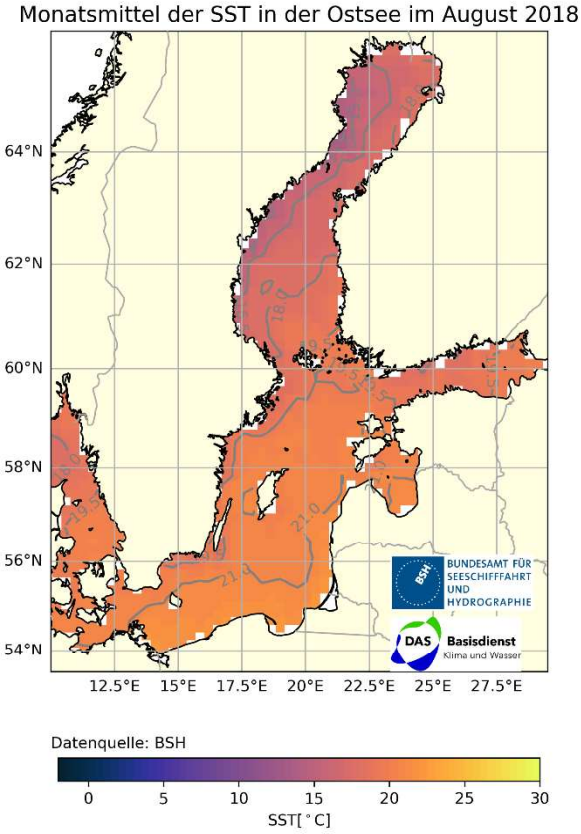


Abbildung 123: Meeresoberflächentemperatur der Ostsee im August 2018 (Quelle: BSH)

In den Sommermonaten zählen sowohl an der Nord- als auch an der Ostsee die Abschnitte entlang der Küste Schleswig-Holsteins zu den wärmsten des jeweiligen Meeres (siehe Abbildung 122 und Abbildung 123). So beträgt beispielsweise der Unterschied zwischen der SST entlang der Küste Großbritanniens und der SST an der schleswig-holsteinischen Küste im Sommer bis zu mehreren Grad Celsius. Im August des Rekordsommers 2018 stieg die Wasseroberflächentemperatur vor Schleswig-Holstein über 20 °C, während die Nordsee an der Ostküste Großbritanniens nur etwa 14 bis 16 °C warm war.

Eine Zunahme der Wassertemperatur ist auch in tieferen Meeresschichten zu beobachten, denn die aufgenommene Wärme wird ins Meeresinnere weitergeleitet.[709] Die Klimawirkung betrifft deshalb nicht nur pelagische Arten wie Hering

[709] UBA 2023, s. Fußnote 705

oder Makrele, die sich in der offenen Wassersäule und nahe der Oberfläche aufhalten, sondern auch demersale Arten wie Scholle, Flunder oder Dorsch, die nahe dem Meeresgrund leben.

Klimatisch geprägte Faktoren wie die Meerestemperatur und das Niederschlagsgeschehen beeinflussen auch die für das marine Ökosystem relevanten chemischen Eigenschaften des Meerwassers. Dazu gehört der **Salzgehalt**. Im Falle der Ostsee wird die Salinität maßgeblich von Salzwassereinbrüchen aus der Nordsee gesteuert. Das Auftreten solcher Einbrüche ist an atmosphärische Zirkulationsmuster gekoppelt, die sich infolge des Klimawandels verändern. Barghorn et al. (2023)[710] zeigten, dass starke Salzwassereinbrüche in die Ostsee in den letzten Jahrzehnten häufiger im Frühjahr und Sommer statt im Winterhalbjahr auftraten. Diese saisonale Verschiebung wirkt sich zusätzlich auf die Wassertemperatur der Ostsee in tieferen Schichten aus, da warmes einströmendes Nordseewasser in den wärmeren Monaten auf eine stärker geschichtete Wassersäule in der Ostsee trifft und sich weniger effizient mit kälteren Schichten vermischt. Eine Erwärmung des Tiefenwassers aufgrund von Salzwassereinbrüchen konnte im Rahmen der Studie im Bornholmbecken in der südlichen Ostsee nachgewiesen werden. Eng mit den steigenden Meerestemperaturen ist auch der **Sauerstoffgehalt** verknüpft: Da die Löslichkeit von Sauerstoff mit steigender Wassertemperatur abnimmt, enthält wärmeres Meerwasser in der Regel weniger gelösten Sauerstoff als kälteres. Insbesondere in der Ostsee dehnen sich in der Folge die sauerstoffarmen Zonen aus und beeinträchtigen wichtige Lebensräume beispielsweise des ehemals kommerziell relevanten Dorsches. Veränderungen im **Wind- und Sturmregime** beeinflussen die Durchmischung und den Nährstofftransport innerhalb der Wassersäule. Die zunehmende **Ozeanversauerung** infolge einer temperaturbedingt erhöhten CO_2-Aufnahme des Meerwassers beeinträchtigt insbesondere kalkbildende Organismen wie Muscheln oder Schnecken negativ (siehe Klimawirkung „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen", Kap. 14.5).

14.4.2.2 Exposition

Die räumliche Exposition wird im Wesentlichen durch die Ausdehnung der betroffenen marinen Ökosysteme und Biozönosen bestimmt. Die Verbreitungsgebiete mariner Arten sind allerdings dynamisch und nicht exakt zu bestimmen. Fischereilich relevant ist vor allem die **ausschließliche Wirtschaftszone** Deutschlands (AWZ). Sie bildet den rechtlich festgelegten maritimen Raum, der in Deutschland befischt wird. In Schleswig-Holstein konzentriert sich die Fischerei zwar vor allem auf die Küstengewässer, erstreckt sich aber auch auf weiter offshore gelegene Bereiche der AWZ, da sich dort kommerziell relevante Fischbestände befinden.

14.4.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität innerhalb der deutschen AWZ in Nord- und Ostsee gegenüber Bestandsveränderungen und Veränderungen der Artenzusammensetzung ist regional unterschiedlich ausgeprägt und hängt von ökologischen und biogeografischen Faktoren sowie von den artspezifischen Umweltansprüchen ab. Als besonders sensitiv gelten Meeresgebiete, in denen sich bereits heute die südlichen oder nördlichen **Verbreitungsgrenzen** (ehemals) fischereilich relevanter Arten befinden oder in denen die aktuellen Meerestemperaturen die obere **Toleranzschwelle** dieser Arten erreichen. Ein Beispiel mit Blick auf den Dorsch ist der westliche Ostseeraum, wo sich die Veränderung der Meerwassertemperaturen infolge eines engen artspezifischen Temperaturtoleranzbereichs in sinkenden Beständen niederschlagen.[711] In solchen Übergangszonen sind Bestandsverschiebungen infolge einer weiteren Erwärmung besonders wahrscheinlich. Die Möglichkeiten für Wanderungsbewegungen sind dabei unterschiedlich ausgeprägt: Während in der Nordsee aufgrund des offenen Meereszugangs vergleichsweise hohe **Ausweich- und Verlagerungspotenziale** für marine Arten bestehen, sind diese in der Ostsee durch die geografisch abgeschlossene Lage und den begrenzten Wasseraustausch eingeschränkt. Arten, die an spezifische Umweltbedingungen gebunden sind und eingeschränkte Toleranz gegenüber Veränderungen der Temperatur, des Salz- oder Sauerstoffgehalts zeigen, finden in der Ostsee bei sich verschlechternden Bedingungen oft keine geeigneten Lebensräume mehr.

[710] Barghorn L., Meier H. E. M., Radtke H. 2023: Changes in seasonality of saltwater inflows caused exceptional warming trends in the western Baltic Sea. Geophysical Research Letters, 50. https://doi.org/10.1029/2023GL103853

[711] Moll D., Asmus H., Blöcker A., Böttcher U., Conradt J., Färber L., Funk N., Funk S., Gutte H., Hinrichsen H.-H., Kotterba P., Krumme U., Madiraca F., Meier H. E. M., Meyer S., Moritz T., Otto S. A., Pinto G., Polte P., Riekhof M.-C., Sarrazin V., Schwermer H., Scotti M., Voss R., Winkler H., Möllmann C. 2024: A climate vulnerability assessment of the fish community in the Western Baltic Sea. Scientific Reports, 14, 16184. https://doi.org/10.1038/s41598-024-67029-2

14.4.3 Ausprägung der Klimawirkung

14.4.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Einen Monitoringindikator, der das gesamte Spektrum der fischereilich relevanten Bestandsveränderungen in den marinen Ökosystemen durch die Klimawirkung abbildet, gibt es nicht. Zur Beurteilung der Entwicklungen in Schleswig-Holstein kann aber unter anderem der Indikator FI-I-1 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) des Umweltbundesamts herangezogen werden (siehe Abbildung 124).[712,713] Der Indikator zeigt die jährliche Häufigkeit des Auftretens südeuropäischer, wärmeliebender (lusitanischer) Fischarten in standardisierten Fängen in der Nordsee. Zu den lusitanischen Fischarten gehören unter anderem Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*), Streifenbarbe (*Mullus surmuletus*) und Sardellen (*Engraulidae*). Zwei der fünf Fangstandorte, Box A und Box K, befinden sich vor der schleswig-holsteinischen Küste. Die Daten zeigen für den Standort der Box A im Zeitraum von 1987 bis zu Beginn der 2010er Jahre einen steigenden Anteil der Fänge mit lusitanischen Arten. In den Folgejahren war der Anteil rückläufig. Der statistische Trend für die Fänge am Standort der Box K ist signifikant steigend. Aus technischen Gründen konnten die Boxen in den zurückliegenden Jahren nicht mehr regelmäßig und an allen Standorten eingeholt werden, sodass zu diesem Indikator derzeit keine aktuelleren Daten vorliegen.

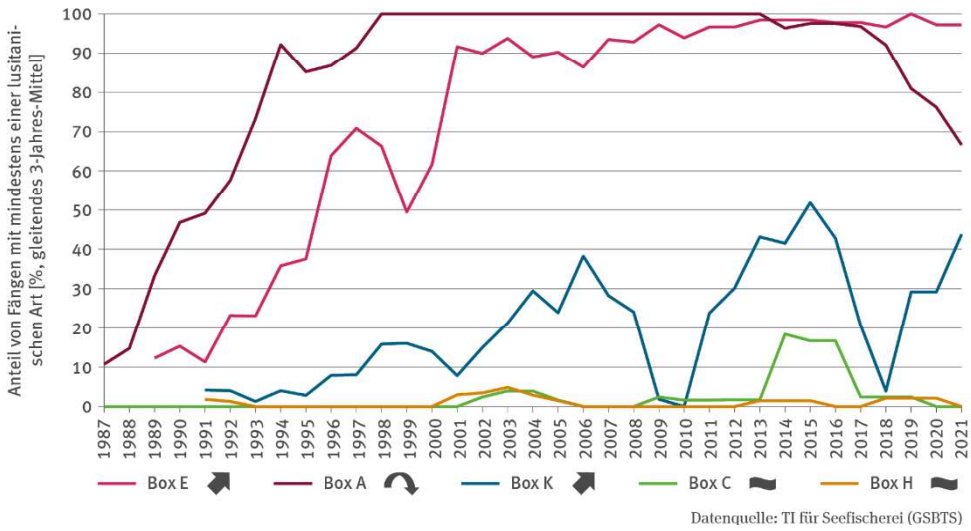


Abbildung 124: Indikator FI-I-1 des Monitorings zur DAS zum Anteil von Fängen mit mindestens einer lusitanischen Art an fünf ausgewählten Fangstandorten in der Nordsee

Auch Daten des Internationalen Rats für Meeresforschung (ICES) zu Fangmengen, Bestandsgrößen und zum Rekrutierungserfolg einzelner Arten liefern Hinweise auf Veränderungen von Populationsgrößen und Verschiebungen im Artenspektrum. Steigende Fangmengen des Wolfsbarschs in der zentralen und südlichen Nordsee, insbesondere von den 1980er bis in die 2010er Jahre, deuten auf eine zunehmende Verbreitung und steigende Zahl von Individuen dieser wärmeliebenden Art im genannten Zeitraum hin. Seit Mitte der 2010er Jahre sind die Fangmengen rückläufig und die laichfähige Biomasse ist zurückgegangen.[714] Die Streifenbarbe ist bisher in der Nordsee noch nicht so abundant wie der etablierte Wolfsbarsch. Die verfügbaren Daten und Berechnungen deuten allerdings auf einen wachsenden Bestand seit den 1990er Jahren hin.[715] Neben den beschriebenen Fischarten reagieren auch Kopffüßer sensibel auf Temperaturveränderungen. Studien belegen, dass sich die Zusammensetzung der Kopffüßer in der Nordsee in den vergangenen 100 Jahren verändert hat. Bei der Artengruppe kam es infolge der Erwärmung zu einer deutlichen Ausbreitung und zu einer Etablierung neuer Arten.[716] Die Entwicklungen in der Nordsee können ökologische und fischereiliche Folgen haben. Neue Arten sowie eine höhere

[712] UBA 2025: Klimafolgenindikator FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten. https://www.umweltbundesamt.de/monitoring-zur-das/handlungsfelder/fischerei/fi-i-1/indikator#fi-i-1-verbreitung-warmadaptierter-mariner-arten

[713] UBA 2023, s. Fußnote 705

[714] ICES 2024: Seabass (*Dicentrarchus labrax*) in Divisions 4.b–c, 7.a, and 7.d–h (central and southern North Sea, Irish Sea, English Channel, Bristol Channel, and Celtic Sea). Replacing advice provided in June 2024. https://doi.org/10.17895/ices.advice.27222843.v1

[715] ICES 2025: Striped red mullet (*Mullus surmuletus*) in Subarea 4 and divisions 7.d and 3.a (North Sea, eastern English Channel, Skagerrak and Kattegat). https://doi.org/10.17895/ices.advice.27202704.v1

[716] Oesterwind D., Barrett C.J., Sell A.F., Núñez-Riboni I., Kloppmann M., Piatkowski U., Wieland K., Laptikhovsky V. 2022: Climate change-related changes in cephalopod biodiversity on the North East Atlantic Shelf. Biodiversity and Conservation, 31, 1491–1518. https://doi.org/10.1007/s10531-022-02403-y

Abundanz wärmeliebender Arten erhöhen den Prädationsdruck auf kleine pelagische und fischereilich bedeutsame Fische wie Hering oder Sprotte und erhöhen die Nahrungskonkurrenz zum Beispiel mit Plattfischen. Dies kann die Rekrutierung etablierter Bestände beeinflussen, benthische Lebensgemeinschaften umgestalten und zu Konkurrenzverdrängung führen. Gleichzeitig können neue Arten aber auch neue fischereiliche Möglichkeiten eröffnen.

Im Brackwassermilieu der Ostsee, in dem sich Süß- und Salzwasser mischen, haben sich aufgrund der spezifischen Bedingungen empfindliche ökologische Gleichgewichte eingestellt. Die hohe Variabilität der Umweltbedingungen bietet dort nur wenigen sehr toleranten Fischarten ausreichende Lebens- und Reproduktionsbedingungen.[717] Aufgrund der räumlichen Begrenzung der Ostsee sind räumliche Verschiebungen der Verbreitungsgebiete von etablierten oder neuen Arten dort unwahrscheinlicher als in der Nordsee. Allerdings sind Veränderungen in der Produktivität der Fischbestände für die Ostsee bereits sichtbar. Die Lebensraumbedingungen verschlechtern sich insbesondere für den Dorsch. Ab etwa 16 °C gerät der Dorsch in Temperaturstress, wodurch sich seine bevorzugten Lebensräume zunehmend in tiefere und kühlere Gewässerbereiche verlagern. Besonders die sich schnell erwärmenden Flachgründe, die wichtige Nahrungs- und Aufwuchsgebiete darstellen, können infolge der Ausdehnung sauerstoffarmer Zonen von den Dorschen nur noch eingeschränkt genutzt werden. Dies beeinträchtigt den Reproduktionserfolg, da Eier und Larven in sauerstoffarmen Gewässern weniger überlebensfähig sind. ICES-Daten zeigen sowohl sinkende Fangmengen als auch einen abnehmenden Rekrutierungserfolg des Dorsches in der Ostsee seit den 1990er Jahren (siehe Abbildung 125 und Abbildung 126).[718] Auch für den Hering sind bereits Auswirkungen erkennbar. Durch die steigenden Temperaturen findet das Laichgeschäft der Heringe früher im Jahr statt. Das Wachstum von Phyto- und Zooplankton, der Nahrung von Heringslarven, ist jedoch lichtabhängig. Da sich die Lichteinstrahlung bisher weniger verändert hat, schlüpfen die Heringslarven regelmäßig zu früh und finden nicht die notwendige Nahrung.[719]

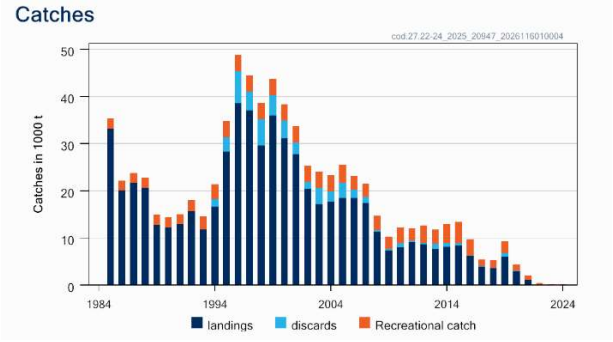


Abbildung 125: Jährliche Mengen angelandeter Fänge (landings), Beifangmengen (discards) und Fangmengen aus Freizeit- und Sportfischerei (recreational catch) des Dorsches in der westlichen Ostsee (Quelle: ICES, Bestandserfassung)

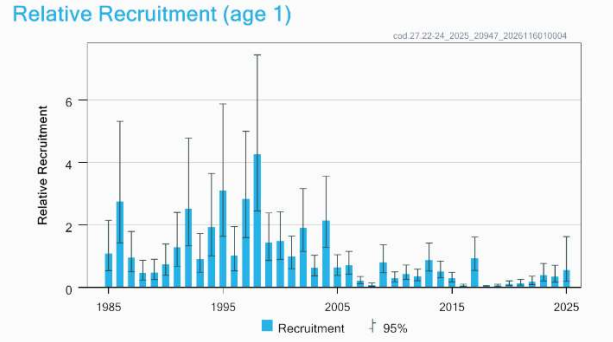


Abbildung 126: Rekrutierungserfolg des Dorsches in der westlichen Ostsee (in 1.000 Individuen) (Quelle: ICES, Bestandserfassung)

14.4.3.2 Klimarisikoanalyse

Klimaprojektionen des DWD zeigen für die Mitte und das Ende des Jahrhunderts eine weitere Zunahme der Lufttemperaturen in Schleswig-Holstein.[720] Es ist davon auszugehen, dass sich die Luft auch über der Nord- und Ostsee weiter erwärmen und dadurch zu steigenden Meerestemperaturen führen werden. Spezielle Meerestemperaturprojektionen stellt das BSH im Rahmen des DAS-Basisdienstes auf der Grundlage zweier regionaler Ozeanmodelle zur Verfügung. Für die nahe Zukunft (2031–2060) wird unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5 in der Kieler Bucht ein Anstieg der Meeresoberflächentemperatur um 1,6 bis 1,7 °C im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971–2000 projiziert. In der deutschen Bucht zeigt die Projektion einen Temperaturanstieg um etwa 1,5 °C an der Oberfläche. Die höchsten Temperaturzunahmen um bis zu 3 °C werden für die Küsten Schleswig-Holsteins und die Flachwasserbereiche projiziert.[721] Die Meerestemperatur

[717] UBA 2023, s. Fußnote 705

[718] ICES – International Council for the Exploration of the Sea 2026: Cod (*Gadus morhua*) in subdivisions 22–24, western Baltic stock (western Baltic Sea). https://standardgraphs.ices.dk/ViewCharts.aspx?key=20947

[719] Polte P., Gröhsler T., Kotterba P., von Nordheim L., Moll D., Santos J., Rodriguez-Tress P., Zablotski Y., Zimmermann C. 2021: Reduced reproductive success of Western Baltic herring (Clupea harengus) as a response to warming winters. Frontiers in Marine Science, 8, 589242. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.589242

[720] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 704

[721] BSH 2026: DAS-Klimadaten Küste. Projektionen der Meeresoberflächen- und Meeresbodentemperatur. https://das.bsh.de

am Boden wird gemäß den Projektionen relativ zur Referenzperiode noch etwas deutlicher ansteigen als an der Oberfläche.

Es ist zu erwarten, dass mit dem Temperaturanstieg weitere Veränderungen der Artenzusammensetzung und Abundanz einzelner Arten einhergehen werden. Wärmeliebende Arten (insbesondere lusitanische Arten), deren Temperaturansprüche zukünftig durch die höheren Wassertemperaturen in Nord- und Ostsee erreicht werden, könnten in ihrer Abundanz zunehmen, da sie nun in Regionen überwintern und sich reproduzieren können, wo dies zuvor nicht möglich war. Die Populationsgrößen kälteangepasster Arten werden hingegen abnehmen oder diese Arten werden sich in kältere Gewässer zurückziehen. Konkrete Aussagen zur erwarteten Entwicklung sind allerdings nicht möglich, da die zukünftige Artenzusammensetzung von den lokalen Umweltbedingungen vor Ort sowie von den artspezifischen Lebensraumansprüchen der betreffenden marinen Arten abhängt. Risikoabschätzungen können deshalb allenfalls artspezifisch erfolgen. Analysen im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes zeigen beispielhaft, dass die Habitateignung der Nordsee für den Seehecht aufgrund der projizierten Temperaturentwicklung bis zur Mitte des Jahrhunderts leicht zunehmen könnte. Aufgrund einer weiteren Erwärmung bis zum Ende des Jahrhunderts könnte die Deutsche Bucht langfristig allerdings mit fortschreitendem Klimawandel wieder an Attraktivität für den Seehecht verlieren.[722] Ergebnisse einer Studie[723] zu möglichen Veränderungen der Artenzusammensetzung im westlichen Ostseeraum zeigen, dass dort insbesondere traditionelle Zielarten der Fischerei wie der Dorsch (*Gadus morhua*) und der Hering (*Clupea harengus*) eine hohe Sensitivität gegenüber steigenden Temperaturen aufweisen. Während die Meerwassertemperaturen zukünftig außerhalb des Toleranzbereichs des Dorsches liegen könnten, wirkt sich die Erwärmung beim Hering insbesondere auf die Eientwicklung und Rekrutierung aus: Die Analyse zeigt, dass sich die für den Hering essenziellen küstennahen Aufwuchshabitate besonders stark erwärmen werden, was die Rekrutierung begrenzen und die Produktivität der Bestände reduzieren könnte. Zukünftig mildere Wintertemperaturen können – wie bereits in den vergangenen Jahren beobachtet – zukünftig zu einem noch früheren Schlupf der Heringslarven führen und die zeitliche Diskrepanz zur ausreichenden Nahrungsverfügbarkeit vergrößern. Nachteilige Auswirkungen der Temperaturzunahme werden auch für Salmoniden wie den Atlantischen Lachs (*Salmo salar*) und die Meerforelle (*Salmo trutta*) erwartet.

Im Gegensatz zu den oben genannten Arten gibt es auch Arten, die bereits heute von den klimatischen Veränderungen profitieren und sich erfolgreich in der Ostsee etablieren konnten. Dazu gehört zum Beispiel die invasive Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*), die an ein breites Spektrum von Salzgehalten und Temperaturen angepasst ist. Typische Sommergäste in der Ostsee wie die dicklippige Meeräsche (*Chelon labrosus*) oder die Streifenbarbe (*Mullus surmuletus*) dehnen ihr Vorkommen immer weiter in den Ostseeraum aus. Angesichts der vermehrt auftretenden milden Winter infolge des Klimawandels werden diese Arten gegebenenfalls auch dauerhaft in der Ostsee überleben können. Es ist jedoch anzumerken, dass rein marine Arten häufig zu geringe Salzgehalte für eine erfolgreiche Reproduktion in der Ostsee vorfinden. Daher ist nicht davon auszugehen, dass sich hier größere Populationen dieser Arten etablieren oder diese Arten gegebenenfalls die Rolle verdrängter boraealer Arten einnehmen können.

Die Veränderung der Artenzusammensetzung und die Etablierung neuer Fischarten können Anpassungen in der Fischerei erforderlich machen. Dazu gehören unter anderem eine Anpassung der Schiffsflotte und der Fangausrüstung. Zudem können wirtschaftliche Konflikte in Verbindung mit Fangrechten und -quoten entstehen. Fänge wertvoller Speisefischarten, die sich durch die Temperaturentwicklung weiter ausbreiten, bieten aber auch wirtschaftliche Chancen.

[722] Fritsch U., Zebisch M., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Porst L., Hölscher L., Wolff A., Hardner U., Schwartz K., Wolf M., Schmuck A., Schönthaler K., Nilson E., Fischer H., Fleischer C. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 3: Risiken und Anpassung im Cluster Wasser. Climate Change 22/2021. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-3-Cluster-Wasser

[723] Moll et al. 2024, s. Fußnote 711

14.5 Klimawirkung „Beeinträchtigung von und Schäden an Aquakulturen“

14.5.1 Die Klimawirkung im Überblick

Die Aquakultur ist ein bedeutender Wirtschaftszweig in Schleswig-Holstein. In der Binnenaquakultur spielt vor allem die Zucht von Karpfen und Forellen in Teichen und Durchflussanlagen und Netzgehegen eine Rolle. In der marinen Aquakultur findet die Zucht von Fischen außerdem in Netzgehegen statt. Der deutlich größere Anteil an den erzielten Erträgen geht allerdings auf die Produktion von Weichtieren im Rahmen der marinen Aquakultur zurück. Sowohl hinsichtlich der Produktionsmengen als auch der Erlöse ist die Muschelwirtschaft an der Nordseeküste der mit Abstand wichtigste Zweig der Aquakultur in Schleswig-Holstein. Infolge des Klimawandels können sich die Bedingungen für die Aquakultur verschlechtern. Veränderungen der Luft- und Wassertemperaturen sowie im Niederschlagsregime wirken sich auf die ökologischen und chemischen Gewässerparameter aus. In Anlagen beziehungsweise Zuchtgebieten mit Arten, deren Lebensraumansprüche unter den veränderten klimatischen Bedingungen nicht mehr oder nicht mehr vollständig erfüllt werden, kann es zu reduziertem Wachstum, erhöhtem Stress, sinkendem Reproduktionserfolg oder erhöhten Mortalitätsraten kommen. Als besonders kritisch für die ökonomisch bedeutsame Muschelzucht gilt die fortschreitende Ozeanversauerung, da sie die Schalenbildung von Muscheln beeinträchtigen kann. Zudem führen extreme Wetterereignisse wie Stürme, Starkregen, Hochwasser und Sturmfluten mit starken Strömungen immer wieder zu physischen Schäden an marinen sowie Binnenanlagen oder zu Verlusten von Besatztieren. Schleswig-Holstein ist bereits gut aufgestellt, um den klimatischen Herausforderungen zu begegnen und die Aquakultur resilient und nachhaltig zu gestalten. Ein solides Fundament für eine gelingende Anpassung liefern unter anderem die Ergebnisse der breit aufgestellten Aquakulturforschung des Landes.

14.5.2 Relevante Klimasignale, Exposition und Sensitivität

14.5.2.1 Klimasignale

Von zentraler Bedeutung für die Aquakultur und die in den Anlagen befindlichen Lebewesen sind die **Wassertemperaturen**. Sie beeinflussen die Physiologie und das thermische Wohlbefinden der Tiere direkt, wirken sich aber auch indirekt auf weitere relevante chemische Gewässerparameter aus. Dazu gehört insbesondere der Sauerstoffgehalt: In wärmerem Wasser nimmt die Löslichkeit von Sauerstoff ab. Gleichzeitig kann die Löslichkeit von Giftstoffen mit der Wassertemperatur zunehmen, sodass sich die Wasserqualität insgesamt verringert. Die Temperaturen steuern dadurch maßgeblich das Wachstum, die Gesundheit und die Produktivität aquakultureller Arten. Infolge der steigenden Lufttemperaturen, deren Entwicklung detailliert in der Klimaanalyse Schleswig-Holstein[724] dargestellt ist, haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte auch die Gewässer erwärmt. In der Binnenaquakultur sind die Auswirkungen des Temperaturanstiegs stark von den in den Anlagen gehaltenen Arten abhängig. Jede Art besitzt einen für ihr Wachstum und die Futterverwertung optimalen Temperaturbereich. Für den wärmeliebenden Karpfen (*Cyprinus carpio*) sind das Wassertemperaturen zwischen 23 und 28 °C.[725] Es ist davon auszugehen, dass diese Temperaturen in den Aquakulturteichen in Schleswig-Holstein bisher insgesamt nur selten erreicht werden. Eine größere Betroffenheit ergibt sich möglicherweise für die Karpfenzucht in sogenannten „Himmelsteichen“, die ausschließlich von Regenwasser gespeist werden und über keine Zuflüsse aus Oberflächengewässern oder Quellen verfügen. Vor allem während länger andauernden Trockenperioden in Verbindung mit Hitze sinken die Wasserstände in Himmelsteichen und führen gleichzeitig zu einer deutlichen Zunahme der Wassertemperaturen. Messungen an ausgewählten Himmelsteichen in Schleswig-Holstein während hochsommerlichen Bedingungen zeigten, dass die Wassertemperaturen vereinzelt über 30 °C anstiegen.[726] Diese Temperaturen können auch bei Karpfen physiologischen Stress auslösen. Insgesamt gilt die Art allerdings als anspruchslos. Werden Extremtemperaturen nicht erreicht und sind Wassermenge sowie Sauerstoffgehalt ausreichend, könnten Karpfen von den steigenden Temperaturen infolge des Klimawandels profitieren. Problematischer ist der Temperaturanstieg für Lachsfische (*Salmonidae*), zu denen auch die Forellen zählen.

[724] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[725] DFV – Deutscher Fischerei-Verband e. V. 2019: Klimawandel und Fischerei: Auswirkungen, Risiken, Chancen und Handlungsfelder. Arbeiten des Deutschen Fischerei-Verbandes e. V., Heft 98. https://epub.sub.uni-hamburg.de/epub/volltexte/2021/117453/pdf/Heft_98.pdf

[726] Ohlig C. (Hrsg.) 2012: DWhG – Zehn Jahre wasserhistorische Forschungen und Berichte. Schriften der DWhG, Band 20.2. BoD – Books on Demand

Der optimale Temperaturbereich des Wassers liegt mit 8 bis 16 °C für Forellen deutlich niedriger als beim Karpfen.[727] Um dem Stress der Tiere aufgrund zu hoher Temperaturen und dadurch bedingtem Sauerstoffmangel entgegenzuwirken, kann es erforderlich sein, kühleres sauerstoffreiches Wasser einzuspeisen. Dies setzt eine permanente Verfügbarkeit von kühlem Wasser voraus. Im Sommer und insbesondere während häufigeren und länger andauernden Hitze- sowie Trockenperioden kann dies herausfordernd sein. Höhere Wassertemperaturen begünstigen darüber hinaus eine Zunahme der Prävalenz und Schwere von Krankheiten sowie die Verbreitung und Aktivität von Parasiten.[728] Studien zeigen, dass ein Anstieg der Wassertemperatur um 1 °C die Mortalitätsraten infolge viraler Infektionen bei Fischen um bis zu rund 5 %, bei Austern sogar um mehr als 8 % erhöhen kann.[729] Höhere Wassertemperaturen stehen auch in Verbindung mit verstärkter Eutrophierung und intensivierten Zersetzungsprozessen. Temperaturbedingt stärkeres Algenwachstum mit höherer Sauerstoffzehrung kann den Sauerstoffmangel zusätzlich verschärfen. Daten zur langfristigen Temperaturentwicklung in den für die Binnenaquakultur in Schleswig-Holstein genutzten Anlagen liegen nicht vor.

Mit Blick auf die marine Aquakultur lassen sich Aussagen zur beobachteten Temperaturentwicklung auf der Grundlage von Messungen des BSH treffen. Gemittelt über die gesamte Nordsee lag die Meeresoberflächentemperatur im Durchschnitt der Jahre 2011–2020 um 0,9 °C höher als 1971–1980.[730] An der Messstation „Deutsche Bucht" vor der Küste Schleswig-Holsteins ist die Meeresoberflächentemperatur der Nordsee über die letzten rund 30 Jahre um etwa 0,8 °C gestiegen.[731] In der Ostsee ist die Erwärmung aufgrund des begrenzten Wasseraustauschs mit dem Atlantik noch ausgeprägter. An der Messstation „Leuchtturm Kiel" in der Kieler Bucht hatte die Ostsee im Mittel der Jahre 1993–2002 eine Jahresmitteltemperatur von etwa 9,7 °C. Im Zeitraum 2015–2024 lag dieser Wert um etwa 1,3 °C höher.[732] In den Sommermonaten zählen sowohl an der Nord- als auch an der Ostsee die Abschnitte entlang der Küste Schleswig-Holsteins zu den wärmsten des jeweiligen Meeres. Weitere Informationen zur Entwicklung der Meerestemperaturen sind in der Klimawirkung „Veränderung von Beständen mariner Arten und der Artenzusammensetzung in Nord- und Ostsee" (siehe Kap. 14.4) nachzulesen. Die marine Aquakultur stützt sich insbesondere auf die Züchtung von Miesmuscheln (*Mytilidae*) und Austern (*Ostreidae*). Beide Familien sind wärmetolerant und befinden sich an der deutschen Küste im Komfortbereich ihres Temperaturspektrums. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Temperaturanstieg von wenigen Grad für die relevanten Arten der marinen Aquakultur in Schleswig-Holstein keine direkten nachteiligen Auswirkungen hat.[733] Allerdings sind mit dem wärmeren Wasser andere Risiken verbunden. So steigt insbesondere das Risiko viraler Infektionen. Dies kann das Management der marinen Aquakulturen vor neue Herausforderungen stellen.

Veränderungen des **Niederschlagsregimes** beeinflussen die Binnenaquakultur sowohl quantitativ als auch qualitativ über die Wasserverfügbarkeit und den Stoffeintrag.[734] Längere Trockenperioden reduzieren den Zufluss in Teichanlagen, was zu niedrigeren Wasserständen, erhöhter Wassertemperatur und sinkendem Sauerstoffgehalt führen kann. Wie oben beschrieben, ist dies insbesondere für Forellen problematisch, da sie kühleres sowie sauerstoffreiches Wasser benötigen und weniger tolerant gegenüber Veränderungen von Gewässerparametern sind als Karpfen. Intensive Starkregenereignisse beziehungsweise Tage mit starkem Niederschlag wirken destabilisierend: Sie erhöhen den Eintrag von Nährstoffen, Sedimenten, Pestiziden und organischer Substanz aus dem Einzugsgebiet. Dies begünstigt Eutrophierung, Wassertrübung und Sauerstoffzehrung. Gleichzeitig steigt das Risiko von Überflutungen, Fischverlusten und dem Eintrag von Krankheitserregern. Insgesamt erhöhen veränderte Niederschlagsmuster die Variabilität der Produktionsbedingungen und erschweren ein stabiles Wassermanagement in Teichsystemen. Tage mit starkem Niederschlag von mindestens 20 mm pro Tag sind in

[727] DLG – Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 2018: Aquakultur und Tierwohl: Tierschutzaspekte in der Forellenhaltung. DLG-Merkblatt 441. https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/Merkblaetter/dlg-merkblatt_441.pdf

[728] Moss A., Peh J. H., Afiqah-Aleng N., Segaran T. C., Gao H., Wang P., Handayani K. S., Lananan F., Wei L. S., Fitzer S., Azra M. N. 2024: Aquaculture and climate change: a data-driven analysis. Annals of Animal Science, 25, 2, 547–568. https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0085

[729] Combe M., Reverter M., Caruso D., Pepey E., Gozlan R. E. 2023: Impact of Global Warming on the Severity of Viral Diseases: A Potentially Alarming Threat to Sustainable Aquaculture Worldwide. Microorganisms, 11, 1049. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37110472/

[730] UBA 2023: Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie). Dessau-Roßlau. http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023

[731] BSH 2026: eigene Auswertung auf Basis von Stationsmessdaten

[732] BSH 2026, s. Fußnote 731

[733] Krost P. 2014: Aquakultur und Klimawandel in der Ostsee. RADOST-Berichtsreihe Bericht Nr. 26. https://www.ecologic.eu/sites/default/files/news/2021/RADOST-26-AQUAKULTUR_060.pdf

[734] Krost 2014, s. Fußnote 733

Schleswig-Holstein bisher selten, könnten aber gemäß den Projektionsdaten des DWD zukünftig insbesondere im Westen des Landes etwas häufiger auftreten.[735]

In der marinen Aquakultur wirken sich veränderte Niederschläge vor allem indirekt über Süßwassereinträge aus Flüssen und Küstenabflüssen aus. Erhöhter Niederschlag kann zu kurzfristigen Absenkungen des Salzgehalts in Küstenzonen führen, was insbesondere für sessile Filtrierer wie Miesmuscheln und Austern physiologischen Stress bedeutet, da sie nur begrenzte beziehungsweise graduelle Salinitätsschwankungen tolerieren. Regelmäßige Belastungen durch zu geringe Salzgehalte können zudem zu physiologischen Reaktionen wie Wachstumsverringerungen und dünnerer Schalenausbildung führen. Zusätzlich transportieren verstärkte Abflüsse Nährstoffe, Sedimente und Schadstoffe ins Küstenmeer. Dies kann Algenblüten und in extremen Fällen Sauerstoffmangelereignisse hervorrufen, die das Wachstum und die Überlebensrate von Muscheln und Austern beeinträchtigen.[736] In Phasen geringerer Niederschläge und reduzierter Flusseinträge können dagegen höhere Salinitäten und eine verringerte Nährstoffverfügbarkeit auftreten, was ebenfalls das Wachstum limitieren kann. Die von zunehmendem Niederschlag eingetragenen Nährstoffe können in der Nordsee als Dünger aber auch vorteilhaft für autotrophe Organismen wie Phytoplankton sein. Diese dienen als Nahrungsquelle für Miesmuscheln und Austern. In der Ostsee hingegen besteht bereits eine Situation mit starker Eutrophierung, sodass weitere Nährstoffe eher zu negativen Folgen wie Sauerstoffmangel oder Algenaufwuchs auf den Muscheln führen. Die Auswirkungen von Veränderungen im Niederschlagsregime auf die marine Aquakultur lassen sich aufgrund der komplexen Zusammenhänge nicht übergreifend analysieren. Sie sind stark standortabhängig und eng mit Küstenhydrologie und Einzugsgebietsmanagement verknüpft.

Speziell für die marine Aquakultur sind weitere Klimasignale und mit dem Klimawandel verknüpfte Faktoren relevant. Als besonders problematisch gilt die **Ozeanversauerung**. Gelöstes CO_2 führt zu einer messbaren Herabsenkung des pH-Wertes des Meerwassers. Diese Entwicklung ist auch in den Küstenbereichen der Nord- und Ostsee nachweisbar: Seit vorindustrieller Zeit ist der pH-Wert in der Ostsee bereits um etwa 0,1 Einheiten gesunken. Die Versauerung reduziert die Verfügbarkeit von Karbonat-Ionen, die essenziell für die Kalkbildung mariner Organismen sind.[737] Miesmuscheln können laut Studien niedrigere pH-Werte zunächst ohne Wachstumseinbußen tolerieren, sofern ausreichend Nahrung vorhanden ist, bei weiter fortschreitender Versauerung werden jedoch Schädigungen als wahrscheinlich eingeschätzt.[738] Austern reagieren deutlich empfindlicher: Der frühe Schalenaufbau innerhalb der ersten 48 Lebensstunden erfordert unter sauren Bedingungen einen erhöhten Energieaufwand, was zu Entwicklungsstörungen führen kann.[739] Zwar gibt es vereinzelt Hinweise darauf, dass die Kombination von Versauerung mit steigenden Temperaturen die Kalzifikation bei Miesmuscheln und Austern unterstützen kann, indem Schalen dicker und härter werden oder metabolische Anpassungen zur effizienteren Energiegewinnung unter sauren Bedingungen erfolgen, es ist aber davon auszugehen, dass Risiken überwiegen und die Ozeanversauerung insgesamt nachteilig für die marine Aquakultur sowie die ökonomische Wertschöpfung des Wirtschaftszweigs ist.[740]

Für die marine Aquakultur stellen auch der **Meeresspiegelanstieg** sowie die zunehmende Häufigkeit von **Sturmfluten** und **Starkwindereignissen** Risiken dar. Häufigere Überflutungen können in küstennahen Aquakulturbetrieben zu Schäden an Netzen und Infrastruktur führen. Das Schadenspotenzial durch Sturmfluten nimmt auch dadurch zu, dass diese infolge des steigenden Meeresspiegels ein höheres Ausgangsniveau als früher haben und höher auflaufen.[741] Dies gefährdet statische Installationen wie Verankerungen oder Becken an Land sowie die Anlagen im Meer. Starkwindereignisse in den Monaten Mai bis September sind insbesondere für die Saatmuschelgewinnung problematisch, da starker Wellengang die bewachsenen Kollektoren beschädigen kann und die jungen Muscheln unwiederbringlich herunterfallen. Eine mögliche

[735] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 724

[736] Callaway R., Shinn A. P., Grenfell S. E., Bron J. E., Burnell G., Cook E. J., Crumlish M., Culloty S., Davidson K., Ellis R. P., Flynn K. J., Fox C., Green D. M., Hays G. C., Hughes A. D., Johnston E., Lowe C. D., Lupatsch I., Malham S. K., Mendzil A. F., Nickell T., Pickerell T., Rowley A. F., Stanley M. S., Tocher D. R., Turnbull J. F., Webb G., Wootton E., Shields R. J. 2012: Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 22, 3, 389–421. https://doi.org/10.1002/aqc.2247

[737] Thünen-Institut für Seefischerei 2026: Auswirkungen auf Fischereiwirtschaft und Aquakultur. https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/was-der-klimawandel-fuer-die-fischereiwirtschaft-bedeutet/audwirkungen-auf-fischereiwirtschaft-und-aquakultur

[738] Thomsen J., Casties I., Pansch C., Melzner F. 2013: Food availability outweighs ocean acidification effects in juvenile Mytilus edulis: laboratory and field experiments. Global Change Biology 19, 1017- 1027. https://doi.org/10.1111/gcb.12109

[739] Krost 2014, s. Fußnote 733

[740] Moss et al. 2024 und Krost 2014, s. Fußnoten 728 und 733

[741] Krost 2014, s. Fußnote 733

Zunahme solcher Wetterereignisse bedeutet ein Risiko für die Muschelzüchterinnen und Muschelzüchter, da die Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl von Saatmuscheln maßgeblich für die erzielbaren Erträge ist.

14.5.2.2 Exposition

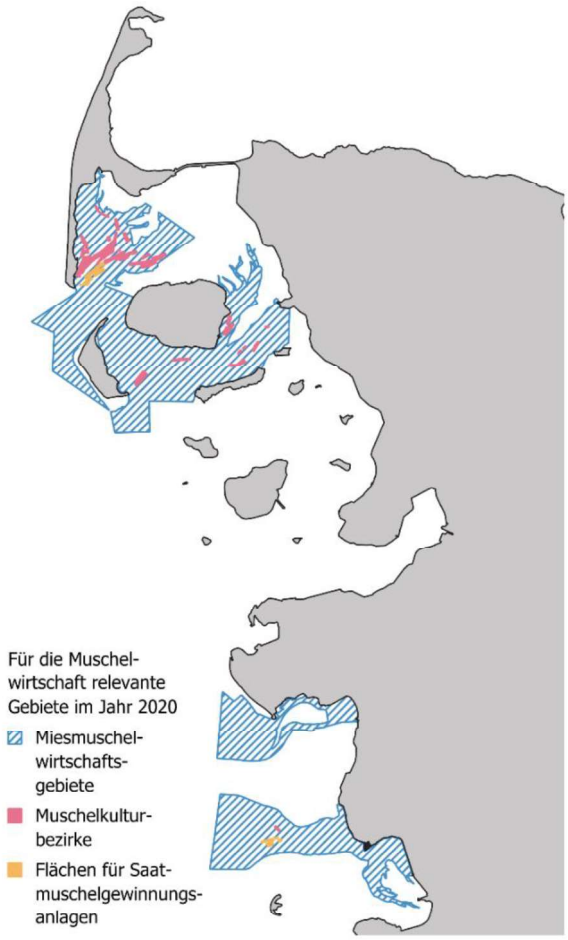


Abbildung 127: Karte der im Jahr 2020 ausgewiesenen Miesmuschelwirtschaftsgebiete, Muschelkulturbezirke und Flächen für Saatmuschelgewinnungsanlagen im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer

Aufgrund der hohen ökonomischen Bedeutung der marinen Aquakultur gegenüber der Binnenaquakultur in Schleswig-Holstein, fokussieren die folgenden Ausführungen zu Exposition und Sensitivität sowie zur Ausprägung der Klimawirkung auf die marine Aquakultur. An der Ostseeküste konzentriert sich die marine Aquakultur auf die Fisch-, Muschel- und Algenzucht in der Kieler Förde. Die flächenmäßig größten aquakulturellen Fischerei- und Zuchtgebiete und gleichzeitig das traditionelle Kerngebiet der marinen Muschelfischerei und Zucht in Schleswig-Holstein ist das Wattenmeer entlang der Westküste – heute Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer.[742] Die Gebiete zur Bewirtschaftung der dortigen Muschelressourcen werden in Schleswig-Holstein per Verordnung ausgewiesen und sind gemäß den Vorgaben des Muschelfischereiprogramms[743] streng geregelt. Das Programm sichert langfristige Zulassungen unter fischerei-, naturschutz- und küstenschutzrechtlichen Auflagen im Einklang mit den Schutzzielen des Nationalparks. Die Miesmuschelwirtschaft umfasst dabei die Besatzmuschelfischerei, die Bewirtschaftung von Muschelkulturbezirken und den Betrieb von Saatmuschelgewinnungsanlagen. Die naturschutzfachlichen Festlegungen beinhalten die Vorgabe, dass 87 % des Schutzgebiets frei von Muschelwirtschaft bleiben. Nur in ausgewiesenen Muschelwirtschaftsgebieten ist Muschelwirtschaft zulässig. Die Festlegungen geben außerdem vor, dass die Fläche der Muschelkulturbezirke, also diejenigen Teilbereiche der Miesmuschelwirtschaftsgebiete, die im jeweiligen Jahr tatsächlich für die Muschelwirtschaft genutzt werden, nicht größer als 1.700 Hektar ist. Davon stehen bis zu 250 Hektar für Saatmuschelgewinnungsanlagen zur Verfügung. Zudem gibt es spezifische Auflagen zum Schutz von Seevögeln und Beifang.[744] Abbildung 127 zeigt die im Jahr 2020 ausgewiesenen für die Muschelwirtschaft relevanten Gebiete an der Nordseeküste in Schleswig-Holstein. Die Fläche der Muschelkulturbezirke betrug im Jahr 2020 rund 1.400 Hektar, die der Saatmuschelgewinnung etwa 230 Hektar.

14.5.2.3 Sensitivität

Die Sensitivität von Aquakulturen gegenüber klimatischen Veränderungen wird durch mehrere Faktoren bestimmt. Zentral sind dabei die **gezüchteten Arten**, deren Reaktion stark von der artspezifischen Anpassungsfähigkeit, zum Beispiel im Rahmen der Schalenbildung, sowie der individuellen Toleranz gegenüber Veränderungen der Temperatur, des Sauerstoffgehalts oder der Salinität abhängen. Daneben spielen die **Umweltbedingungen der Anlagen** eine Rolle, etwa die Wassertiefe, Strömungsverhältnisse, Durchflussraten, Wasserverfügbarkeit und die Exposition gegenüber Wind und Wellen, die sowohl die physische Stabilität der Systeme als auch die Wasserqualität beeinflussen. Auch die **Systemtechnik** der Aquakultur hat Einfluss: Offene Systeme sind in der Regel empfindlicher gegenüber Stürmen, Überflutungen und

[742] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Muschelfischerei.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/F/fischerei/muschelfischerei

[743] Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume 2017: Programm zur Bewirtschaftung der Muschelressourcen im Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer" gemäß § 40 Landesfischereigesetz (LFischG) vom 31. März 2017.
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/F/fischerei/Downloads/Muschelprogramm.pdf

[744] LKN.SH 2021: Faktenblatt zur Miesmuschelwirtschaft im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. https://www.nationalpark-wattenmeer.de/wp-content/uploads/2020/04/2021-11-Faktenblatt-Miesmuschelwirtschaft-im-NP.pdf

Temperatur- oder Salzgehaltsveränderungen als geschlossene Systeme, die kontrollierte Bedingungen bieten. Die Ausprägung dieser Sensitivitätsparameter ist betriebsspezifisch. Daten liegen – falls vorhanden – direkt bei den jeweiligen Betreiberinnen und Betreibern vor. Eine standardisierte Erfassung erfolgt nicht. Darüber hinaus liegen keine Projektionen zu den zukünftigen Entwicklungen dieser Sensitivitätsfaktoren vor. Im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse wird auf eine weitere Betrachtung der Sensitivitätsfaktoren aus diesen Gründen verzichtet.

14.5.3 Ausprägung der Klimawirkung

14.5.3.1 Monitoring zur Klimawirkung

Zum Monitoring der Klimawirkung liegen derzeit keine geeigneten und belastbaren Daten vor, die potenzielle negative Effekte des Klimawandels auf die aquakulturellen Bestände dokumentieren, beispielsweise zur Häufigkeit von Krankheiten bei Miesmuscheln und Austern, zu Veränderungen der Mortalitätsraten oder zu Schäden an der aquakulturellen Infrastruktur. Zu den Erträgen der Miesmuschelwirtschaft ist bekannt, dass diese in der Vergangenheit starken Schwankungen unterlagen: Gute Jahre zeichneten sich durch hohe Produktionsmengen und Umsätze aus, während in schlechten Jahren die Erträge deutlich zurückgingen. Aufgrund des potenziellen negativen Einflusses von Starkwindereignissen und starken Strömungen in den Sommermonaten auf die Saatmuschelgewinnung durch die Beschädigung von Kollektoren und den Verlust junger Muscheln kann grundsätzlich von einem Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und den Muschelerträgen ausgegangen werden. Der klimatische Einfluss lässt sich allerdings nicht eindeutig quantifizieren.

Neben den Erträgen wurde das Verhältnis vom Schalen- zum Fleischanteil als möglicher Indikator geprüft. Dieser Anteil könnte physiologische Rückschlüsse auf das Wachstum und die Energieverteilung der Tiere erlauben: Ein höherer Schalenanteil bei gleichzeitig geringerem Fleischanteil kann darauf hindeuten, dass die Muscheln mehr Energie in die Kalkschalenbildung investieren müssen, während das Fleischwachstum – also der wertbestimmende Teil für die Aquakultur – zurückbleibt. Höhere Temperaturen sowie Veränderungen der Salinität und des pH-Werts beeinflussen den Stoffwechsel und die Schalenbildung der Muscheln und können bei nachteiliger Entwicklung physiologischen Stress auslösen, der das Wachstum von Fleisch und Schale unterschiedlich beeinflusst. Die marinen Aquakulturbetriebe in Schleswig-Holstein erheben den Fleischanteil in den Miesmuscheln als wertbestimmenden Faktor. Die Daten sind jedoch nicht öffentlich. Gemäß den Informationen der Erzeugerorganisation schleswig-holsteinischer Muschelzüchter e. V. wurde in den letzten Jahren ein langsameres Wachstum der Muscheln beobachtet. Zur Konsumreife benötigten sie im Mittel eher drei als zwei Jahre. Der Fleischgehalt variierte, die letzten beiden Jahre 2023 und 2024 waren sehr gut, die beiden Jahre davor unterdurchschnittlich. Ein belastbarer Trend der Entwicklung lässt sich aus diesen Erkenntnissen derzeit allerdings noch nicht ableiten.

14.5.3.2 Klimarisikoanalyse

Mit Blick auf die marine Aquakultur zeigen Projektionen des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie, dass sowohl die Meeresoberflächen- als auch die Meeresbodentemperaturen entlang der Nord- und Ostseeküste Schleswig-Holsteins im Verlauf des 21. Jahrhunderts weiter zunehmen werden.[745] Diese Temperaturzunahme wird auch durch die Erwärmung der Luft begünstigt. Vor allem im Sommer werden in Schleswig-Holstein häufigere und intensivere Hitzeereignisse erwartet.[746] Bei wärmetoleranten Arten wie Miesmuscheln und Austern werden thermische Toleranzschwellen zwar voraussichtlich nicht überschritten, allerdings begünstigen die höheren Temperaturen eine erhöhte Prävalenz von Krankheiten und Parasiten, die das Management mariner Aquakulturen vor zusätzliche Herausforderungen stellen können. Zudem wird erwartet, dass mit steigenden CO_2-Emissionen die Ozeanversauerung weiter fortschreitet. Im Vergleich zum durchschnittlichen pH-Rückgang seit Beginn der Industrialisierung um 0,1 Einheiten in den Weltmeeren wird bis 2100 mit einem zusätzlichen pH-Rückgang von bis zu 0,4 Einheiten gerechnet.[747] Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung die Schalenbildung kalkbildender Arten negativ beeinflussen und die Sterblichkeit von Schalentieren in Aquakulturen erhöhen wird. Projektionen zum Auftreten von Starkwind- und Sturmflutereignissen sind mit großen Unsicherheiten verbunden. Bisherige Modellierungen deuten nicht auf eine Zunahme der Windintensitäten und der Zahl von Sturmtagen an der Nordseeküste in Schleswig-Holstein hin.[748] In Verbindung mit dem projizierten weiteren Meeresspiegelanstieg ist aber davon

[745] BSH 2026: DAS-Klimadaten Küste. Projektionen der Meeresoberflächen- und Meeresbodentemperatur. https://das.bsh.de

[746] Klimaanalyse Schleswig-Holstein, s. Fußnote 724

[747] Thünen-Institut für Seefischerei 2026, s. Fußnote 737

[748] DWD 2023: Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. Hamburg: S. 36f. https://www.schleswig-holstein.de/mm/downloads/LFU/Klimareport_Schleswig-Holstein.pdf

auszugehen, dass sich unabhängig von der Entwicklung des Windgeschehens das Risiko durch höher auflaufende Sturmfluten für die Besatzmuschelgewinnung und die aquakulturelle Infrastruktur in den Küstengebieten verschärfen könnte.

Analog zum erwarteten Anstieg der Meerestemperaturen ist davon auszugehen, dass sich zukünftig in den warmen Monaten auch die durchschnittlichen Wassertemperaturen in Gewässern der Binnenaquakultur weiter erhöhen werden. Vor allem im Sommer ist zukünftig mit häufigeren Spitzentemperaturen zu rechnen, die artspezifische Toleranzgrenzen überschreiten, insbesondere bei den temperatursensiblen Salmoniden. Aufgrund der Temperaturentwicklung können sich bis zur Mitte des Jahrhunderts auch weitere temperaturbedingte Beeinträchtigungen wie Sauerstoffmangel, Eutrophierung und Algenwachstum verstärken. Die negativen Auswirkungen höherer Wassertemperaturen gehen insgesamt mit steigenden Anforderungen an die Teichreinhaltung und -bewirtschaftung einher, um gute Lebensraumbedingungen für die in den Anlagen gehaltenen Arten aufrechtzuerhalten. Gleichzeitig wachsen die Herausforderungen für die Umsetzung entsprechender Maßnahmen. So können häufigere oder länger andauernde Trockenphasen regional zu Wassermangel und Nutzungskonkurrenzen führen. Projektionen zum Niederschlagsgeschehen in Schleswig-Holstein sind uneindeutig, zeigen in der Tendenz aber eher zunehmende Niederschlagsmengen. Die Anzahl von Trockenperioden wird sich gemäß den Daten des DWD bis zur Mitte des Jahrhunderts kaum verändern (siehe Klimaanalyse, Abbildung 29). Vor diesem Hintergrund werden der Meeresspiegelanstieg und die Veränderungen im Sturmflutgeschehen die bedeutenden Risikokomponenten für die Aquakultur in Schleswig-Holstein sein.

Aufgrund der erwarteten Veränderungen gewinnen die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in der Aquakultur sowie die angewandte Forschung an Bedeutung. Schleswig-Holstein ist mit Blick auf die Anpassung bereits aktiv. So wird beispielsweise bereits seit mehreren Jahren in größerem Umfang in alternative Verfahren zur Besatzmuschelgewinnung investiert. Mit der Einrichtung von speziellen Saatmuschelgewinnungsanlagen soll den natürlichen Schwankungen in den Besatzmuschelmengen und damit auch den Erträgen entgegengewirkt werden.[749] Die neuen Verfahren haben sich bereits bewährt. Zur Aquakulturforschung ist Schleswig-Holstein ebenfalls breit aufgestellt: Aktiv sind unter anderem die Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik IMTE in Lübeck mit ihrer Außenstelle, der Gesellschaft für Marine Aquakultur (GMA) in Büsum, der Lehrstuhl für Marine Aquakultur an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und auch das GEOMAR in Kiel.[750] In Schleswig-Holstein werden interdisziplinäre Projekte zur Stärkung der marinen Aquakultur im Kontext des Klimawandels gefördert. Dazu gehört beispielsweise die Etablierung des „Hansenetzes", eines technologischen Netzwerks zur Entwicklung innovativer Verfahren für die Aquakultur und zur Verbesserung der ökologischen Resilienz.[751] Zudem sind wissenschaftliche Kooperationen zur nachhaltigen Nutzung mariner Ressourcen ein Pfeiler der Aquakultur des Landes. Die Landesregierung bezuschusst zudem Maßnahmen zur Anpassung der Aquakulturunternehmen an den Klimawandel und zur Erhöhung ihrer Widerstandsfähigkeit im Rahmen des „Landesprogramms Fischerei und Aquakultur".[752] Auf Forschungsebene werden Bewirtschaftungsstrategien, unter anderem zur Nutzung und Optimierung von Aquakultur-Technologien, sowie ökologische Untersuchungen zur Rolle von Meerespflanzen wie Seegras als natürliche Klima- und Küstenschutzkomponenten vorangetrieben, um synergistische Anpassungseffekte für Küstenökosysteme und Wirtschaftszweige herauszuarbeiten. Diese Aktivitäten unterstreichen, dass die Anpassung an die projizierten klimatischen Belastungen nicht nur eine Aufgabe der Betriebe selbst ist, sondern auch auf institutioneller, technologischer und wissenschaftlicher Ebene begleitet und weiterentwickelt wird, um die marine Aquakultur in Schleswig-Holstein resilient und nachhaltig fortzuführen.

[749] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Muschelfischerei, s. Fußnote 742

[750] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Aquakultur in Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/F/fischerei/aquakultur

[751] CAU – Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: Food security through sustainable marine aquaculture. German Society for Marine Aquaculture strengthens Fraunhofer IMTE. Projekt "Hansenetz". https://www.uni-kiel.de/en/details/news/007-gma-aquaculture

[752] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Landesprogramm Fischerei und Aquakultur. Investitionen in der Aquakultur. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/F/fischerei/aquakultur1?nn=a4d3341f-c262-4a80-895e-22f75adf672f

15 Handlungsfeld Industrie und Gewerbe

15.1 Relevanz des Handlungsfelds

Die Wirtschaft in Schleswig-Holstein ist, ähnlich wie in Deutschland insgesamt, sehr stark vom privaten und öffentlichen Dienstleistungssektor geprägt. Dessen ungeachtet ist ein starker industrieller Sektor wichtig für Schleswig-Holstein, da Industriebetriebe hochwertige Arbeitsplätze bieten, für Wertschöpfung in der eigenen und, über die Ausgaben von Unternehmen und Beschäftigten für Waren und Dienstleistungen, auch in weiteren Branchen sorgen. Zudem geben sie durch Innovationen wirtschaftliche Impulse für das Land.

In Schleswig-Holstein bot der Wirtschaftszweig des verarbeitenden Gewerbes, der in dieser Klimarisikoanalyse das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe repräsentiert, im Jahr 2024 Arbeitsplätze für rund 171.000 Erwerbstätige (11,5 %)[753] und erwirtschaftete einen Umsatz von rund 46,4 Mrd. Euro und eine Bruttowertschöpfung von 16,3 Mrd. Euro (14,2 %)[754]. Die wichtigsten Branchen des verarbeitenden Gewerbes bezogen auf den Umsatz waren, mit einem Umsatz von jeweils über 3 Mrd. Euro, die Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln (über 9 Mrd. Euro), der Maschinenbau (rund 6 Mrd. Euro) und der Fahrzeugbau (rund 4 Mrd. Euro) sowie die Herstellung von chemischen Erzeugnissen, die Herstellung von sonstigen Waren und die Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen mit jeweils zwischen 3 und 4 Mrd. Euro. Diese Branchen bieten auch die meisten Arbeitsplätze im Verarbeitenden Gewerbe, außerdem sind noch viele Erwerbstätige in der Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, der Herstellung von Metallerzeugnissen sowie der der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen beschäftigt.[755]

Es ist davon auszugehen, dass alle Wirtschaftszweige durch Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein können, die jedoch branchenspezifisch unterschiedlich ausfallen. Grundsätzlich sind die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes auf eine funktionierende Infrastruktur in den Bereichen Verkehr, Energie, Informations- und Kommunikationstechnologie und Wasser angewiesen. Durch die Klimaerwärmung können extreme Wetter- und Witterungsereignisse wie Stürme, Sturmfluten, Starkregen, Hitze und Trockenheit zukünftig häufiger und intensiver auftreten und vermehrt Schäden und Störungen der verschiedenen Infrastruktursparten verursachen. Das Land Schleswig-Holstein kann durch geeignete Vorsorge- und Schutzmaßnahmen in seinem Verantwortungsbereich dafür Sorge tragen, die diesbezüglichen Auswirkungen auch für Unternehmen möglichst gering zu halten. Es liegt aber auch in der Eigenverantwortung der Unternehmen selbst, die lokalen und gegebenenfalls globalen Klimarisiken für ihre Produktionsstandorte und Lieferketten ebenso zu analysieren wie mögliche Chancen für ihre spezifischen Produkte und Leistungen, um notwendige Maßnahmen zur Vorsorge zu ergreifen und gleichzeitig mit Innovationen von Produkten und Prozessen Wettbewerbsvorteile zu erringen.

15.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

15.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern

Für die Wirtschaft Schleswig-Holsteins spielt der Außenhandel eine bedeutende Rolle. Im Jahr 2024 belief sich das Außenhandelsvolumen auf rund 59,1 Milliarden Euro[756] und machte damit annähernd die Hälfte der schleswig-holsteinischen

[753] Destatis 2026a: Erwerbstätige, Arbeitnehmer, Selbständige und mithelfende Familienangehörige (im Inland): Bundesländer, Jahre, Wirtschaftszweige. Genesis Online Statistik Code 13311-0002.
https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/13311/table/13311-0002/

[754] Destatis 2026b: VGR der Länder (Entstehungsrechnung) - Bruttowertschöpfung zu Herstellungspreisen (nominal): Bundesländer, Jahre, Wirtschaftszweige. Genesis Online Statistik Code 82111-0011.
https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/82111/table/82111-0011/

[755] Statistik Nord (Hrsg.) 2025a: Verarbeitendes Gewerbe sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden in Schleswig-Holstein 2024. Statistische Berichte, Kennziffer: E I 1 - j 24 SH. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/E_I_1_j24_SH.xlsx

[756] Destatis 2025a: Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Bundesländer, Jahre, Warensystematik. Genesis Online, Statistik Code 51000-0034.
https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/51000/table/51000-0034/

Wirtschaftsleistung aus[757]. Die Landesregierung sieht die wirtschaftlichen Aktivitäten schleswig-holsteinischer Unternehmen im Ausland als wichtig an und unterstützt diese mit ihrer Außenwirtschaftspolitik, beispielsweise bei der Erschließung ausländischer Märkte und beim Ausbau ihrer Exporttätigkeit. Die im Land ansässigen Unternehmen betreiben Handel mit einer Vielzahl von Ländern und sind über die Aus- und Einfuhr von Rohstoffen und Produkten intensiv in den globalen Warenaustausch eingebunden. Die Außenhandelsbeziehungen Schleswig-Holsteins umspannen alle Kontinente. Gleiches gilt allerdings auch für die Folgen der globalen Erwärmung, die nicht an Ländergrenzen halt machen, sondern alle Staaten der Erde betreffen. Das bedeutet, dass grundsätzlich alle Herkunfts- oder Bestimmungsländer von Importen und Exporten der schleswig-holsteinischen Unternehmen von den Folgen der Klimaerwärmung betroffen sein können.

Um das globale Auftreten unterschiedlicher Typen von Extremwetterereignissen – zum Beispiel Stürme und Tropenstürme, Starkregen, Hitze und Trockenheit – und die jeweilige Betroffenheit der Staaten in der Analyse der Klimawirkung zusammenfassend zu verarbeiten, wurden der Climate Risk Index (CRI)[758] von Germanwatch für bereits aufgetretene Schäden und Verluste sowie der Country Index der Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN)[759] verwendet. Für die vergangenen rund 30 Jahre zeigt sich, dass einige der 30 wichtigsten Außenhandelspartner außerhalb und innerhalb Europas im weltweiten Vergleich zu den Staaten zählen, die bemessen am CRI im Zeitraum 1995–2024 besonders stark von den Auswirkungen von Extremereignissen betroffen waren. Das bedeutet: Die Werte der jeweiligen Exporte und Importe aus oder nach Schleswig-Holstein waren einer erhöhten Klimagefahr ausgesetzt. Eine zukünftig möglicherweise hohe oder erhöhte Betroffenheit durch Klimarisiken weist der ND-GAIN, gemessen an der Dimension „Exposure", für 10 der 30 wichtigsten Handelspartner Schleswig-Holsteins aus. Das Außenhandelsvolumen mit diesen Ländern belief sich im Mittel der Jahre 2002–2024 auf insgesamt über 15 Mrd. Euro, mehr als ein Drittel des mittleren Außenhandelsvolumens in diesem Zeitraum. Zieht man allerdings zusätzlich die Anpassungsfähigkeit der Staaten ins Kalkül, zählt von den 30 wichtigsten Außenhandelspartnern nur ein Land zur Gruppe mit einem relativ höheren Risiko. Der weitaus größte Teil des Außenhandels findet mit Ländern statt, die unter anderem aufgrund ihrer sozialen, institutionellen und wirtschaftlichen Ressourcen gute Rahmenbedingungen bieten und in denen die wirtschaftliche Situation Investitionen in Anpassungsmaßnahmen erlaubt.

In einem weiteren Teil der Analyse wurden Klimarisiken für einzelne Warengruppen untersucht und dabei deren Marktkonzentration mittels des Herfindahl-Hirschmann-Index einbezogen. Für die Warengruppen Kohle, Textilien, Leder und Lederwaren sowie Möbel treffen dabei ein relativ höheres Klimarisiko (ND-GAIN Exposure) und eine erhöhte Marktkonzentration zusammen. Gleichzeitig liegen die Lieferländer für diese Warengruppen im Mittel nicht im Bereich der relativ hohen Anpassungsfähigkeit, sodass ein relativ höheres Klimarisiko für die Einfuhren dieser Warengruppe bestehen kann.

Zu berücksichtigen ist für beide Auswertungen, dass sich die verwendeten Indizes jeweils auf den gesamten Staat beziehen. Innerhalb der Staaten ist das Risiko für eine Betroffenheit des Außenhandels durch Klimarisiken aber nicht in allen Landesteilen gleich ausgeprägt. Insbesondere bei Staaten mit einer großen Flächenausdehnung können regional deutliche Unterschiede bestehen, die sich in den Indizes nicht widerspiegeln. Ein ermittelter hoher Index-Wert geht daher nicht zwangsläufig mit einer tatsächlichen Betroffenheit von Ein- und Ausfuhren einher. Insgesamt erscheinen die Außenhandelsbeziehungen keinen übermäßigen Klimarisiken ausgesetzt zu sein.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 15.4

15.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der KWRA des Bundes aus dem Jahr 2021[760] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen eines handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 60 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz

[757] Statistik Nord (Hrsg.) 2025b: Bruttoinlandsprodukt in Schleswig-Holstein 2024 – Wirtschaftsleistung steigt real um 1,2 Prozent. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/SI25_058.pdf

[758] Germanwatch e. V. (Hrsg.) 2025a: Climate Risk Index 2026. Who suffers must from extreme weather events? https://www.germanwatch.org/sites/default/files/2025-11/CRI%2026%20full%20report.pdf

[759] ND-GAIN – Notre Dame Global Adaptation Initiative (Hrsg.) 2025: ND-GAIN Country Index. https://gain.nd.edu/our-work/country-index/

[760] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland - Teilbericht 5: Risiken und Anpassung in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, Band 24: S. 24 ff. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_24-2021_kwra2021_wirtschaft_gesundheit.pdf

für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 60: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Wettbewerbsvorteil in innovativen Umwelttechnologien	Durch den fortschreitenden Klimawandel ergeben sich laut KWRA 2021[761] Chancen für Unternehmen im Feld der innovativen Umwelttechnologien, zu denen auch Technologien und Produkte mit Bezug zur Klimaanpassung wie Bewässerung zählen. Die KWRA 2021 geht von einem grundsätzlich starken Wachstumspotenzial für innovative Umwelttechnologien aus. Dieser Einschätzung stehen Unsicherheiten in der zukünftigen Marktentwicklung und internationaler Wettbewerbsdruck gegenüber. Allerdings führt die Bezugnahme auf Umwelttechnologien im Zusammenhang mit der Klimaanpassung zu deutlichen Unschärfen. Einerseits umfasst der Begriff Umwelttechnologie bislang vor allem Technologien, die nicht dem Themenfeld Klimaanpassung zuzurechnen. Hierzu zählen insbesondere Technologien und Produkte aus den Bereichen Klimaschutz, beispielsweise für die Umwandlung und Speicherung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien, Energieeffizienz oder nachhaltige Mobilität. Andererseits sind auch Technologien und Produkte relevant, die nicht zu den Umwelttechnologien zählen, beispielsweise Produkte und Materialien für den Sonnenschutz an Gebäuden. Da eine Definition des Begriffs Anpassungstechnologie beziehungsweise allgemein von Anpassungswirtschaft bislang fehlt und aus diesem Grund auch keine konkreten Informationen zur aktuellen oder zukünftigen Entwicklung vorliegen, wurde die Klimawirkung als nicht relevant für eine weitergehende Analyse eingestuft und nicht weiter betrachtet.
Beeinträchtigung des internationalen Warentransports durch extreme Wetterereignisse	In der KWRA 2021[762] werden insbesondere zunehmende Risiken durch extreme Wetter- und Witterungsereignisse für den internationalen maritimen Schiffsverkehr hervorgehoben, der rund 80 % des weltweiten Handelsvolumens transportiert. Dieses Risiko kann für den Außenhandel Schleswig-Holsteins und dessen zukünftige Entwicklung eine relevante Rolle spielen. Des Weiteren werden in der KWRA 2021 dem internationalen Warenverkehr auf Straße, Schiene und Binnenwasserstraße möglicherweise zunehmende Klimarisiken attestiert, die den Außenhandel Schleswig-Holsteins grundsätzlich ebenfalls betreffen können. Im Rahmen des Workshops wurde die Relevanz der Klimawirkung grundsätzlich bestätigt. Da allerdings keine Informationen zur Beschreibung der aktuellen oder zukünftigen Auswirkungen dieser Klimarisiken auf die Logistik von Unternehmen verfügbar sind und zudem die Handlungsmöglichkeiten Schleswig-Holsteins sehr begrenzt sind – möglicherweise betroffene Verkehrsinfrastrukturen im Ausland liegen nicht in der Zuständigkeit des Landes, die Absicherung der Logistik ist prinzipiell Teil der unternehmerischen Eigenverantwortung – wurde entschieden, die Klimawirkung nicht auszuarbeiten.
Beeinträchtigung des Warentransports auf Binnenwasserstraßen	Beeinträchtigungen des Warentransports auf Binnenwasserstraßen können der KWRA 2021[763] zufolge vor allem durch extreme Niedrigwasserstände entstehen. Mögliche Beeinträchtigungen können dann etwa verringerte Transportmengen, Lieferverzögerungen oder die Notwendigkeit zur Umladung der Güter auf andere Verkehrsträger sein. Die möglichen Auswirkungen einer mehrjährigen Dürrephase unter anderem auf die Volkswirtschaft wurden ausführlich in der Risikoanalyse Dürre untersucht.[764] Projektionen des mittleren Beladungsgrads von Binnengüterschiffen für Ober-, Mittel- und Niederrhein lassen dort für alle Schiffstypen sowohl bis Mitte als auch bis Ende des Jahrhunderts eine Abnahme des mittleren Beladungsgrads erwarten. Die Ergebnisse sind

[761] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 56 ff.

[762] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 58 ff.

[763] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 60 ff.

[764] Deutscher Bundestag (Hrsg.) 2019: Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018. Drucksache 19/9521. S. 37 ff. https://dserver.bundestag.de/btd/19/095/1909521.pdf

Klimawirkung	Erläuterungen
	angesichts des erwarteten Abflussgeschehens auf die Bundeswasserstraße Elbe übertragbar. Ausgehend von Projektionen der Niedrigwasserabflüssen steht hier zu erwarten, dass sich die Abladeverhältnisse bis Mitte des Jahrhunderts moderat verändern. Für den Zeitraum bis 2100 werden dann vermehrt längere Niedrigwasserphasen projiziert, die geringere Beladungsgrade und höheren Kosten zur Folge haben könnten. Einschränkungen im Warentransport sind gemäß KWRA 2021 besonders für frei fließende Abschnitte von Wasserstraßen zu erwarten. Die Bundeswasserstraßen in Schleswig-Holstein – Nord-Ostsee-Kanal, Elbe, Elbe-Lübeck-Kanal und Untertrave, Gieselau-Kanal und Eider, Stör, Pinnau, Krückau und das Schlei-Fahrwasser sind im Wesentlichen staugestützt, also nicht frei fließend. Die höchste Tonnage wird auf Elbe und NOK befördert, außerdem findet auf Elbe-Lübeck-Kanal und Untertrave, sowie auf der Stör noch relevanter Gütertransport statt. Im Rahmen des Workshops wurde für Elbe und Elbe-Lübeck-Kanal ein mögliches Auftreten von Problemen für die Güterschifffahrt infolge von Hoch- oder Niedrigwasser beschrieben. Aufgrund der vergleichsweise geringen Relevanz sowie der Zuständigkeit des Bundes für den Schiffsverkehr auf Bundeswasserstraßen wurde aber sowohl für das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe als auch für das Handlungsfeld Verkehr und Verkehrsinfrastruktur entschieden, die Klimawirkung nicht auszuarbeiten. Weitere Informationen zum Auftreten von Niedrigwasserereignissen in Schleswig-Holstein sind in der Klimawirkung „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" im Handlungsfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft (siehe Seite 255) nachzulesen.
Beeinträchtigung des landgestützten Warenverkehrs (Inland)	Gemäß der KWRA 2021[765] ist für die Zukunft durch eine Zunahme an Starkniederschlägen und Heißen Tagen grundsätzlich mit dem Risiko von Beeinträchtigungen des Verkehrs auf Straßen und Schienen zu rechnen, in deren Folge es zu in der Regel kurzen Unterbrechungen von Lieferprozessen und Logistik kommen kann. Zwar wird erwartet, dass die damit verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen für den landgestützten Warentransport generell gering bleiben werden. Allerdings ist festzuhalten, dass für Unternehmen, die bei geringer Lagerhaltung von Rohstoffen, Vorprodukten und Erzeugnissen auf eine dicht getaktete Logistik angewiesen sind, grundsätzlich jede Beeinträchtigung des Warenverkehrs eine relevante Störung bedeutet. In der Klimarisikoanalyse Schleswig-Holstein werden Schäden oder Störungen der Verkehrsinfrastruktur und des Verkehrsflusses durch Wetter und Witterung im Handlungsfeld Verkehr behandelt. Da darüber hinausgehende spezifische Informationen, Studien oder Daten zu Folgewirkungen solcher Störungen für Unternehmen in Schleswig-Holstein nicht bekannt sind und für den mengenmäßig bedeutendsten Verkehrsträger Straße in der Regel Möglichkeiten zur Umfahrung von Störungen bestehen, um Schwierigkeiten für die Logistik zu vermeiden oder zu verringern, wurde die Klimawirkung als nicht relevant für eine weitergehende Analyse eingestuft und nicht weiter betrachtet.
Energieverbrauch und Beeinträchtigung bei der Energieversorgung	Klimabedingte Auswirkungen auf den Energiebedarf von Unternehmen werden in der KWRA 2021[766] vor allem mit Blick auf den Bedarf für Kühlenergie zur Prozesskühlung und zur Raumkühlung angesprochen. Des Weiteren wird dort die Versorgung mit Kühlwasser aus Oberflächengewässern bei niedrigen Wasserständen thematisiert. Hinsichtlich der Auswirkungen für die Energieversorgung wird vor allem die Beeinträchtigung von oberirdischen Versorgungsinfrastrukturen infolge von Extremwetter und dessen Folgen vor allem mit Fokus auf die Stromversorgung angesprochen. Im Rahmen des Workshops wurde die Einschätzung aus der KWRA 2021 geteilt, in der das Klimarisiko der Klimawirkung als gering bewertet wurde. Da Unterbrechungen oder Störungen der Stromversorgung werden in der KRA Schleswig-Holstein im Handlungsfeld Energieinfrastruktur behandelt werden und Informationen für eine detailliertere

[765] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 69 ff.

[766] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 71 ff.

Klimawirkung	Erläuterungen
	Betrachtung der konkreten Auswirkungen auf Unternehmen, zum Beispiel in Form von Produktionsausfällen, nicht bekannt sind, wurde die Klimawirkung als nicht relevant für eine weitergehende Analyse eingestuft und nicht weiter betrachtet.
Einschränkungen für Industrie und Gewerbe bei der Wasserversorgung	Einen flächendeckenden Wasserstress gibt es in Deutschland bisher nicht. Die Erfahrungen der Jahren 2018, 2019, 2020 und 2022 haben aber sehr deutlich gemacht, dass die Situation regional stark unterschiedlich ist und es, je nach dem Wasserdargebot vor Ort, lokal oder regional zu Engpässen kam.[767] Für Schleswig-Holstein ist die aktuelle und zukünftige Entwicklung der Wasserverfügbarkeit in der Klimarisikoanalyse in der Klimawirkung „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit" (siehe Seite 276) beschrieben. Für Unternehmen, die in größerem Umfang auf Wasser als Rohstoff oder für Produktionszwecke, beispielsweise zur Kühlung angewiesen sind, können sich aus einer abnehmenden Wasserverfügbarkeit, wie sie beispielsweise in den Jahren 2018 bis 2022 aufgetreten ist, möglicherweise Engpässe ergeben. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn in länger andauernden Trockenperioden die Wasserverfügbarkeit gering ist und für andere Nutzungen ein erhöhter Wasserbedarf besteht oder es in einigen Unternehmen oder Branchen sogar zu hitzebedingten Nachfragespitzen kommt. In der KWRA 2021[768] wurde der Klimawirkung für die Gegenwart ein mittleres, bis Mitte und Ende des Jahrhunderts ein geringes bis mittlere Klimarisiko beigemessen und ein dringendes Handlungserfordernis attestiert. In dieser Bewertung spiegelt sich die Einschätzung wider, dass der Wasserbedarf von Industrie und Gewerbe in Deutschland infolge fortschreitender technischer Lösungen und einem geringeren Kühlwasserbedarf thermischer Kraftwerke zwar grundsätzlich abnimmt, allerdings auch das Wasseraufkommen durch zunehmende Trockenheit geringer ist. Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung für Schleswig-Holstein ebenfalls als relevant eingestuft. Da im Handlungsfeld Wasser in den Klimawirkungen „Veränderung von Grundwasserneubildung und Grundwasserverfügbarkeit" und „Ökologische Beeinträchtigungen durch Niedrigwasser" (siehe Seiten 276 und 255) sowie im Handlungsfeld Energieinfrastruktur in der Klimawirkung „Veränderung der Kühlwasserverfügbarkeit für die Wasserelektrolyse" (siehe Seite 14) wesentliche Teilaspekt des Themas bereits behandelt sind, wurde für das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe auf die Ausarbeitung einer eigenen Klimawirkung verzichtet. Im Kontext der Fortschreibung der Klimarisikoanalyse ist zu prüfen, ob die Ausarbeitung einer eigenen Klimawirkung wesentliche zusätzliche Erkenntnisse erwarten lässt und ins Auge gefasst werden soll.
Freisetzung gefährlicher Stoffe	Die KWRA 2021[769] beschreibt in dieser Klimawirkung (extreme) Wetter- und Witterungsbedingungen als eine möglicherweise relevante Ursache für die Freisetzung gefährlicher Stoffe. Als mögliche Faktoren benennt sie unter anderem Hochwasser und Überflutungen, Blitzeinschläge, Starkniederschläge, niedrige Temperaturen und Stürme, die zu Störfällen und Unfällen führen können, bei denen ein hohes Risiko zur Freisetzung gefährlicher Stoffe, aber auch von Bränden oder Explosionen besteht. Insgesamt wurde das Klimarisiko für diese Klimawirkung sowohl für die nahe als auch die ferne Zukunft als mittel eingestuft, ohne dass aber ein dringendes Handlungserfordernis festgestellt wurde. Spezifische Aussagen zur Betroffenheit einzelner Bundesländer enthält die KWRA 2021 nicht. Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung als nicht relevant eingestuft und in der Klimarisikoanalyse nicht weiter betrachtet.

[767] UBA (Hrsg.) 2023: Trockenheit in Deutschland – Fragen und Antworten. https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisseklimawandel/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten#trockenheit-aktuelle-situation

[768] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 74 ff.

[769] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 76 ff.

Klimawirkung	Erläuterungen
Leistungseinbußen von Beschäftigten	Diese Klimawirkung der KWRA 2021[770] führt aus, dass eine steigende durchschnittliche Lufttemperatur sowie häufiger auftretenden Hitzewellen sowohl für Tätigkeiten in Innenräumen als auch im Freien Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit der Beschäftigten beziehungsweise eine geringere Arbeitsproduktivität nach sich ziehen können. Es wird erwartet, dass infolgedessen wirtschaftliche Verluste entstehen. Als weitere Faktoren, die die Leistungsfähigkeit möglicherweise einschränken, können im Freien die Folgen von Extremereignissen wie Sturm, Starkregen oder Hagel sowie die Folgen steigender UV- und Ozon- sowie Pollenbelastungen hinzukommen. In der KWRA 2021 wurde der Klimawirkung bis zur Mitte des Jahrhunderts ein geringes bis mittleres und bis zum Ende des Jahrhunderts ein mittleres bis hohes Klimarisikos beigemessen und ein dringendes Handlungserfordernis festgestellt. Spezifische Aussagen zur Betroffenheit einzelner Bundesländer enthält die KWRA 2021 nicht Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung für Schleswig-Holstein ebenfalls als relevant eingestuft. Aufgrund einer eingeschränkten Datenverfügbarkeit war eine weitergehende Bearbeitung allerdings nicht möglich. Die Klimawirkung ist zur Bearbeitung im Rahmen der Fortschreibung der Klimarisikoanalyse vorgesehen. Dabei soll insbesondere ein enger Bezug zu hitzebezogenen Ergebnissen der Klimaanalyse sowie zu den Klimawirkungen „Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze“ (Handlungsfeld Gesundheit) sowie „Zusätzliche Wärmebelastungen durch den städtischen Wärmeinseleffekt“ (Handlungsfeld Stadt- und Siedlungsentwicklung) hergestellt werden.
Beeinträchtigung von Produktionsprozessen	In der KWRA 2021[771] werden in dieser Klimawirkung Informationen und Erkenntnisse zu weiteren Klimawirkungen aus verschiedenen Handlungsfeldern zusammengeführt, die sich oder einzeln oder summarisch sekundär auch auf Produktionsprozesse auswirken können. Als zusätzlichen Aspekt benennt die KWRA 2021 in dieser Klimawirkung die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit von Maschinen, ohne allerdings die Wirkungsweise näher zu beschreiben. Es ist davon auszugehen, dass diese Auswirkung für einzelne Unternehmen beziehungsweise Produktionsbereiche oder gar einzelne Produktionsanlagen sehr spezifisch ausfällt. Zudem wird in der KWRA 2021 angeführt, dass die erwartete digitale Transformation der Industrie und die zunehmende Automatisierung zu grundlegenden Veränderungen von Produktionsprozessen führen, deren Klimavulnerabilität derzeit nicht eingeschätzt werden kann. In der KWRA 2021 wurde das Klimarisiko der Klimawirkung als gering eingeschätzt, spezifische Aussagen zur Betroffenheit einzelner Bundesländer enthält die KWRA 2021 nicht. Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung als nicht relevant eingestuft und in der Klimarisikoanalyse nicht weiter betrachtet.
Veränderung des Aufwands für die betriebliche Planung	Gemäß der KWRA 2021[772] wirken sich viele der oben bereits angeführte Klimawirkungen neben zahlreichen nicht klimabedingten Faktoren auch auf die betriebliche Planung von Unternehmen aus. Der Planungsaufwand kann sich beispielsweise verändern, wenn Logistikprozesse aufgrund eingeschränkter Lieferketten aufwändiger werden oder vermehrt kurzfristige Alternativlösungen infolge von klimabedingten Beeinträchtigungen entwickelt werden müssen. Insgesamt wird mit einem zunehmenden Aufwand für die betriebliche Planung infolge des Klimawandels gerechnet. Dabei sind die Aussagen zur zukünftigen Entwicklung des Aufwands für die betriebliche Planung aufgrund der komplexen Wirkmechanismen und Rückkopplungseffekte mit großen Unsicherheiten verbunden. In der KWRA 2021 wurde das Klimarisiko der Klimawirkung als gering eingeschätzt, spezifische Aussagen zur Betroffenheit einzelner Bundesländer enthält die KWRA 2021 nicht.

[770] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 78 ff.

[771] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 81 ff.

[772] Wolf et al. 2021, s. Fußnote 760: S. 84 ff.

Klimawirkung	Erläuterungen
	Im Rahmen des Workshops wurde die Klimawirkung als nicht relevant eingestuft und in der Klimarisikoanalyse nicht weiter betrachtet.

15.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Die wirtschaftliche Bedeutung der Klimawirkungen „Einschränkungen für Industrie und Gewerbe bei der Wasserversorgung" sowie „Leistungseinbußen von Beschäftigten" ist noch schwer abzuschätzen und somit unterschiedlich ausgefallen (siehe Tabelle 61). Von hoher wirtschaftlicher Bedeutung könnten Leistungseinbußen von Beschäftigten aufgrund der steigenden Temperaturen sein, jedoch ist Schleswig-Holstein durch seine Lage zwischen den Meeren mit Blick auf diese Klimawirkung im bundesweiten Vergleich klimatisch begünstigt. Nur im Süden des Bundeslands könnte das Thema von Bedeutung werden. Auch die Einschätzungen der Fachleute hinsichtlich der Wasserversorgung gehen stark auseinander. Hintergrund sind unterschiedliche Annahmen zum künftigen Wasserbedarf durch Industrie und Gewerbe. Projektionen gehen von einem Rückgang des Wasserbedarfs aus. Jedoch könnten einzelne Industrieansiedlungen im Bereich der Großindustrie oder von Datenzentren, die viel Kühlwasser brauchen, lokal zu einem deutlich steigenden Wasserbedarf führen. Diese Unsicherheit vor allem beim künftigen Wasserbedarf führte im Zuge des Bewertungsprozesses zu dem Votum, dass bezüglich der Einschränkungen für Industrie und Gewerbe bei der Wasserversorgung Handlungsbedarf (genaue Erfassung des Wasserbedarfs und der Kreislaufführung in der Produktion) gegeben ist. Insgesamt sind jedoch, passend zu den uneinheitlichen Bewertungen der Bedeutung, auch die Einschätzungen des Handlungsbedarfs überwiegend nicht eindeutig (siehe Tabelle 62).

Tabelle 61: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Industrie und Gewerbe

Klimawirkung	Bedeutung (schriftliche Bewertung)			Begründung	Ergebnis des Workshops
	sozial	ökologisch	wirtschaftlich		
Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern	gering	gering	gering	Insgesamt erscheinen die Außenhandelsbeziehungen keinen übermäßigen Klimarisiken ausgesetzt zu sein.	-*
Einschränkungen für Industrie und Gewerbe bei der Wasserversorgung	gering	gering	gering	Projektionen gehen von einem rückläufigen Wasserbedarf seitens der Industrie aus.	wirtschaftliche Bedeutung: uneinheitlich (gering bis sehr hoch); Begründung für höhere Bedeutung: die Großindustrie oder auch Datenzentren werden möglicherweise mehr Kühlwasser brauchen
Leistungseinbußen von Beschäftigten	gering	gering	gering	bis zur Mitte des Jahrhunderts keine bedeutende Veränderung	hohe wirtschaftliche Bedeutung (1 Votum)

* keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 62: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)	Begründung	Ergebnis des Workshops
Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern	nein	-*	-**
Einschränkungen für Industrie und Gewerbe bei der Wasserversorgung	nein	-	Handlungsbedarf gegeben (1 Votum), weil eine Erfassung des Wasserbedarfs und der Kreislaufführung in der Produktion notwendig ist
Leistungseinbußen von Beschäftigten	nein	-	Handlungsbedarf gegeben (1 Votum), weil mentale und körperliche Leistungsfähigkeit bei zunehmender Wärme abnehmen

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

15.4 Klimawirkung „Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern“

15.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Unternehmen aus Schleswig-Holstein unterhalten vielfältige internationale Handelsbeziehungen mit Partnern in annähernd allen Ländern der Erde, ihre Warenflüsse sind global organisiert. Das daraus im Jahr 2024 resultierende Außenhandelsvolumen belief sich auf rund 59,1 Milliarden Euro[773] und entspricht knapp der Hälfte des schleswig-holsteinischen Bruttoinlandsprodukts von 126,8 Milliarden Euro[774]. Das Land Schleswig-Holstein unterstützt mit seiner Außenwirtschaftspolitik die wirtschaftlichen Aktivitäten schleswig-holsteinischer Unternehmen im Ausland, beispielsweise bei der Erschließung ausländischer Märkte und beim Ausbau ihrer Exporttätigkeit, um die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und Arbeitsplätze vor Ort zu sichern. Da der Klimawandel ein globales Phänomen ist und alle Kontinente und Länder betrifft, sind grundsätzlich alle Herkunfts- oder Bestimmungsländer der Ein- und Ausfuhren schleswig-holsteinischer Unternehmen von den Folgen des Klimawandels betroffen. Aus diesen „externen“ Folgen des Klimawandels können sich in unterschiedlicher Weise Auswirkungen für die Unternehmen in Schleswig-Holstein ergeben. Möglich sind Beeinträchtigungen von Absatzmärkten oder Lieferländern – beispielsweise, wenn Kundinnen und Kunden, Produzenten und Zulieferunternehmen von extremen Wetter- und Witterungsereignissen betroffen sind – ebenso wie Chancen durch eine zunehmende Nachfrage von Produkten zum Umgang mit Klimafolgen wie Hitze oder Trockenheit. Die Beschreibung der Klimawirkung erfolgt anhand der Vulnerabilität beziehungsweise des Klimarisikos der Länder, mit denen weltweit Handelsbeziehungen bestehen.

15.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Mit Blick auf den Untersuchungsgegenstand der Klimawirkung spielen klimatische Entwicklungen in Schleswig-Holstein an dieser Stelle keine Rolle. Von Relevanz sind hier vielmehr unterschiedliche Klimasignale in den Herkunfts- und Bestimmungsländern der Ein- und Ausfuhren von Waren nach oder aus Schleswig-Holstein, die sich beispielsweise auf die Produktion oder den Abbau von nachwachsenden oder geogenen Rohstoffen, auf die Herstellung von Vor- und Zwischenprodukten ebenso wie von Gütern und Endprodukten auswirken können. Zu diesen Klimasignalen gehören die Veränderung der Durchschnittstemperatur sowie die Veränderung der Jahressumme des Niederschlags und dessen saisonaler Verteilung, aber beispielsweise auch der Wolkenbedeckung beziehungsweise der solaren Einstrahlung und des Windgeschehens. Eine besondere Rolle als Klimasignal spielt das Auftreten von Extremereignissen, vor allem von Temperaturextremen (Frost, Hitze), von Niederschlagextremen (Trockenheit, Starkniederschlag, Hagel) sowie von extremen Windereignissen (Taifun, Hurrikan, Orkan). Aufgrund der Vielzahl an Staaten, mit denen Unternehmen aus Schleswig-Holstein durch Handelsbeziehungen verbunden sind, ist eine Darstellung dieser konkreten Klimasignale im Rahmen dieser Klimawirkung nicht leistbar. Aus diesem Grund wird dem methodischen Ansatz gefolgt, der in der KWRA 2021[775] für die Analyse der Klimawirkung gewählt wurde. Dort wurde anstelle der Bearbeitung konkreter Klimasignale das Klimarisiko beziehungsweise die Vulnerabilität von Staaten gegenüber dem Klimawandel als Grundlage für die Beurteilung möglicher Klimarisiken und -chancen für den Außenhandel herangezogen. Um dies im Folgenden analog umzusetzen, werden die im Folgenden beschriebenen Datenquellen verwendet.

Climate Risk Index (Germanwatch)[776]: Der Climate Risk Index (CRI) wird seit 2006 jährlich veröffentlicht und untersucht anhand von derzeit sechs Indikatoren die Auswirkungen von hydrologischen, meteorologischen und klimatologischen Ex-

[773] Destatis 2025a: Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Bundesländer, Jahre, Warensystematik. Genesis Online, Statistik Code 51000-0034. https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/51000/table/51000-0034/

[774] Statistik Nord (Hrsg.) 2025b: Bruttoinlandsprodukt in Schleswig-Holstein 2024 – Wirtschaftsleistung steigt real um 1,2 Prozent. https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/SI25_058.pdf

[775] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Risiken und Anpassung in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, Band 24: S. 38 ff. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_24-2021_kwra2021_wirtschaft_gesundheit.pdf

[776] Germanwatch e. V. (Hrsg.) 2025a: Climate Risk Index 2026. Who suffers must from extreme weather events? https://www.germanwatch.org/sites/default/files/2025-11/CRI%2026%20full%20report.pdf

tremwetterereignissen auf eine große Zahl an Staaten. Die Folgen der eingetretenen Ereignisse bemisst er dabei anhand der aufgetretenen wirtschaftlichen und menschlichen Auswirkungen (Todesopfer sowie betroffene Menschen). Die Auswirkungen werden dabei sowohl absolut bewertet, also als monetäre Summe der entstandenen Schäden beziehungsweise als Anzahl zu beklagender Todesopfer und Anzahl betroffener Menschen, als auch relativ, das heißt in Relation zum Bruttoinlandsprodukt beziehungsweise in Relation zur Bevölkerung des jeweiligen Staates. Das mehrere Schritte von Transformation, Normierung und Wichtung der Daten umfassende Berechnungsverfahren mündet in einen sogenannten CRI-Score für jeden Staat.[777] Anhand dieses Scores wird eine Reihung der in der Auswertung berücksichtigten Staaten vorgenommen, wobei die am stärksten betroffenen Staaten an der Spitze der Rangfolge stehen. Zu berücksichtigen ist, dass die Scores für einzelne Länder aufgrund des engen Zusammenhangs mit dem Auftreten von Extremereignissen stark schwanken können, weswegen für Bewertungen auf die Platzierung im Langzeit-Ranking der Jahre 1995–2024 Bezug genommen wurde. Das Langzeit-Ranking basiert, mit Bezug zur klimatischen Normalperiode von 30 Jahren, auf 30-jährigen Mittelwerten der einzelnen Indikatoren. Für die Klimarisikoanalyse standen nur die öffentlich zugänglichen Platzierungen dieser Rangliste zur Verfügung, die konkreten CRI-Scores der Länder waren nicht verfügbar.

ND-GAIN Country-Index (Global Adaptation Initiative an der University of Notre Dame, USA)[778]: Der ND-GAIN Country-Index ermittelt in einem ersten Schritt die Vulnerabilität eines Landes gegenüber den negativen Auswirkungen des Klimawandels anhand der Kategorien Exposition, Sensitivität und Anpassungskapazität. Diese drei Kategorien werden mit einem Set an jeweils zwölf Indikatoren beurteilt und anschließend verrechnet. Je zwei der Indikatoren sind dabei den Sektoren Ernährung (Food), Wasser (Water), Gesundheit (Health), Ökosystemleistungen (Ecosystem Services), Menschlicher Lebensraum (Human Habitat) und Infrastruktur (Infrastructure) zugeordnet. Die Indikatoren werden normiert und zu einem Gesamtwert für die Vulnerabilität verrechnet. In einem zweiten Schritt wird der ermittelte Wert für die Vulnerabilität mit der Bereitschaft eines Landes (Readiness) zum Country-Index verrechnet. Diese „Readiness" steht für die Bereitschaft eines Landes, Investitionen für private und öffentliche Anpassungsmaßnahmen einzusetzen und diese Maßnahmen umzusetzen. Wie die Vulnerabilität wird auch die „Bereitschaft", unterschieden in wirtschaftliche Bereitschaft (Economic Readiness), Steuerungsbereitschaft (Governance Readiness) und gesellschaftliche Bereitschaft (Social Readiness) mit einem Set von in diesem Fall insgesamt neun Indikatoren ermittelt.[779] Sowohl für die Vulnerabilität (und individuell auch für die Kategorien Exposition (Exposure), Sensitivität (Sensitivity) und Anpassungskapazität (Capacity)) als auch für die Readiness werden jeweils Scores berechnet, die letztlich in einem Country-Index-Score zusammengeführt werden. Wie beim oben beschriebenen CRI wird auch hier eine Rangfolge der Länder gebildet, wobei eine niedrige Vulnerabilität und eine hohe Readiness einen hohen Index-Wert und damit einen der vorderen Plätze im Ranking ergeben.

Beide Indizes werden auf gesamtstaatlicher Ebene ermittelt und bewertet, sodass für einzelne Bundesländer oder Regionen keine entsprechenden Bewertungen vorliegen. Das Risiko für eine Betroffenheit des Außenhandels mit diesen Staaten ist nicht in allen Landesteilen gleich ausgeprägt. Insbesondere bei Staaten mit einer großen Flächenausdehnungen wie den USA oder China können Klimawirkungen regional deutliche Unterschiede aufweisen, die sich in den Indizes nicht widerspiegeln. Zur Einordnung des Status quo von Vulnerabilität und Risiken wird in Tabelle 63und

Tabelle 64 die Spannbreite der Ergebnisse und die Position Deutschlands sowie wichtiger Außenhandelspartner Schleswig-Holsteins dargestellt.

Tabelle 63: Climate Risk Index CRI – Platzierung Deutschlands im CRI-Kurzzeit- und Langzeit-Ranking im Vergleich zu weiteren Staaten (Quelle: Germanwatch e.V.[780])

Land	**CRI-Score 2024**	**Rang 2024**	**Score 1995–2024**	**Rang 1995–2024**
Name	Punkte	Platzierung im Kurzzeit-Ranking	Mittlere Punktezahl	Platzierung im Langzeit-Ranking
Dominica (langjährig höchstes Risiko)	nicht verfügbar	152	nicht verfügbar	1

[777] Näheres zur Methode s. Germanwatch e.V. (Hrsg.) 2025b: Climate Risk Index Methodology. https://www.germanwatch.org/sites/default/files/2025-11/CRI%2026%20methodology.pdf

[778] ND-GAIN – Notre Dame Global Adaptation Initiative (Hrsg.) 2025: ND-GAIN Country Index. https://gain.nd.edu/our-work/country-index/

[779] ND-GAIN (Hrsg.) 2024: University of Notre Dame Global Adaptation Initiative – Country Index Technical Report. https://gain.nd.edu/assets/581554/nd_gain_countryindex_technicalreport_2024.pdf

[780] Germanwatch e.V. 2025a, s. Fußnote 776

Land	CRI-Score 2024	Rang 2024	Score 1995–2024	Rang 1995–2024
Name	Punkte	Platzierung im Kurzzeit-Ranking	Mittlere Punktezahl	Platzierung im Langzeit-Ranking
China	nicht verfügbar	30	nicht verfügbar	11
USA	nicht verfügbar	21	nicht verfügbar	18
Deutschland	nicht verfügbar	50	nicht verfügbar	29
Kuwait (niedrigstes Risiko)	nicht verfügbar	158	nicht verfügbar	174

Tabelle 64: ND-GAIN Country Index – Aktuelle und langjährige Scores und Platzierungen Deutschlands im Vergleich zu anderen Staaten (Quelle: ND-GAIN[781])

Land	Score 2023	Rang 2023	Score 1995–2023	Rang 1995–2024
Name	Index-Wert	Platzierung	Mittlerer Index-Wert	Platzierung
Tschad (niedrigster Index-Wert)	24,99	1	25,47	1
China	58,10	152	51,75	132
USA	66,45	170	67,60	176
Deutschland	69,61	179	68,82	179
Norwegen (höchster Index-Wert)	76,79	187	74,54	187

15.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

15.4.3.1 Exposition

Das **Außenhandelsvolumen** von Schleswig-Holstein betrug im Jahr 2024 insgesamt rund 58 Mrd. Euro. In den Jahren seit 2002 wies das Land mit Ausnahme des Jahres 2017 ein negatives Außenhandelssaldo auf. Das bedeutet der Wert der eingeführten Waren überschreitet den Wert der Ausfuhren. Im Jahr 2024 lag der Wert der importierten Waren bei rund 31 Mrd. Euro. Der größte Zulieferer war die Volksrepublik China mit einem eingeführten Warenwert von rund 3,9 Mrd. €, gefolgt von Dänemark (2,8 Mrd. €), Irland (2,6 Mrd. €) und den USA (1,8 Mrd. €). Der Wert der Ausfuhren lag bei rund 27,1 Mrd. Euro; dies entspricht rund 21,3 % des schleswig-holsteinischen Bruttoinlandsproduktes.

Unternehmen aus Schleswig-Holstein betreiben Außenhandel mit einer Vielzahl von Ländern auf allen Kontinenten. Im Jahr 2024 exportierten sie Waren in über 200 in der Außenhandelsstatistik erfasste Länder, die eingeführten Waren stammten aus 190 Ländern. Der größere Teil (rund 70 %) des Außenhandels findet dabei mit Handelspartnern innerhalb Europas statt, vor allem innerhalb der EU (rund 60 %). Circa 30 % werden durch den Handel mit außereuropäischen Partnern zum Außenhandelsvolumen beigetragen. Die wichtigsten Ziele für den Export von Waren im Jahr 2024 waren die Niederlande (2,6 Mrd. €), die USA (2,0 Mrd. €), Italien (1,8 Mrd. €) sowie Dänemark und Belgien mit rund 1,7 Mrd. €. Bei den Ausfuhren waren im Jahr 2024 Maschinen, chemische und pharmazeutische Erzeugnisse, Nahrungs- und Futtermittel, Datenverarbeitungsgeräte, Kraftwagen und Kraftwagenteile sowie elektrische Ausrüstungen wichtige Produktgruppen mit einem Wert der ausgeführten Waren von jeweils über 1 Mrd. Euro. Bei den Einfuhren belegten 2024 pharmazeutische und chemische Erzeugnisse; Nahrungs- und Futtermittel, Erdöl und Erdgas, Datenverarbeitungsgeräte, Maschinen, elektrische Ausrüstungen, die Energieversorgung, Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd, Papier und Pappe sowie Gummi- und Kunststoffwaren mit einem Warenwert von jeweils über 1 Mrd. Euro die vorderen Ränge.[782]

[781] ND-GAIN 2025, s. Fußnote 778

[782] Destatis 2025a, s. Fußnote 773
Die verwendeten Güterkategorien beziehen sich auf das Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken, Ausgabe 2019 (GP 2019)

15.4.3.2 Sensitivität

Die Auswirkungen des Klimawandels beziehungsweise von (extremen) Wetter- und Witterungsereignissen treffen den Außenhandel dann besonders stark, wenn sich die einerseits Exporte auf wenige Zielmärkte konzentrieren, und wenn andererseits die Einfuhren wichtiger Rohstoffe, Halb- oder auch Fertigerzeugnisse aus wenigen Herkunftsländern stammen und sich nur schwierig substituieren lassen. Ein aktuelles Beispiel für eine starke Marktkonzentration ist die zum großen Teil aus China stammende Einfuhr von Seltenen Erden[783] als Rohstoff beziehungsweise Vorprodukt für die fortschreitende Digitalisierung und die Energiewende.

Eine Kennziffer, mit der sich die Konzentration von Märkten beschreiben lässt, ist der **Herfindahl-Hirschmann-Index** (HHI). Dieser Index wurde zur Beschreibung der Unternehmungskonzentration entwickelt und wird mathematisch über die Verrechnung von Produktabsatz, Marktgröße und Anzahl der Produzenten ermittelt. Der HHI wird beispielsweise gemäß den Leitlinien zur Bewertung von Zusammenschlüssen[784] von der EU-Kommission häufig angewendet, um im Zuge der Kontrolle von Unternehmenszusammenschlüssen den Konzentrationsgrad eines Marktes zu ermitteln. Für Märkte, deren HHI-Wert weniger als 0,1 beträgt, ist in der Regel keine weitere Untersuchung erforderlich. Für Märkte mit einem HHI-Wert über 0,1 und insbesondere über 0,2 bedürfen hingegen einer weiteren Untersuchung, wenn die durch den Zusammenschluss ausgelöste Veränderung der Marktkonzentration bestimmt Schwellenwerte überschreitet. Im Weiteren wird bezüglich dieser Schwellen von einer schwachen (HHI < 0,1), mittleren (0,1 ≤ HHI ≤ 0,2) und starken (HHI > 0,2) gesprochen.

Im Rahmen der KWRA 2021 wurde der HHI zur Berechnung der Marktkonzentration einzelner Herkunftsländer für ein definiertes Produkt verwendet, indem die Summe der quadrierten Importanteile der Zuliefererländer am Gesamtimport des jeweiligen Produktes nach Deutschland ermittelt wurde.[785] Die folgende Tabelle 65 stellt die Marktkonzentration für Ausfuhren und Einfuhren bezogen auf die Kategorien des für den Außenhandel erweiterten Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken 2019 (GP 2019)[786] dar. In Anlehnung an die in den oben genannten Leitlinien beschriebene Handhabung sind HHI-Werte einer starken Marktkonzentration, also ab der Schwelle von 0,2, durch Fettdruck hervorgehoben.

Tabelle 65: Marktkonzentration (Herfindahl-Hirschman-Index HHI) für Ausfuhren und Einfuhren in den Abteilungen des GP2019 bezogen auf das Jahr 2024 (Quelle: Destatis[787])

Der HHI kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. 1 bedeutet eine starke Marktkonzentration (Monopol). Werte, die eine starke Marktkonzentration bedeuten, sind fett hervorgehoben.

Abteilung des GP2019 (GP-2-Steller)	**Ausfuhren (Wert)**	**Ausfuhren (Marktkonzentration)**	**Einfuhren (Wert)**	**Einfuhren (Marktkonzentration)**
Name	Mio. Euro	HHI	Mio. Euro	HHI
01 Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd	392,64	0,102	1.103,81	0,086
02 Forstwirtschaftliche Erzeugnisse	27,26	**0,391**	11,72	0,190
03 Fische und Fischereierzeugnisse	34,18	**0,963**	112,27	**0,600**
05 Kohle	–		138,35	**0,467**
06 Erdöl und Erdgas	–		2.010,39	**0,375**
07 Erze	0,00	**1,000**	32,90	**0,561**

einschließlich der GP-Erweiterung im Außenhandel:
Destatis 2018: Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken – 2019. https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/gueterverzeichnis-3200201199004.pdf
GP-Erweiterung im Außenhandel: https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Aussenhandel/gp-erweiterung-aussenhandel.html

[783] Destatis 2025b: Ein Großteil der importierten Seltenen Erden kamen 2024 aus China. Pressemitteilung Nr. N019 vom 23. April 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/04/PD25_N019_51.html

[784] Europäische Kommission 2004: Leitlinien zur Bewertung horizontaler Zusammenschlüsse gemäß der Ratsverordnung über die Kontrolle von Unternehmenszusammenschlüssen. Mitteilung der Kommission 2004/C 31/03, Seiten 5-18. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML /?uri=CELEX:52004XC0205(02)

[785] Kahlenborn W., Porst L., Voß M., Fritsch U., Renner K., Zebisch M., Wolf M., Schönthaler K. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Anhang. Umweltbundesamt (Hrsg.), Climate Change, Band 20/2021. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_20-2021_kwra2021_anhang.pdf

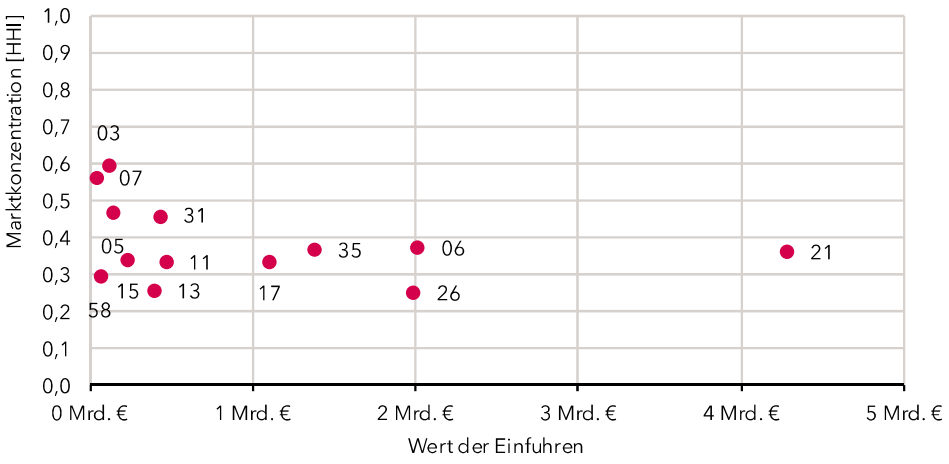
[786] zu GP 2019 s. Fußnote 782

[787] Destatis 2025a, s. Fußnote 773

Abteilung des GP2019 (GP-2-Steller)	Ausfuhren (Wert)	Ausfuhren (Markt-konzentration)	Einfuhren (Wert)	Einfuhren (Markt-konzentration)
Name	Mio. Euro	HHI	Mio. Euro	HHI
08 Steine und Erden, sonstige Bergbau-erzeugnisse	7,22	0,119	49,48	0,139
10 Nahrungsmittel und Futtermittel	3.241,31	0,073	2.679,62	0,071
11 Getränke	364,50	0,123	457,71	**0,335**
12 Tabakerzeugnisse	125,62	**0,429**	71,18	0,129
13 Textilien	117,26	0,058	386,59	**0,256**
14 Bekleidung	95,83	0,118	520,85	0,126
15 Leder und Lederwaren	79,18	0,081	229,17	**0,341**
16 Holz und Holz-, Kork-, Korb-Flechtwaren ohne Möbel	71,72	0,121	333,43	0,194
17 Papier, Pappe und Waren daraus	468,70	0,051	1.097,51	**0,338**
19 Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	694,21	0,198	273,71	0,145
20 Chemische Erzeugnisse	3.938,48	0,056	3.109,41	0,106
21 Pharmazeutische und ähnliche Erzeugnisse	2.788,12	0,137	4.274,96	**0,364**
22 Gummi- und Kunststoffwaren	722,77	0,046	1.015,90	0,078
23 Glas und -waren, Keramik, Steine und Erden	279,32	0,090	217,32	0,123
24 Metalle	232,36	0,074	464,17	0,070
25 Metallerzeugnisse	412,56	0,043	726,65	0,095
26 Datenverarbeitungsgeräte, elektrische und optische Erzeugnisse	1.679,13	0,062	1.983,54	**0,251**
27 Elektrische Ausrüstungen	1.102,31	0,051	1.510,85	0,132
28 Maschinen	4.069,97	0,049	1.955,29	0,065
29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	1.411,95	0,095	937,73	0,097
30 Sonstige Fahrzeuge	505,46	**0,595**	240,15	0,100
31 Möbel	36,01	0,050	428,84	**0,461**
32 Waren anderweitig nicht genannt	2.583,68	0,097	1.542,69	0,084
35 Energieversorgung	330,19	**0,490**	1.377,36	**0,371**
38 Sammlung, Behandlung, Beseitigung von Abfällen, Rückgewinnung von Wertstoffen	508,01	0,108	274,73	0,149
58 Güter des Verlagswesens	104,36	0,094	56,25	**0,296**
59 Ton-, Musik- und Filmträger	13,11	0,061	14,74	0,187
89 Antwortausfälle, Befreiungen, Klein-sendungen	632,54	0,104	1.342,41	0,069

Für das Jahr 2024 ist die Marktkonzentration hinsichtlich der Ausfuhr von Produkten in den verschiedenen Güterabteilungen überwiegend schwach oder mittel ausgeprägt. Das bedeutet, dass die exportierenden Unternehmen ein breites Spektrum an Absatzmärkten bedienen. Eine starke Marktkonzentration zeigt sich bei sechs Güterabteilungen, deren Ausfuhrwert jeweils weniger als 1 Mrd. Euro beträgt. Den höchsten Ausfuhrwert in dieser Gruppe weist die Güterabteilung ‚Sonstige Fahrzeuge' mit 0,51 Mrd. Euro, wovon rund 76 % auf das Konto der Kaimaninseln gehen. Der Außenhandel in der Güterabteilung ‚Energieversorgung' mit einem Ausfuhrwert von 0,33 Mrd. Euro ist auf Dänemark (64 %), Norwegen (27 %) und Schweden (9 %) beschränkt. Die Ausfuhr von Tabakerzeugnissen mit einem Wert von 0,13 Mrd. Euro hat zu annähernd zwei Dritteln die Russische Föderation als Bestimmungsland. Bei den weiteren Güterabteilungen bestimmen ebenfalls ein oder zwei Länder den jeweiligen Absatzmarkt.

Für die Einfuhr (siehe Abbildung 128) zeigt sich dagegen eine deutlich höhere Zahl an Güterabteilungen, bei denen im Jahr 2024 eine starke Marktkonzentration bestand, bei denen also eines oder wenige Länder eine dominierende Stellung als Zulieferland einnehmen. Darunter sind auch fünf Güterabteilungen mit einem Einfuhrwert von über 1 Mrd. Euro. Bei der Güterabteilung ‚Pharmazeutische Erzeugnisse' (21) mit dem höchsten Einfuhrwert von über 4,3 Mrd. Euro stammen rund 60 % der Einfuhren aus Irland. Erdöl und Erdgas (06) stammen zu 86 % aus Norwegen und dem Vereinigten Königreich (UK). Datenverarbeitungsgeräte, elektrische und optische Erzeugnisse (26) stammen zu knapp 50 % aus China. Der Außenhandel in der Güterabteilung ‚Energieversorgung' (35) ist wie bei den Ausfuhren auf Dänemark (42 %), Norwegen (41 %) und Schweden (18 %) beschränkt, wobei der Einfuhrwert mit insgesamt 1,4 Mrd. Euro den Ausfuhrwert deutlich übersteigt. Einfuhren von Papier, Pappe und Waren daraus (17) stammen zu annähernd 75 % aus Schweden und Finnland.



Quelle: destatis (Außenhandelsstatistik), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 128: Einfuhren nach Schleswig-Holstein: Marktkonzentration (HHI) und Wert der Einfuhren 2024, bezogen auf Güterabteilungen mit starker Marktkonzentration

Hinweis: Die Beschriftung der Punkte korrespondiert mit den GP19-2-Stellern aus Tabelle 65.

15.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

15.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Bislang liegen keine konkreten Informationen oder Abschätzungen vor, in welchem Umfang Unternehmen aus Schleswig-Holstein im Rahmen ihrer Außenhandelsaktivitäten von Auswirkungen des Klimawandels betroffen waren oder sind. Aus den vorliegenden Daten des Climate Risk Index, die für die Darstellung der Klimawirkung verwendet werden, lassen sich diesbezüglich auch keine Rückschlüsse im Detail ziehen. Ziel der folgenden Darstellungen ist es zu zeigen, in welchem Umfang wichtige Handelspartner Deutschlands in den vergangenen Jahren durch Auswirkungen des Klimawandels betroffen waren. Die Bedeutung der Außenhandelspartner wird dabei am jeweiligen Außenhandelsvolumen beurteilt.

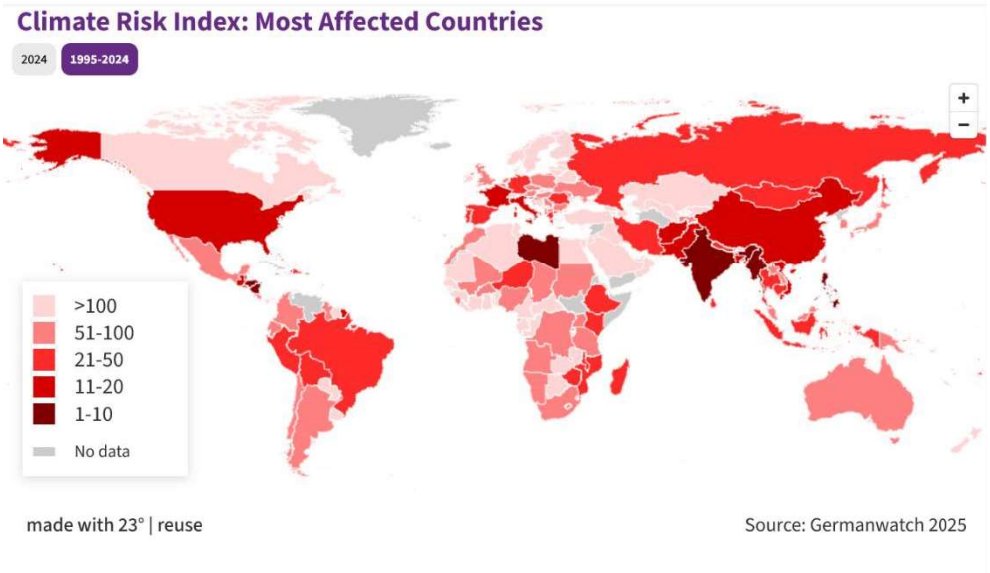


Abbildung 129: Climate Risk Index: Am stärksten von Extremwetterereignissen betroffene Länder im Zeitraum 1995–2024 (Quelle: Germanwatch 2025[788])

[788] Germanwatch e.V. 2025: Climate Risk Index: Most Affected Countries. https://www.germanwatch.org/de/cri

Aus der folgenden Tabelle 66 geht hervor, dass einige der 30 wichtigsten Außenhandelspartner der Jahre 2002–2024 im weltweiten Vergleich zu den Staaten zählen, die im Zeitraum 1995–2024 besonders stark von den Auswirkungen von Extremereignissen betroffen waren und infolgedessen einen der vorderen Ränge des Climate Risk Index einnehmen. Neben insbesondere China, den USA und Indien als großen außereuropäischen Handelspartnern gilt dies auch für die EU-Länder Frankreich, Italien, Spanien, Portugal und Griechenland, außerdem für die Russische Föderation. Dies lässt sich so interpretieren, dass die jeweiligen Werte der Ausfuhren und Einfuhren aus oder nach Schleswig-Holstein einer höheren Klimagefahr ausgesetzt waren als der Außenhandel mit anderen Staaten. Eine besonders niedrige Exposition gegenüber Klimagefahren nach dem Climate Risk Index bestand für Ein- und Ausfuhren aus und nach Dänemark, dem wichtigsten schleswig-holsteinischen Außenhandelspartner, Norwegen, Schweden, Finnland und Irland.

Ob Klimagefahren tatsächlich zu Auswirkungen auf den Außenhandel für Unternehmen aus Schleswig-Holstein geführt haben, kann anhand des Index allerdings nicht festgestellt werden. Dies hat mehrere Gründe: Der Climate Risk Index bewertet Staaten jeweils als Ganzes und erlaubt keine räumliche Differenzierung innerhalb der Länder. Der Außenhandel von Unternehmen mit Handelspartnern an Standorten oder in Landesteilen, die nicht von extremen Ereignissen betroffen waren, kann von Klimagefahren vollständig unberührt bleiben. Dies gilt auch, wenn zum Beispiel Unternehmen für den Transport von Waren auf alternative wasser- oder landgebundene Verkehrsinfrastrukturen ausweichen können. Dies kann insbesondere in Staaten mit einer großen Flächenausdehnung wie den USA, China oder Indien die jeweiligen Auswirkungen stark verringern. Zudem können auch einzelne extreme Ereignisse von kurzer Dauer den Climate Risk Index stark beeinflussen, wenn sie starke Auswirkungen auf Menschen und materielle Werte haben. Unternehmen, die ihren Außenhandel außerhalb dieses Zeitraums abwickeln, werden keine oder nur geringe Auswirkungen auf ihre Tätigkeit feststellen.

Tabelle 66: 30 wichtigste Handelspartner Schleswig-Holsteins nach mittlerem Außenhandelsvolumen im Zeitraum 2002–2024 mit aktuellem und mittlerem Rang im Climate Risk-Index-Rang (Quelle: Destatis, Germanwatch e.V.[789])

Der Climate Risk Index kann nach Anzahl der berücksichtigten Staaten Werte von 1 bis174 annehmen; 1 bedeutet das höchste Klimarisiko. Werte in den Top 30 sind fett hervorgehoben.

Wichtige Außenhandelspartner 2002-2024	**Ausfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Einfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Außenhandelsvolumen Mittel 2002-2024**	**CRI 1995–2024**
Name	Mio. Euro	Mio. Euro	Mio. Euro	Mittlerer Rang
Dänemark	1.487,91	2.514,16	4.002,07	150
China	888,50	2.969,64	3.858,14	**11**
Niederlande	1.473,54	1.563,26	3.036,80	74
Vereinigtes Königreich	1.166,40	1.347,13	2.513,52	65
USA	1.370,60	1.098,05	2.468,65	**18**
Frankreich	1.196,75	864,91	2.061,66	**12**
Italien	1.262,96	778,07	2.041,02	**16**
Schweden	546,13	1.365,27	1.911,40	153
Belgien	1.028,66	704,56	1.733,22	55
Polen	776,63	829,79	1.606,42	81
Spanien	626,18	431,53	1.057,71	**24**
Norwegen	302,73	744,57	1.047,30	155
Österreich	638,20	373,58	1.011,78	100
Schweiz	479,55	503,55	983,10	105
Irland	94,16	736,63	830,79	152
Finnland	203,67	620,98	824,64	172
Tschechien	315,92	353,24	669,17	57
Russische Föderation	397,53	269,43	666,95	**21**

[789] Destatis 2025a, s. Fußnote 773, Germanwatch e.V. 2025a, s. Fußnote 776

Wichtige Außenhandels-partner 2002-2024	Ausfuhren (Wert) Mittel 2002-2024	Einfuhren (Wert) Mittel 2002-2024	Außenhandelsvolumen Mittel 2002-2024	CRI 1995–2024
Name	Mio. Euro	Mio. Euro	Mio. Euro	Mittlerer Rang
Japan	242,56	349,63	592,20	71
Ungarn	243,74	294,64	538,38	77
Republik Korea	276,08	216,90	492,98	91
Türkei	303,59	156,50	460,09	107
Singapur	208,15	178,48	386,63	
Indien	169,48	189,56	359,05	**9**
Portugal	192,63	98,40	291,03	**27**
Kanada	185,64	65,25	250,89	106
Griechenland	196,07	48,24	244,31	**28**
Taiwan	77,17	165,98	243,15	70
Brasilien	154,88	76,59	231,48	40
Slowakei	83,11	145,82	228,93	111
Sonstige:	2.907,58	1.939,15	4.846,73	-
Summe	19.496,68	21.993,47	41.490,15	-

Das grundsätzliche Potenzial der Auswirkungen von Stürmen auf Lieferketten und Handelsbeziehungen zeigt eine Studie des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) zu den Auswirkungen auf die US-Wirtschaft von Hurrikan Harvey, der im Jahr 2017 die US-Bundesstaaten Louisiana und Texas betraf. In den Simulationen bearbeitete das Forschungsteam am PIK über 7.000 regionale Wirtschaftssektoren mit mehr als 1,8 Millionen Lieferkettenverbindungen. Die Verluste durch lokale Unterbrechungen der Produktion breiten sich über nationale und auch globale Lieferketten aus und führen damit zu erheblichen zusätzlichen indirekten wirtschaftlichen Auswirkungen.[790]

15.4.4.2 Klimarisikoanalyse

Die zukünftige Entwicklung des Außenhandels von Schleswig-Holstein ist von vielfältigen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Faktoren abhängig, die nur zu einem kleinen Teil innerhalb des Landes liegen. Projektionen zur zukünftigen Entwicklung des Außenhandels Schleswig-Holsteins sind nicht bekannt. Dementsprechend lassen sich auch zukünftige Beeinträchtigungen des Außenhandels Schleswig-Holsteins nicht projizieren. Aufgrund der globalen Perspektive der Klimawirkung ist zudem zu konstatieren, dass das reguläre Verfahren der Klimarisikoanalyse nicht direkt umsetzbar ist, bei dem Geodaten für Klimasignal, Exposition und Sensitivität bezogen auf das Gebiet des Landes Schleswig-Holstein überlagert und bewertet werden.

Vor diesem Hintergrund werden für eine auf quantitative Daten gestützte Bearbeitung der vorliegenden Klimawirkung „Beeinträchtigung des Außenhandels mit vulnerablen Ländern" dem Ansatz der KWRA 2021 folgend Parameter verwendet, die für die Außenhandelspartner Schleswig-Holsteins in einer harmonisierten und vergleichbaren Form vorliegen (siehe Tabelle 67). Konkret wurden für die Bearbeitung der Klimawirkung Daten der Außenhandelsstatistik zur Aus- und Einfuhr von Gütern aus und nach Schleswig-Holstein mit dem Index für die Exposition der exportierenden Länder gegenüber Klimagefahren verknüpft. Die Ergebnisse der quantitativen Auswertung werden für die vorliegende Klimawirkung in tabellarischer Form aufbereitet, eine kartographische Auswertung erfolgt nicht.

[790] PIK – Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung 2022: Wirtschaftsschäden durch Hurrikane für USA irgendwann nicht mehr kompensierbar.
https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/klima-wirtschaftsschaeden-fuer-usa-irgendwann-nicht-mehr-kompensierbar

Tabelle 67: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisikoanalyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	ND-GAIN Exposure	Aufteilung in Quartile	Notre Dame Global Adaptation Initiative
Exposition	Außenhandelsvolumen Einfuhren (Wert)	trifft nicht zu	Statistisches Bundesamt, GENESIS-Online, Aus- und Einfuhr (Außenhandel)
Sensitivität	ND-GAIN-Country-Index Marktkonzentration	Aufteilung in Quartile HHI* < 0,1 0,1 ≤ HHI < 0,2 HHI ≥ 0,2	Notre Dame Global Adaptation Initiative Statistisches Bundesamt, GENESIS-Online, Aus- und Einfuhr (Außenhandel)

* Herfindahl-Hirschman-Index

15.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Für die Operationalisierung des Klimasignals für die Zukunft wird für die vorliegende Klimawirkung die Bewertung in der Kategorie Exposition (Exposure) des in Kapitel 15.4.2 vorgestellte ND-GAIN Country-Index verwendet. Als Indikatoren zur Bewertung dieser Kategorie werden die für die kommenden Jahrzehnte projizierten Veränderungen im Vergleich zu einem Basisjahr beziehungsweise einem Basiszeitraum verwendet. Die verglichenen Zeiträume und / oder Jahre sowie die berücksichtigten Szenarien können sich dabei je nach verwendetem Datensatz unterscheiden. In der Regel werden den Vergleichen ein Zeithorizont bis Mitte des Jahrhunderts und ein mittleres oder gemäßigtes Szenario, beispielsweise SRES A1B oder RCP4.5, zugrunde gelegt. Mit der Verwendung dieser Bewertung kann die zukünftige Entwicklung des Klimasignals für die jeweiligen Länder in der Klimarisikoanalyse berücksichtigt werden. In der Operationalisierung werden die erreichten Score-Werte je Land verarbeitet, die ebenfalls verfügbaren Rankings bleiben unberücksichtigt.

15.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Da Projektionen bezüglich des zukünftigen Außenhandelsvolumens und damit der Bedeutung einzelner Handelspartner nicht vorliegen, wird für die Operationalisierung der Exposition das mittlere Außenhandelsvolumen des Zeitraums 2002–2024 (siehe Tabelle 66) sowie dessen Anteil am gesamten Außenhandelsvolumen verwendet. Für die Darstellung der Sensitivität kommt der Gesamt-Score des ND-GAIN-Country-Index zum Einsatz, da darin auch die Anpassungskapazität sowie die Readiness als Maß für die Anpassungsbereitschaft und -fähigkeit eines Landes einfließen. Verwendet werden dabei jeweils ebenfalls die verfügbaren langjährigen Mittelwerte, die in diesem Fall den Zeitraum 1995–2023 abdecken. Die Werte für Klimasignal, Exposition und Sensitivität sind in Tabelle 68 für die 30 wichtigsten Handelspartner dargestellt. Des Weiteren erfolgt eine Gruppierung der Länder in jeweils vier gleich große Bereiche (Quartile) für den ND-Gain Exposure Score (Tabelle 69) sowie den ND-GAIN-Country-Index (Tabelle 70). In einem zweiten Schritt wird der Fokus auf die Einfuhr von Waren der Güterabteilungen des Güterverzeichnisses für Produktionsstatistiken 2019 (GP2019) gelegt. Für die einzelnen Güterabteilungen werden jeweils die mittlere Exposition und der mittlere ND-GAIN Score der beteiligten Handelspartner ermittelt. Die Mittelung erfolgt dabei gewichtet anhand des Einfuhrwerts des Jahres 2024 des jeweiligen Landes. In einer Tabelle werden die Einfuhrwerte der jeweiligen Güterabteilungen mit den gewichteten Index-Mittelwerten sowie der jeweiligen Marktkonzentration, berechnet anhand des Herfindahl-Hirschman-Index (siehe Tabelle 65), zusammengeführt.

15.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Unternehmen aus Schleswig-Holstein pflegen weltweite Handelsbeziehungen. Insofern ist davon auszugehen, dass heute in allen Weltregionen häufiger und intensiver als in früheren Zeiten auftretende Wetter- und Klimaextreme wie Hitzewellen, Dürren und Starkregen auch Auswirkungen auf schleswig-holsteinische Unternehmen haben können oder bereits haben. In der Zukunft wird sich diese Entwicklung nach den Schlussfolgerungen des IPCC weiter fortsetzen und eine weitere Verschärfung der Extreme mit sich bringen. Hitzeperioden, Starkregen und Dürren werden weiterhin in Stärke und Häufigkeit zunehmen, tropische Wirbelstürme werden weiterhin stärker werden. Weitere Veränderungen, deren Folgen sich teilweise noch nicht verlässlich einschätzen lassen, wie das Auftauen von Permafrostböden oder das Schmelzen von Schneedecken, Gletschern und polaren Eiskörpern, kommen noch hinzu.[791] Es kann daher davon ausgegangen werden, dass zunehmende

[791] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) 2023: Klimawandel 2021: Eine Zusammenfassung für alle. www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_German.pdf

Beeinträchtigungen des Außenhandels durch Klimafolgen grundsätzlich ein relevantes Risiko für die schleswig-holsteinische Wirtschaft darstellen können.

Die folgende Tabelle 68 zeigt, dass von den 30 wichtigsten Handelspartnern Schleswig-Holsteins, die zusammen beinahe 90 % des gesamten Außenhandelsvolumens auf sich vereinen, immerhin 4 Länder zum Viertel der Länder mit dem relativ höchsten Klimarisiko gehören, das relative Klimarisiko von weiteren 6 Ländern liegt über dem Median.[792] Das Außenhandelsvolumen mit diesen 10 Ländern, zu denen auch China und die USA zählen, belief sich im Mittel der Jahre 2002–2024 auf insgesamt über 15.000 Mio. Euro, mehr als ein Drittel des gesamten Außenhandelsvolumens. Betrachtet man die Verteilung des Außenhandelsvolumens insgesamt nach Bereichen mit einem relativ unterschiedlichen Klimarisiko (siehe Tabelle 69), werden etwas mehr als die Hälfte (circa 56,5 %) davon mit dem Außenhandel mit Ländern mit einem relativ geringeren Klimarisiko generiert, rund 40,9 % des Außenhandels mit Ländern mit einem relativ höheren Klimarisiko.

Tabelle 68: 30 wichtigste Handelspartner Schleswig-Holsteins nach mittlerem Außenhandelsvolumen im Zeitraum 2002–2024 mit jeweiligem Anteil am gesamten Außenhandelsvolumen sowie ND-GAIN Exposure (Klimasignal) sowie ND-GAIN-Country-Index

Werte mit einer hohem Risiko (4. Quartil ND-GAIN Exposure) oder niedrigem Anpassungs-Index (1. Quartil ND-GAIN-Country Index) sind fett hervorgehoben.

Wichtige Außenhandelspartner 2002-2024	**Außenhandelsvolumen Mittel 2002–2024**	**Anteil am gesamten Außenhandelsvolumen**	**ND-GAIN Exposure (1995–2023)** je geringer desto besser	**ND-GAIN-Country-Index (1995–2023)** je höher desto besser
Name	Mio. Euro	%	Ohne Einheit	Ohne Einheit
Dänemark	4.002,07	9,65	0,44	71,1
China	3.858,14	9,30	0,45	51,7
Niederlande	3.036,80	7,32	0,40	66,5
Vereinigtes Königreich	2.513,52	6,06	0,39	69,7
USA	2.468,65	5,95	0,48	67,6
Frankreich	2.061,66	4,97	0,40	66,0
Italien	2.041,02	4,92	0,44	56,0
Schweden	1.911,40	4,61	0,41	70,4
Belgien	1.733,22	4,18	0,34	61,4
Polen	1.606,42	3,87	0,33	58,1
Spanien	1.057,71	2,55	0,36	60,4
Norwegen	1.047,30	2,52	0,39	74,5
Österreich	1.011,78	2,44	0,35	67,9
Schweiz	983,10	2,37	0,31	70,5
Irland	830,79	2,00	0,41	62,3
Finnland	824,64	1,99	0,44	73,4
Tschechien	669,17	1,61	0,27	60,0
Russische Föderation	666,95	1,61	0,44	55,8
Japan	592,20	1,43	**0,52**	64,5
Ungarn	538,38	1,30	0,35	55,2
Republik Korea	492,98	1,19	**0,49**	62,7
Türkei	460,09	1,11	0,42	49,7
Singapur	386,63	0,93		

[792] Hinweis: An dieser Stelle können nur relative Angaben zum Klimarisiko gemacht werden, da der ND-GAIN Exposure Score keine Kategorisierung in Risikogruppen anhand der Score-Werte vornimmt. Dies entspricht prinzipiell auch dem Vorgehen zur Generierung der ND-GAIN-Scores, da diese jeweils unter anderem unter Bezugnahme auf den Wertebereich der Rohdaten normiert werden.

Wichtige Außenhandels-partner 2002-2024	**Außenhandels-volumen Mittel 2002–2024**	**Anteil am gesamten Außenhandels-volumen**	**ND-GAIN Exposure (1995–2023)** je geringer desto besser	**ND-GAIN-Country-Index (1995–2023)** je höher desto besser
Name	Mio. Euro	%	Ohne Einheit	Ohne Einheit
Indien	359,05	0,87	**0,57**	41,8
Portugal	291,03	0,70	0,39	57,9
Kanada	250,89	0,60	0,43	68,5
Griechenland	244,31	0,59	0,42	55,2
Taiwan	243,15	0,59		
Brasilien	231,48	0,56	**0,50**	48,1
Slowakei	228,93	0,55	0,33	53,4
Sonstige (ND-GAIN-Werte gemittelt)	4.846,73	11,68	0,44	43,8-
Summe (ND-GAIN-Werte gemittelt)	41.490,15	88,32	0,43	46,9

Tabelle 69: Werte der Ausfuhren, Einfuhren und des gesamten Außenhandelsvolumens differenziert in Quartile nach ND-GAIN Exposure-Score (1995–2023) (Quelle: ND-GAIN, Destatis[793]; eigene Auswertung)

Bereich	**Bereichsgrenzen ND-GAIN Exposure Mittel 1995-2023** je geringer desto besser	**Ausfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Einfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Außenhandels-volumen Mittel 2002-2024**
Name	Ohne Einheit	Mio. Euro	Mio. Euro	Mio. Euro
1. Quartil	bis 0,37	5.285,08	4.043,92	9.329,00
2. Quartil	0,37 bis 0,44	6.574,88	7.532,79	14.107,67
3. Quartil	0,44 bis 0,49	5.844,62	8.697,72	14.542,34
4. Quartil	0,49 bis 0,72	1.110,49	1.295,69	2.406,18
Staaten ohne ND-GAIN-Bewertung		682,23	363,67	1.104,96

Ein anderes, deutlich günstigeres Bild ergibt sich, wenn man die Anpassungsfähigkeit der verschiedenen Staaten, die sich im ND-GAIN-Country-Index ausdrückt, ins Kalkül einbezieht. Von den 30 wichtigsten Außenhandelspartnern zählt nur ein Land zur Gruppe mit einem relativ höheren Risiko (siehe Tabelle 68). Der weitaus größte Teil des Außenhandels findet mit Ländern statt, die unter anderem aufgrund der bestehenden sozialen, institutionellen und wirtschaftlichen Ressourcen gute Rahmenbedingungen bieten und in denen die wirtschaftliche Situation Investitionen in Anpassungsmaßnahmen erlaubt. Der Anteil des Außenhandelsvolumens mit einer relativ günstigen Bewertung der Anpassungsfähigkeit der Handelspartner beläuft sich auf rund 93 %, 80 Prozentpunkte davon entfallen auf die günstigste Kategorie.

[793] ND-GAIN 2025, s. Fußnote 778, Destatis 2025a, s. Fußnote 773

Tabelle 70: Werte der Ausfuhren, Einfuhren und des gesamten Außenhandelsvolumens differenziert in Quartile nach ND-GAIN-Country-Index (1995-2023) (Quelle: ND-GAIN, Destatis[794]; eigene Auswertung)

Bereich	**Bereichsgrenzen ND-GAIN-Country-Index Mittel 1995-2023** je höher desto besser	**Ausfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Einfuhren (Wert) Mittel 2002-2024**	**Außenhandels-volumen Mittel 2002-2024**
Name	Ohne Einheit	Mio. Euro	Mio. Euro	Mio. Euro
1. Quartil	bis 38,21	101,13	128,26	229,39
2. Quartil	38,21 bis 45,88	736,05	694,95	1.431,00
3. Quartil	45,88 bis 53,07	2.370,50	3.959,59	6.330,10
4. Quartil	53,07 bis 74,54	15.605,26	16.787,31	32.392,57
Staaten ohne ND-GAIN-Bewertung		683,73	423,37	1.107,10

Mit Blick auf die einzelnen Warengruppen (siehe Tabelle 71) zeigt sich für die Einfuhren nach Schleswig-Holstein ein ähnliches Bild wie bei den Ergebnisse für den Außenhandel auf Länderebene. Für 6 der 34 Warengruppen nach GP2019 besteht unter Bezugnahme auf den gewichteten Mittelwert der ND-GAIN Exposure der Lieferländer dieser Warengruppe ein relativ höheres, über dem Durchschnittswert für die Länder liegendes Risiko. Für eine dieser 6 Warengruppen liegt dieser Wert im Bereich des Viertels der Länder mit der höchsten ND-GAIN Exposure, also dem relativ höchsten Risiko. Auch hier stellt sich die Situation bei Berücksichtigung der Anpassungsfähigkeiten günstiger dar. Der überwiegende Teil der Warengruppen erreicht für den gewichteten Mittelwert des ND-GAIN-Country-Index einen Wert im Bereich der Länder mit der relativ höchsten Anpassungsfähigkeit. Nur für eine Warengruppe liegt der Wert unter dem Durchschnitt.

Tabelle 71: Einfuhren nach Warengruppen mit Angabe der gewichteten mittleren ND-GAIN Exposure und des gewichteten mittleren ND-GAIN-Country Index (Quelle: Quelle: ND-GAIN, Destatis[795]; eigene Auswertung)

Die Wichtung erfolgte anhand des Anteils der Einfuhren eines Landes an der Gesamteinfuhr der jeweiligen Warengruppe.). Werte, die eine starke Marktkonzentration bedeuten, sind fett hervorgehoben.

Abteilung des GP2019 (GP-2-Steller)	**Einfuhren (Wert)**	**Einfuhren (Marktkon-zentration)**	**ND-GAIN Exposure (1995–2023)** je geringer desto besser	**ND-GAIN-Country-Index (1995–2023)** je höher desto besser
Name	Mio. Euro	HHI	ohne Einheit	ohne Einheit
01 Erzeugnisse der Landwirtschaft und Jagd	1.103,81	0,086	0,43	60,3
02 Forstwirtschaftliche Erzeugnisse	11,72	0,190	0,41	61,7
03 Fische und Fischereierzeugnisse	112,27	**0,600**	0,43	70,1
05 Kohle	138,35	**0,467**	0,45	48,2
06 Erdöl und Erdgas	2.010,39	**0,375**	0,39	70,8
07 Erze	32,90	**0,561**	0,38	61,4
08 Steine und Erden, sonstige Bergbau-erzeugnisse	49,48	0,139	0,42	67,3
10 Nahrungsmittel und Futtermittel	2.679,62	0,071	0,40	60,0
11 Getränke	457,71	**0,335**	0,43	66,7
12 Tabakerzeugnisse	71,18	0,129	**0,50**	43,8
13 Textilien	386,59	**0,256**	0,45	50,9
14 Bekleidung	520,85	0,126	0,44	51,9

[794] ND-GAIN 2025, s. Fußnote 778, Destatis 2025a, s. Fußnote 773

[795] ND-GAIN 2025, s. Fußnote 778, Destatis 2025a, s. Fußnote 773

Abteilung des GP2019 (GP-2-Steller)	**Einfuhren (Wert)**	**Einfuhren (Marktkonzentration)**	**ND-GAIN Exposure (1995–2023)** je geringer desto besser	**ND-GAIN-Country-Index (1995–2023)** je höher desto besser
Name	Mio. Euro	HHI	ohne Einheit	ohne Einheit
15 Leder und Lederwaren	229,17	**0,341**	0,44	52,0
16 Holz und Holz-, Kork-, Korb-Flechtwaren ohne Möbel	333,43	0,194	0,38	59,1
17 Papier, Pappe und Waren daraus	1.097,51	**0,338**	0,41	68,4
19 Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	273,71	0,145	0,40	66,2
20 Chemische Erzeugnisse	3.109,41	0,106	0,39	63,1
21 Pharmazeutische und ähnliche Erzeugnisse	4.274,96	**0,364**	0,41	61,4
22 Gummi- und Kunststoffwaren	1.015,90	0,078	0,38	56,2
23 Glas und -waren, Keramik, Steine und Erden	217,32	0,123	0,40	56,0
24 Metalle	464,17	0,070	0,39	59,6
25 Metallerzeugnisse	726,65	0,095	0,39	59,0
26 Datenverarbeitungsgeräte, elektrische und optische Erzeugnisse	1.983,54	**0,251**	0,43	54,4
27 Elektrische Ausrüstungen	1.510,85	0,132	0,40	56,6
28 Maschinen	1.955,29	0,065	0,40	61,7
29 Kraftwagen und Kraftwagenteile	937,73	0,097	0,38	61,0
30 Sonstige Fahrzeuge	240,15	0,100	0,40	61,0
31 Möbel	428,84	**0,461**	0,44	51,9
32 Waren anderweitig nicht genannt	1.542,69	0,084	0,42	57,5
35 Energieversorgung	1.377,36	**0,371**	0,41	72,4
38 Sammlung, Behandlung, Beseitigung von Abfällen, Rückgewinnung von Wertstoffen	274,73	0,149	0,40	65,8
58 Güter des Verlagswesens	56,25	**0,296**	0,34	59,7
59 Ton-, Musik- und Filmträger	14,74	0,187	0,39	65,1
89 Antwortausfälle, Befreiungen, Kleinsendungen	1.342,41	0,069	0,39	60,9

Für vier Warengruppen – 05 Kohle, 13 Textilien, 15 Leder und Lederwaren, 31 Möbel – trifft dabei eine relativ höheres Klimarisiko auf eine erhöhte Marktkonzentration mit einem HHI > 0,2, ohne dass der gewichtete Mittelwert der Warengruppe für den ND-GAIN-Country-Index im Bereich der relativ hohen Anpassungsfähigkeit liegt. Die höchste Marktkonzentration für diese Warengruppen weist die Kohle auf, deren Einfuhren vorwiegend aus drei Lieferländern stammen, zum größten Teil aus Südafrika (62 %), außerdem aus den USA (27 %) und Kolumbien (9 %). Die Zuordnung in den Bereich mit einem überdurchschnittlichen Klimarisiko ist dabei auf die entsprechenden Bewertungen der USA und Kolumbiens zurückzuführen. Im Gegensatz zur Kohle werden Möbel, der Warengruppe mit der zweithöchsten Marktkonzentration, aus einer Vielzahl an Ländern eingeführt. Eine herausragende Stellung hat dabei China, woher zwei Drittel (67 % der gesamten Möbeleinfuhr geliefert werden. Die Bewertung des Landes sowohl bei der ND-GAIN Exposure als auch beim ND-GAIN-Country-Index spiegeln sich direkt in der Beurteilung der Warengruppe wider. Bei Leder, der Warengruppe mit der drittthöchsten der vier ausgewählten Warengruppen, stellt sich die Situation vergleichbar mit der Warengruppe Möbel dar. Bei knapp 100 Lieferländern nimmt China mit 57 % der gelieferten Einfuhren auch hier eine dominante Stellung ein, die auch hier dazu führt, dass sich die Bewertung Chinas für beide ND-GAIN-Werte direkt in der Gesamtbewertung der Warengruppe durchpaust. Bei den Textilien spielt China ebenfalls eine wichtige Rolle (47 %), in diesem Fall allerdings begleitet von Indien und Pakistan, jeweils 12 % zu den Einfuhren beisteuern. Die insgesamt gegenüber China schlechteren

Bewertungen der beiden Länder bezüglich der ND-GAIN-Werte führen hier zu einem etwas höheren Klimarisiko und einer geringeren Anpassungsfähigkeit für die Warengruppe Textilien.

Zusammenfassend lässt sich als Ergebnis der Klimarisikoanalyse feststellen, dass Unternehmen aus Schleswig-Holstein Handelsbeziehungen mit verschiedenen Ländern unterhalten, die ein relativ höheres Klimarisiko nach ND-GAIN Exposure aufweisen. Dies schlägt sich auch in der Bewertung der Klimarisiken für einzelne Warengruppen nieder. Gleichzeitig wird deutlich, dass die meisten der wichtigen Handelspartner des Landes aufgrund ihrer sozialen, institutionellen und wirtschaftlichen Ressourcen, die sich im ND-GAIN-Country-Index widerspiegeln, eine vergleichsweise hohe Anpassungsfähigkeit besitzen. Insgesamt erscheinen die Außenhandelsbeziehungen keinen übermäßigen Klimarisiken ausgesetzt zu sein. Festzuhalten ist des Weiteren, dass in der Analyse für wenige Warengruppen eine starke Marktkonzentration festgestellt wurde. Dies kann bei einer Betroffenheit durch wetter- und witterungsbedingte Extremereignisse der jeweiligen Exportländer – vor allem von China, den USA und Südafrika – und damit verbundene Einschränkungen von Lieferketten gegebenenfalls Auswirkungen für Unternehmen in Schleswig-Holstein haben.

16 Handlungsfeld Tourismus

16.1 Relevanz des Handlungsfelds

Schleswig-Holstein zählt zu den beliebtesten Urlaubsländern Deutschlands. Die große und kontinuierlich steigende Zahl an Gästen macht den Tourismus zu einem bedeutsamen Wirtschaftszweig: Der Umsatz der Branche lag im Jahr 2024 bei rund 10,8 Milliarden Euro.[796] Dies entspricht dem Aufkommen großer Industriezweige. Die positive Entwicklung im Tourismussektor des Landes ist unter anderem auf die facettenreiche Ausrichtung des Angebots auf unterschiedliche Zielgruppen und Reiseanlässe zurückzuführen. Neben dem klassischen Bade- und Erholungstourismus an den Küsten umfasst das touristische Angebot auch das Naturerleben im Binnenland, die Gesundheitsförderung in den Kur- und Erholungsorten ebenso wie die zahlreichen Kulturschätze in den historischen Kulturlandschaften und Städten. Das Angebot lockt Gäste nicht nur für einen längeren Urlaub, sondern bietet auch vielfältige Möglichkeiten für Kurzurlaube und Tagesreisen.

Infolge des Klimawandels verändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen für Reisen nach und Aufenthalte in Schleswig-Holstein. Viele touristische Aktivitäten finden im Freien statt und sind direkt von Wetter und Witterung, aber auch von den langfristigen klimatischen Bedingungen abhängig. Extremereignisse wie Hitzeperioden oder Starkregen können zudem die Funktionstüchtigkeit und die Nutzung touristischer Infrastrukturen beeinflussen. Der Klimawandel wirkt sich damit unmittelbar auf Reiseentscheidungen und die Nachfrage, auf Betriebsabläufe sowie die regionale Wertschöpfung aus. Um der Komplexität der touristischen Aufgaben gerecht zu werden und das touristische Angebot auch vor dem Hintergrund des Klimawandels optimal aufzustellen, bildet eine eng aufeinander abgestimmte Zusammenarbeit von Politik, Verwaltung und Tourismuswirtschaft einen zentralen Baustein der Tourismusentwicklung in Schleswig-Holstein.[797] Nahtstellen zwischen den Ministerien gewährleisten eine ressortübergreifende Koordination des Tourismussektors auf politischer Ebene. In einer strategischen Steuerungs-, Marketing- und Managementfunktion ist die Tourismus-Agentur Schleswig-Holstein auf Landesebene mit den regionalen Destination Management Organisationen sowie den lokalen Tourismusorganisationen verzahnt. Die Wertschöpfung vor Ort wird vor allem durch die kleinen und mittleren Unternehmen getragen, die das touristische Angebot in den Destinationen mitgestalten. Zu diesen lokalen Akteurinnen und Akteuren gehören insbesondere die Beherbergungsbetriebe, Gastronomien sowie die Freizeit- und Erlebnisanbieterinnen und -anbieter.

Im Fokus der touristischen Entwicklung in Schleswig-Holstein stehen die nachhaltige Qualitätssicherung bei bestehenden Strukturen sowie die bedarfsgerechte Weiterentwicklung des Angebots, um den zukünftigen Anforderungen an den Tourismus – auch vor dem Hintergrund des Klimawandels – zu begegnen. Ein zentraler Ansatzpunkt ist die Verstetigung der Nachfrage über das Jahr hinweg im Rahmen der Stärkung des Ganzjahrestourismus. Die hohe touristische Nachfrage hat in den letzten Jahren vor allem in der Hauptsaison bereits einzelne Regionen und Orte an den Küsten und auf den Inseln an die Grenzen des Wachstums gebracht.[798] Aus den klimatischen Veränderungen können in Schleswig-Holstein allerdings auch Chancen erwachsen, die eine Verlängerung der Saison und neue Angebote für den Ganzjahrestourismus begünstigen. Dies könnte dazu beitragen, die saisonalen Belastungsspitzen an den Küsten abzufedern. Die systematische Auseinandersetzung mit bestehenden und zukünftigen Herausforderungen bildet eine wesentliche Voraussetzung, um die Wettbewerbsfähigkeit des Tourismus in Schleswig-Holstein zu erhalten und zugleich neue Chancen für die nachhaltige Weiterentwicklung des Sektors aktiv zu nutzen.

[796] Landesportal Schleswig-Holstein 2026: Zahlen zum Tourismus. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesportal/land-und-leute/zahlen-fakten/tourismus

[797] MWVATT – Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus (Hrsg.) 2022: Tourismusstrategie Schleswig-Holstein 2030.

[798] MWVATT 2022, s. Fußnote 797

16.2 Klimawirkungen im Handlungsfeld

16.2.1 Vertieft bearbeitete Klimawirkungen

Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen

Aufgrund der ausgedehnten Küstenlinien an Nord- und Ostsee, der vorgelagerten Inseln und Halligen sowie der landschaftlichen Vielfalt im Binnenland sind naturbezogene Tourismusformen von besonderer Bedeutung in Schleswig-Holstein. Das „Naturerlebnis" gilt schon heute als ein wichtiger Anziehungspunkt für Urlaubsgäste, ist aber auch ein Kernthema mit Blick auf die künftige touristische Profilierung des Landes. Ein Großteil des naturbezogenen touristischen Angebots basiert auf Aktivitäten im Freien, darunter Baden, Wassersport, Wandern und Radfahren, und ist in hohem Maße von Wetter und Witterung abhängig. Die klimatische Attraktivität ist damit ein entscheidender Standortfaktor für den Tourismus in Schleswig-Holstein.

Die gesamte Bandbreite der Auswirkungen des Klimawandels auf die klimatische Attraktivität von Tourismusdestinationen und den sich aus diesen Veränderungen ergebenden Chancen und Risiken für Anbieterinnen und Anbieter lässt sich nicht umfänglich erfassen, da belastbare und flächendeckende Datengrundlagen fehlen. Umfang und Art der Auswirkungen hängen zudem stark von der individuellen Angebotsgestaltung sowie der Anpassungsfähigkeit der Akteurinnen und Akteure vor Ort ab. Als Maß für die klimatische Attraktivität und damit für das Monitoring der Klimawirkung werden behelfsweise zum einen die Entwicklung der Anzahl von Badetagen und zum anderen die Anzahl der Tage mit „Tourismusklima" herangezogen. Diese Kenngrößen beleuchten ausgewählte klimatische Aspekte speziell aus Sicht des Tourismus. Als Badetag gilt ein Tag, an dem das Tagesmittel der Wassertemperatur über 15 °C liegt. Die jährliche Anzahl der Badetage ergibt sich aus der Zeitspanne vom ersten und letzten Tag, an dem diese Bedingung erfüllt ist. An den ausgewählten Messstationen in Nord- und Ostsee ist die Zahl der Badetage signifikant steigend: So gab es an der Nordsee im Schnitt der zehn Jahre 2013–2024 rund 20 Badetage mehr als im Schnitt der Jahre 1992–2001. An der Ostsee waren es im Vergleich derselben Zeiträume 27 Badetage mehr. Nicht nur die Wasser-, sondern auch die Lufttemperaturen sind im Laufe der letzten Jahrzehnte gestiegen. Grundsätzlich profitiert Schleswig-Holstein aufgrund seiner nördlichen Lage und des maritimen Einflusses von einer günstigen klimatischen Ausgangssituation mit vergleichsweise moderaten Temperaturen. Extreme Hitzeereignisse, die das thermische Wohlbefinden des Menschen und damit auch die Motivation für touristische Aktivitäten beeinträchtigen können, treten bislang nur selten auf. Als besonders angenehm für die Ausübung der genannten Aktivitäten gilt unter anderem gemäß den Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes die Kombination aus Tageshöchsttemperaturen zwischen 15 und 30 °C mit möglichst geringem Niederschlag von weniger als 0,5 mm. Tage mit diesen Bedingungen werden deshalb als Tage mit „Tourismusklima" bezeichnet. Im 30-jährigen Zeitraum 1971–2000 gab es in Schleswig-Holstein durchschnittlich 87,3 solcher Tage. Bedingt durch die räumliche Differenzierung der Lufttemperatur und des Niederschlags traten im genannten Zeitraum im Süden und Südosten des Landes mit der nördlichen Lübecker Bucht und Fehmarn mehr Tage mit Tourismusklima als in den nördlicheren Landesteilen auf.

Der Klimawandel kann zukünftig mit Herausforderungen für den Tourismus verbunden sein. So können häufigere und länger andauernde Hitzeperioden das Wohlbefinden der Gäste beeinträchtigen oder intensive Starkregenereignisse örtlich häufiger zu Einschränkungen oder Schäden an touristischen Infrastrukturen führen. Insgesamt ist aber auf Grundlage von Klimaprojektionen davon auszugehen, dass sich die klimatische Attraktivität in Schleswig-Holstein überwiegend günstig entwickeln wird: Landesweit wird infolge der steigenden Lufttemperaturen sowie stabileren Wetterlagen eine weitere Zunahme der Tage mit Tourismusklima erwartet. Dies verbessert die klimatischen Bedingungen für Aktivitäten im Freien insbesondere in den Übergangsjahreszeiten. Diese Erkenntnisse sind unter anderem für die Küstenregionen relevant, die aufgrund ihrer naturräumlichen Attraktivität und der bereits heute hohen touristischen Intensität als besonders sensitiv gelten. Um künftige Belastungsspitzen zu stemmen und Überlastungen zu vermeiden, ist eine vorausschauende Planung des Angebots für die Anbieterinnen und Anbieter entscheidend. Die klimatischen Entwicklungen sind aber auch für die bisher weniger frequentierten Destinationen im Binnenland interessant, da sich gerade dort neue Entwicklungschancen unter anderem mit Blick auf den Ganzjahrestourismus ergeben.

→ Für weitere Details zur Klimawirkung siehe Kap. 16.4

Verbindungen zum Klimafolgenmonitoring:
Indikator TO-I-1: Anzahl der Badetage[799]

16.2.2 Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Ausgehend von den in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes aus dem Jahr 2021[800] beschriebenen Klimawirkungen wurden im Rahmen von handlungsfeld-spezifischen Fachworkshops gemeinsam mit Expertinnen und Experten die in der nachfolgenden Tabelle 72 aufgeführten weiteren Klimawirkungen diskutiert. Auf der Grundlage einer Einschätzung zur aktuellen Relevanz für Schleswig-Holstein und den bisher verfügbaren Datengrundlagen wurden diese Klimawirkungen nicht für eine weitere Bearbeitung im Rahmen der Klimarisikoanalyse ausgewählt.

Tabelle 72: Diskutierte Klimawirkungen ohne weitere Bearbeitung

Klimawirkung	**Erläuterungen**
Einschränkungen des Gesundheitstourismus durch Hitze	Der Gesundheitstourismus umfasst insbesondere Kur- und Erholungsaufenthalte, die auf gesundheitsfördernde natürliche Standortfaktoren wie Klima, Luftqualität und Wasserqualität angewiesen sind. Schleswig-Holstein verfügt über eine Vielzahl an Kur- und Erholungsorten, insbesondere in den Küstenregionen an Nord- und Ostsee, deren Attraktivität maßgeblich auf dem maritimen Klima und den bioklimatischen Reizfaktoren basiert. Die Prädikatisierung dieser Orte sowie ihre touristische Attraktivität bei Gästen sind eng an das Vorliegen geeigneter klimatischer Bedingungen geknüpft. Steigende Temperaturen und häufiger auftretende Hitzeereignisse können zur Überschreitung bioklimatischer Belastungsschwellen führen, das thermische Wohlbefinden von Gästen beeinträchtigen und damit die Eignung einzelner Standorte für gesundheitsbezogene Aufenthalte einschränken. Die Klimawirkung ist für Schleswig-Holstein grundsätzlich relevant. Der Gesundheitstourismus bildet einen zentralen Bestandteil des touristischen Portfolios des Landes. Extreme Hitzeereignisse, die das Bioklima in relevantem Maß beeinträchtigen, treten bislang allerdings nur selten auf. Bis zur Mitte des Jahrhunderts ist zudem nur eine moderate Zunahme von Hitzeereignissen zu erwarten. Die für den Gesundheitstourismus besonders relevanten Küstenregionen sind aufgrund des maritimen Klimas und der Windverhältnisse deutlich weniger von Hitze belastet. Systematisch erfasste, flächendeckende Datengrundlagen zur aktuellen sowie zukünftigen Betroffenheit einzelner Kur- und Erholungsorte liegen nicht vor. Mögliche Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf das gesundheitstouristische Angebot hängen stark von den lokalen Standortbedingungen sowie von der Angebotsgestaltung und Anpassungsfähigkeit der Einrichtungen vor Ort ab. Konkrete Risikoabschätzungen zu dieser Klimawirkung sind aus diesen Gründen derzeit nicht möglich. Relevante Schnittstellen bestehen mit der in diesem Handlungsfeld vertieft bearbeiteten Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen" sowie mit den hitzebezogenen Klimawirkungen in den Handlungsfeldern „Menschliche Gesundheit", „Stadt- und Siedlungsentwicklung" sowie „Gebäude".
Einschränkungen des Wintertourismus durch fehlende Schneesicherheit	Der schneeabhängige Wintertourismus ist in vielen Regionen Deutschlands und Europas ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Insbesondere in Mittel- und Hochgebirgslagen stellt die Schneesicherheit eine zentrale Voraussetzung für wintertouristische Angebote wie Skisport, Langlauf oder weitere schneegebundene Freizeitaktivitäten dar. Der Klimawandel führt in diesen Regionen bereits heute zu einer Abnahme der Schneesicherheit, einer Verkürzung der Wintersaison sowie zu steigenden Betriebskosten, beispielsweise

[799] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt TO-I-1:
https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/download_faktenblatt/badetemperatur.pdf

[800] Wolf M., Ölmez C., Schönthaler K., Porst L., Voß M., Linsenmeier M., Kahlenborn W., Dorsch L., Dudda L. 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Climate Change 24/2021. Dessau-Roßlau, 261 S. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit

Klimawirkung	Erläuterungen
	durch künstliche Beschneiung. In Schleswig-Holstein spielt der schneeabhängige Wintertourismus aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten hingegen keine Rolle.
Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	Die Attraktivität Schleswig-Holsteins als Reiseland ist in hohem Maße an eine funktionsfähige und gut ausgebaute touristische Infrastruktur gebunden. Dazu zählen neben Beherbergungs- und Freizeiteinrichtungen insbesondere öffentliche touristische Infrastrukturen wie Strände, Promenaden, Seebrücken, Häfen sowie Rad- und Wanderwege. Gerade in den Küstenregionen, die eine zentrale Rolle für den Tourismus des Landes spielen, sind diese Infrastrukturen eng mit den natürlichen Gegebenheiten des Küstenraums verknüpft und gegenüber klimatischen Veränderungen besonders exponiert. Für Schleswig-Holstein ist diese Klimawirkung von hoher Relevanz. Die Küstenregionen sind unter anderem durch den Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten, Starkwindereignisse sowie Starkregenereignisse gefährdet. Sturmfluten können sowohl zu kurzfristigen Betriebsunterbrechungen als auch zu erheblichen Schäden an touristischen Infrastrukturen infolge von Überflutungen und Erosionsprozessen führen, bis hin zum Verlust ganzer Strandabschnitte. Erosionsbedingte Beeinträchtigungen werden aus tourismusfachlicher Sicht beispielsweise durch Strandsperrungen oder den Wegfall küstennaher Nutzungen sichtbar. Auch Hoch- und Niedrigwasserstände können lokal Einschränkungen verursachen, etwa für den touristischen Schifffahrtsbetrieb. Neben den Küstenregionen können auch touristische Infrastrukturen im Binnenland betroffen sein. Schäden am ausgedehnten Rad- und Wanderwegenetz, an Waldwegen oder an gewässernahen Infrastrukturen können infolge von Starkregen, Überschwemmungen, Trockenperioden oder Hitzewellen auftreten. Das Risiko für Tourismusdestinationen ergibt sich dabei weniger aus graduellen Veränderungen als vielmehr aus der Zunahme von Extremereignissen, die zu akuten Schäden und temporären Nutzungsausfällen führen. Während für einzelne Regionen und Infrastrukturelemente – insbesondere im Küstenraum – Daten verfügbar sind, etwa im Rahmen der „Gesamtstrategie Entwicklung Ostseeküste 2100“ und der dort eingebundenen fachlichen Gutachten, fehlt bislang ein landesweit einheitliches, systematisches Monitoring von klimabedingten Schäden an touristischer Infrastruktur. Entsprechende Informationen liegen nicht flächendeckend und nicht für alle touristisch genutzten Infrastrukturen vor. Eine übergreifende Risikoabschätzung wird zudem dadurch erschwert, dass Art und Ausmaß möglicher Schäden stark von lokalen Gegebenheiten wie Lage, Exposition, Bauweise, Nutzungsintensität sowie bestehenden Schutz- und Anpassungsmaßnahmen abhängen. Schnittstellen bestehen mit der Klimawirkung „Veränderung von Küstenrückgang und -erosion“ im Handlungsfeld „Küstenschutz“, „Schäden an Gebäuden aufgrund von Flusshochwasser und Küstenhochwasser“ im Handlungsfeld „Gebäude“ sowie „Windbedingte Einschränkungen des Straßen- und Schienenverkehrs“ im Handlungsfeld „Verkehr und Verkehrsinfrastruktur“.
Verlagerung der Nachfrage	Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Klimawandel unter den zahlreichen Faktoren, die Reiseentscheidungen und die touristische Nachfrage beeinflussen, aktuell und auch zukünftig nur eine nachgeordnete Rolle spielt. Andere Einflussgrößen wie wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Infrastrukturqualität, Freizeitangebote oder Marketingaktivitäten dominieren die Reiseentscheidungen der Gäste. Aspekte der Klimawirkung – insbesondere mit Blick auf die weitere Stärkung des Ganzjahrestourismus in Schleswig-Holstein zur Steuerung der Nachfrage – sind Bestandteil der Ausführungen zur vertieft bearbeiteten Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen“.

16.3 Bedeutung der Klimawirkungen und Handlungsbedarf

Im Handlungsfeld Tourismus wurde die Klimawirkung „Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen“ als hochbedeutend bewertet. Diese Einschätzung gilt sowohl für die soziale und die ökologische als auch die wirtschaftliche Bedeutung (siehe Tabelle 73) unter der Annahme, dass auch Sandstrände, Promenaden und Seebrücken als touristische Infrastrukturen gelten. Diese sind insbesondere durch Sturmfluten bedroht. Dies im Blick behaltend sahen die an der Bewertung beteiligten Fachleute Handlungsbedarf seitens der Landesregierung (siehe Tabelle 74).

Tabelle 73: Bedeutung der Klimawirkungen im Handlungsfeld Tourismus

Klimawirkung	**Bedeutung (schriftliche Bewertung)**			**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
	sozial	**ökologisch**	**wirtschaftlich**		
Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen	gering	gering	gering	Veränderung der klimatischen Attraktivität für Schleswig-Holstein eher nicht von Nachteil („Coolcation“, also Abwandern von Gästen aus südlicheren, wärmeren Regionen nach Schleswig-Holstein)	-**
Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	hoch	hoch	hoch	-*	geringe ökologische Bedeutung (1 Votum), weil der Fokus der Klimawirkung auf die Wirtschaft zielt (Folgen für Betriebe)

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

Tabelle 74: Bewertung der Frage „Besteht seitens der Landesregierung Handlungsbedarf in den kommenden fünf Jahren?“

Klimawirkung	**Handlungsbedarf (schriftliche Bewertung)**	**Begründung**	**Ergebnis des Workshops**
Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen	nein	-*	-**
Schäden an touristischen Infrastrukturen und Betriebsunterbrechungen	ja	Sandstrände als touristische Infrastruktur (Handlungsbedarf aufgrund von Sturmflutereignissen), auch für Promenaden und Seebrücken Handlungsbedarf	-

* keine Begründung geliefert

** keine von der schriftlichen Bewertung abweichende Einschätzung

16.4 Klimawirkung „Veränderung der klimatischen Attraktivität von Tourismusdestinationen“

16.4.1 Die Klimawirkung im Überblick

Der Tourismus ist eines der wichtigsten wirtschaftlichen Standbeine Schleswig-Holsteins.[801] Aufgrund der ausgedehnten Küstenlinien an Nord- und Ostsee, den vorgelagerten Inseln und Halligen sowie weitgehend unverbauten und vielseitigen Naturlandschaften im Binnenland zählen Natururlauberinnen und -urlauber zu den Leitzielgruppen für den Tourismus in Schleswig-Holstein. Das „Naturerlebnis“ gilt schon heute als ein wichtiger Anziehungspunkt für Urlaubsgäste, ist aber auch ein Kernthema mit Blick auf die künftige touristische Profilierung des Landes. Die damit verbundenen Tourismusformen basieren wesentlich auf Freizeitaktivitäten im Freien – vor allem Schwimmen, Wandern sowie Radfahren – und sind stark von Wetter und Witterung, aber auch von den langfristigen klimatischen Bedingungen abhängig. Für Destinationen, deren touristische Ausrichtung auf diese Angebote fokussiert, können infolge des Klimawandels Risiken ebenso wie Potenziale entstehen. Schleswig-Holstein profitiert aufgrund seiner nördlichen Lage und dem maritimen Einfluss der Nord- und Ostsee von günstigen klimatischen Ausgangsbedingungen: Extremtemperaturen treten bislang nur selten auf. Steigende Luft- und Wassertemperaturen an den Küsten bei zunehmend stabilen Wetterlagen lassen in der Tendenz eher eine Steigerung der Attraktivität statt Einschränkungen der touristischen Aktivität erwarten. Dies gilt insbesondere, wenn extreme Hitze und Trockenheit die Attraktivität südlicher Urlaubsregionen wie des Mittelmeerraums einschränken. Die Abschätzung künftiger klimatischer Entwicklungen ermöglicht es Anbieterinnen und Anbietern in Schleswig-Holstein, sich strategisch anzupassen, Potenziale zu nutzen und Risiken zu minimieren, zum Beispiel durch gezielte Angebotsentwicklung, Anpassung der Infrastruktur oder Marketingmaßnahmen. Einen strategischen Rahmen für die nachhaltige Aufstellung des Tourismus mit entsprechenden Maßnahmen zur Anpassung bildet die Tourismusstrategie Schleswig-Holstein 2030[802].

16.4.2 Klimasignale mit Relevanz für die Klimawirkung – Entwicklung in Schleswig-Holstein

Für den naturbezogenen Tourismus spielt die **Lufttemperatur** eine bedeutende Rolle. Sie beeinflusst maßgeblich die Aufenthaltsqualität und die Nutzbarkeit von Freizeit- und Erholungsangeboten im Freien. Analysen langjähriger Messungen des DWD zeigen, dass sowohl die Jahresdurchschnittstemperatur als auch die durchschnittlichen Temperaturen in den einzelnen Jahreszeiten in Schleswig-Holstein im Laufe der letzten Jahrzehnte gestiegen sind. Detaillierte Ausführungen und Kartenmaterial zur Entwicklung der Lufttemperatur in Schleswig-Holstein sind Bestandteil der Klimaanalyse[803]. Mildere Winter und höhere Temperaturen im Herbst können dazu führen, dass sich der jährliche Zeitraum verlängert, in dem optimale Temperaturen für touristische Outdoor-Aktivitäten herrschen. Mit den steigenden Temperaturen im Sommer kann es aber auch häufiger zu extremer und lang andauernder Hitze kommen, die das Wohlbefinden und die Motivation für touristische Aktivitäten einschränken kann. Mit intensiver Hitze steigt darüber hinaus auch das Risiko für Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit (siehe Klimawirkung „Veränderung der Morbidität und Mortalität durch Hitze“, Seite 190). An Heißen Tagen liegt gemäß der Definition des DWD die Tageshöchsttemperatur bei mindestens 30 °C. Ab diesen Temperaturen ist von Beeinträchtigungen der Gesundheit und damit auch des Wohlbefindens von Touristinnen und Touristen auszugehen.[804] In Schleswig-Holstein kommt es durch die Nähe zu Nord- und Ostsee seltener zu Heißen Tagen als in südlicheren Regionen Deutschlands. Die Analyse historischer Klimadaten zeigt, dass Schleswig-Holstein zwar immer wieder von Hitze betroffen ist, die Anzahl der Heißen Tage pro Jahr aber meist niedrig liegt. Allerdings ist ihre Anzahl im Laufe der letzten rund 70 Jahre signifikant gestiegen. Während im langjährigen Mittel der Jahre 1961–1990 pro Jahr nur rund 1,5 Heiße Tage auftraten, waren es im Mittel der Jahre 1991–2020 mehr als doppelt so viele. In einzelnen sehr heißen Jahren wie 1994 oder 2018–2020 kam es auch in Schleswig-Holstein zu sprunghaften Anstiegen (siehe Abbildung 130).

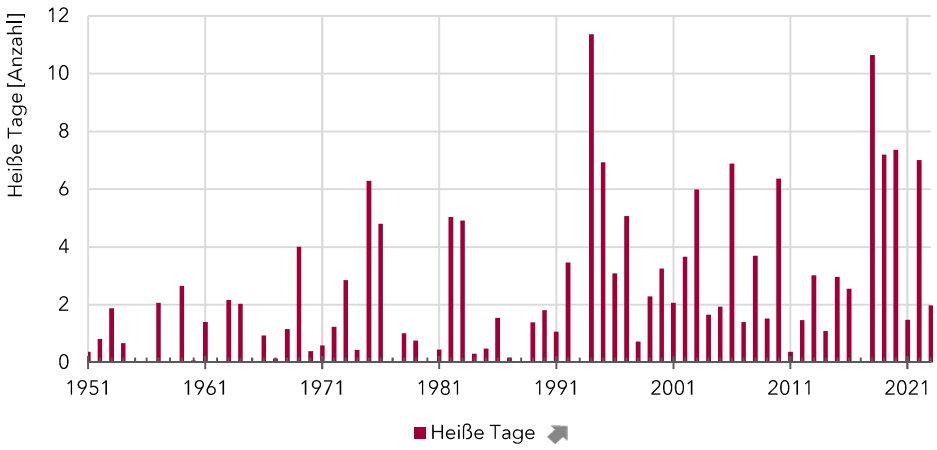
---

[801] Landesportal Schleswig-Holstein 2025: Tourismus. https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/wirtschaft/tourismus

[802] MWVATT 2022: Tourismusstrategie Schleswig-Holstein 2030. Kiel, 74 S. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/T/tourismus/Downloads/Tourismusstrategie2030.pdf

[803] Klimaanalyse Schleswig-Holstein: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/klimaanalyse.pdf

[804] an der Heiden M., Muthers S., Niemann H., Buchholz U., Grabenhenrich L., Matzarakis A. 2020: Hitzebedingte Mortalität – Eine Analyse der Auswirkungen von Hitzewellen in Deutschland zwischen 1992 und 2017. Deutsches Ärzteblatt International, 117, 603-9. https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0603



Quelle: DWD (CDC), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 130: Entwicklung der Anzahl Heißer Tage in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1951–2023

Innerhalb Schleswig-Holsteins nimmt die Anzahl der Heißen Tage von Nord nach Süd zu. Im Mittel der zehn Jahre 1994–2023 traten im südlich gelegenen Landkreis Herzogtum Lauenburg acht Heiße Tage pro Jahr auf. In den nördlicheren Regionen des Landes und insbesondere in den touristisch relevanten Küstengebieten waren es unter anderem aufgrund des ausgleichenden Einflusses von Nord- und Ostsee und bedingt durch stärkere Winde mit durchschnittlich ein bis vier Heißen Tagen deutlich weniger. Die räumliche Differenzierung ist in der Klimaanalyse[805] einzusehen.

Der Anstieg der Lufttemperatur bewirkt auch eine Erhöhung der **Meerestemperatur**. Im Laufe der letzten Jahrzehnte ist die Wasseroberflächentemperatur von Nord- und Ostsee signifikant gestiegen. Nord- und Ostsee haben dadurch bereits früher im Jahr und über eine längere Dauer für das Baden geeignete Wassertemperaturen. Die Nordsee war an der Oberfläche im Durchschnitt der letzten zehn Jahre 2015–2024 um 1,2 °C wärmer als 40 Jahre zuvor, im Mittel des Zeitraums 1975–1984.[806] An der Nordsee-Messstation „Deutsche Bucht" des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie, die sich vor der Küste Schleswig-Holsteins in etwa auf Höhe des Landkreises Dithmarschen befindet, ist die mittlere jährliche Wassertemperatur über die letzten rund 30 Jahre um etwa 0,8 °C gestiegen.[807] In der Ostsee, die als flaches und nahezu abgeschlossenes Binnenmeer nur einen begrenzten Wasseraustausch mit dem Atlantik aufweist, ist die Erwärmung noch ausgeprägter. Für die südliche Ostsee, das heißt insbesondere den Meeresabschnitt vor der polnischen Küste, ergibt sich auf der Basis langjähriger Messdaten der Wasseroberflächentemperatur im Zeitraum 1959–2019 ein Temperaturanstieg von 0,6 °C pro Dekade.[808] Die Messdaten der BSH-Station „Leuchtturm Kiel" in der Kieler Bucht vor der Küste Schleswig-Holsteins ergeben einen Temperaturanstieg von etwa 1,3 °C über die letzten rund 30 Jahre.[809]

Neben den Temperaturen wirkt sich auch der **Niederschlag** auf die klimatische Attraktivität Schleswig-Holsteins aus. Insbesondere für Wander-, Rad- und Badeaktivitäten sind verlässliche, niederschlagsarme Phasen wichtig. Hohe Niederschlagsmengen, unbeständige Wetterlagen mit drohenden Niederschlägen und Extremniederschläge wie Starkregenereignisse sind dagegen von Nachteil für Touristinnen und Touristen. Die Entwicklung der Niederschläge in Schleswig-Holstein ist weniger eindeutig als die der Lufttemperatur. Langjährige Messungen des DWD zeigen, dass die Jahresniederschläge über die letzten Jahrzehnte insgesamt leicht angestiegen sind. Allerdings bestehen dabei regionale Unterschiede. Die küstennahen Regionen und Inseln sowie nördlichen und nordwestlichen Landesteile, insbesondere Teile der Landkreise Schleswig-Flensburg, Nordfriesland sowie Dithmarschen, weisen tendenziell höhere Niederschlagsmengen auf als das Binnenland sowie der Süden und Südosten. Vor allem in Lübeck und Teilen der Landkreise Herzogtum Lauenburg, Plön sowie Ostholstein mit der Insel Fehmarn ist es trockener (siehe Klimaanalyse, Abbildung 11). Die Zunahme der Niederschlagsmenge ist vor allem auf steigende Winterniederschlagsmengen zurückzuführen. Für die Sommermonate ist in Schleswig-Holstein bisher kein signifikanter Anstieg der Niederschlagsmengen zu beobachten. Allerdings konzentrieren sich die Niederschläge im Sommer in der Tendenz auf weniger Regentage. In der Folge steigt das Risiko für Starkregenereignisse.

[805] an der Heiden et al. 2020, s. Fußnote 803

[806] BSH 2025: Monthly means of North Sea sea-surface temperature (blended SST. https://gdi.bsh.de/de/data/Monthly-means-of-North-Sea-sea-surface-temperature-blended-SST.csv

[807] BSH 2026: eigene Auswertung auf Basis von Stationsmessdaten

[808] Zalewska T., Wilman B., Łapeta B., Marosz M., Biernacik D., Wochna A., Saniewski M., Grajewska A., Iwaniak M. 2024: Seawater temperature changes in the southern Baltic Sea (1959–2019) forced by climate change. Oceanologia, 66, 1, 37–55. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.08.001

[809] Zalewska et al. 2024, s. Fußnote 807

Treffen hohe Lufttemperaturen und hohe **Luftfeuchte** zusammen, beispielsweise in den Küstenregionen, aber gegebenenfalls auch im Binnenland zum Beispiel nach starken Niederschlägen im Sommer, entsteht **Schwüle**. Diese Wetterlagen können das thermische Wohlbefinden beeinträchtigen, da die Verdunstung von Schweiß auf der Haut erschwert und die körpereigene Thermoregulation eingeschränkt werden. Für den Tourismus ist Schwüle auch deshalb relevant, weil sie das Risiko für hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen vor allem bei Aktivitäten mit körperlicher Anstrengung wie beim Radfahren, Wandern, Schwimmen oder beim Sport am Strand erhöht. Der DWD stellt tagesaktuelle Daten zur Schwüle online zur Verfügung.[810] Langfristige Messreihen zu schwülen Tagen – ähnlich wie für die Lufttemperatur und den Niederschlag – sind allerdings nicht verfügbar. Schwüle tritt in Schleswig-Holstein bisher nur selten und mit geringer Intensität auf. In der Regel ist es an niederschlagsreichen Tagen auch kühl. Auf eine weitere Betrachtung des Parameters wird aus diesen Gründen verzichtet. **Strahlung** und lange **Sonnenscheindauer** können die Wirkung von Hitze und Schwüle auf den Organismus verstärken. Die Einstrahlung trägt zum einen direkt zu einer Erhöhung der Lufttemperatur bei, beeinflusst aber auch das subjektive Wärmeempfinden und hat unmittelbaren Einfluss auf strahlungsbedingte Hauterkrankungen. Detaillierte Informationen dazu sind in der Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden (insbesondere Hautkrebs)" im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit nachzulesen (siehe Seite 199). In Schleswig-Holstein schwankt die Sonnenscheindauer von Jahr zu Jahr, hat aber langfristig seit Mitte der 1980er Jahre zugenommen. Infolge des Klimawandels könnte die Sonnenscheindauer auch zukünftig zunehmen. Da die genannten Parameter in direktem Zusammenhang mit der Temperaturentwicklung stehen, wird auf eine tiefergehende separate Betrachtung im Rahmen dieser Klimarisikoanalyse verzichtet.

Für die klimatische Attraktivität der Tourismusregionen in Schleswig-Holstein spielt auch der **Wind** eine Rolle, da er einerseits für zahlreiche touristische Angebote – insbesondere im Wassersport wie Segeln, Surfen oder Kitesurfen – erforderlich ist, andererseits aber auch das persönliche Temperaturempfinden und die Kühlung durch Schwitzen beeinflusst. Zu starker Wind kann Outdoor-Aktivitäten wie Radfahren oder Strandaufenthalte unattraktiv machen und in Extremfällen sogar zu Gefährdungen führen, zum Beispiel aufgrund von Baumstürzen oder Schäden an der Infrastruktur. Langjährige Messungen zeigen, dass Schleswig-Holstein durch seine Lage zwischen Nord- und Ostsee und die damit verbundenen großräumigen Luftdruckunterschiede zu den windreichsten Bundesländern Deutschlands zählt. Die höchsten mittleren Windgeschwindigkeiten und Windspitzen treten an den Küsten auf, insbesondere entlang der Nordseeküste (siehe Klimaanalyse, Abbildung 21). Eine signifikante Veränderung der mittleren Windgeschwindigkeiten und Windspitzen ist bisher nur an einzelnen Messstationen festzustellen. Dort haben die Windgeschwindigkeiten im Laufe der letzten Jahrzehnte eher abgenommen.

16.4.3 Exposition, Sensitivität – Ausprägung in Schleswig-Holstein

16.4.3.1 Exposition

Da in Schleswig-Holstein grundsätzlich in allen Landesteilen touristische Aktivitäten stattfinden, wirkt sich die Klimawirkung auf das gesamte Bundesland aus. Für Analysen im Rahmen der offiziellen Tourismusstatistik werden innerhalb Schleswig-Holsteins die vier **Reisegebiete** Nordsee, Ostsee, Holsteinische Schweiz und Übriges Schleswig-Holstein unterschieden. Das Reisegebiet Nordsee umfasst die schleswig-holsteinische Nordseeküste mit den vorgelagerten Inseln Sylt, Föhr und Amrum sowie den Halligen. Sie ist geprägt vom Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer als Teil des UNESCO-Weltnaturerbes und weiten Sandstränden. An der Ostseeküste, die sich von Flensburg bis nach Lübeck-Travemünde erstreckt und das Reisegebiet Ostsee bildet, prägen feinsandige Strände, Steilküsten und Binnenseen das Landschaftsbild. Hier sind neben Bade- und Wassersportangeboten auch kulturell geprägte Küstenstädte wie die als UNESCO-Weltkulturerbe anerkannte Hansestadt Lübeck, Flensburg, Schleswig und die Landeshauptstadt Kiel touristische Anziehungspunkte. Die Holsteinische Schweiz im Osten des Landes zeichnet sich durch eine abwechslungsreiche Hügellandschaft, zahlreiche Seen, Wälder und Schutzgebiete aus und ist vor allem für vielfältige Möglichkeiten zum Wandern, Radfahren und für Wassersport an den Binnenseen bekannt. Das Reisegebiet Übriges Schleswig-Holstein fasst alle weiteren Gebiete des Binnenlands zusammen. Gemessen an der Fläche ist dieses Reisegebiet damit das größte. Die vier Reisegebiete sind in ihrer räumlichen Ausdehnung in Abbildung 131 dargestellt.

[810] DWD 2025: Vorhersage von Gefühlter Temperatur und Schwüle.
https://www.dwd.de/DE/leistungen/geftempschwuele/geftempschwuele.html



Abbildung 131: Räumliche Abgrenzung der touristischen Reisegebiete in Schleswig-Holstein

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2025
Fachdaten: Statistikamt Nord (Dashboard Tourismus)
Auswertung: Bosch und Partner GmbH

Auf einer feineren räumlichen Ebene bilden die lokalen Tourismusorganisationen (LTOs) das Rückgrat der strategischen Positionierung und Entwicklung des Tourismus in Schleswig-Holstein. Als übergemeindliche Zusammenschlüsse von Kommunen und touristischen Akteurinnen und Akteuren vor Ort gestalten LTOs in engem Schulterschluss mit den regionalen Destination Management Organisationen (DMOs) das touristische Management, die Vermarktung und die Angebotsentwicklung entscheidend mit. Die räumliche Abgrenzung der LTOs ist in Abbildung 132 dargestellt.

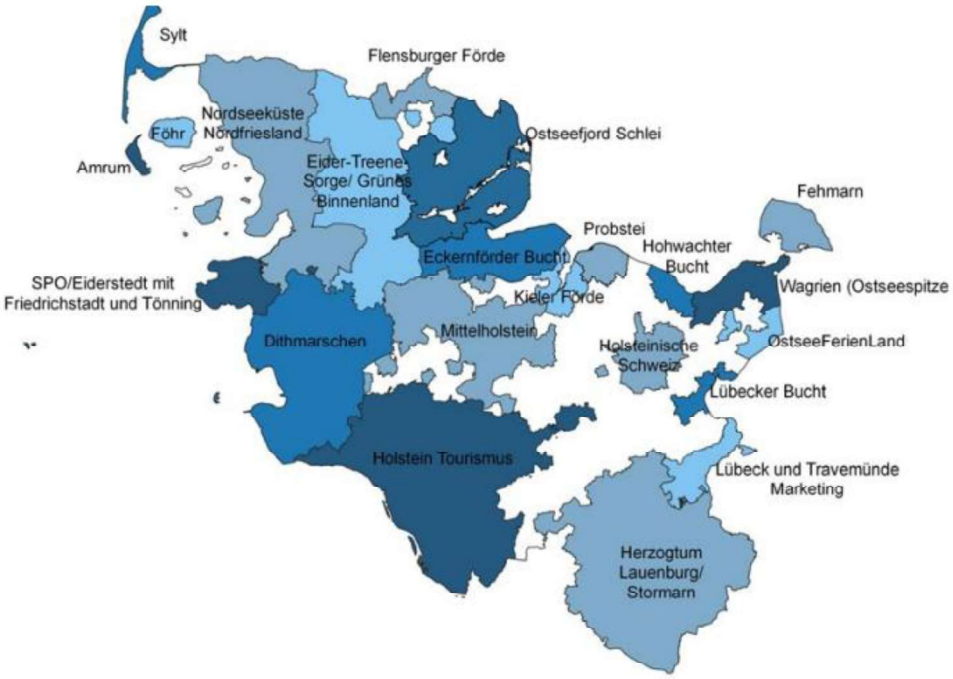


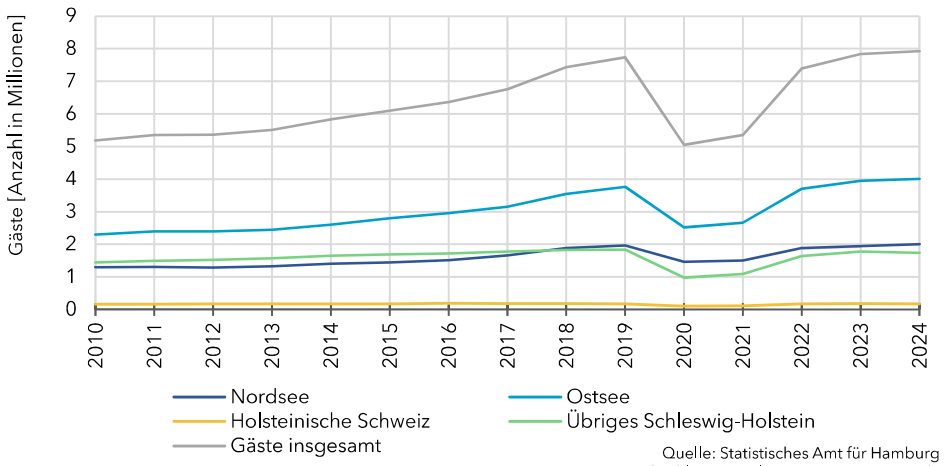
Abbildung 132: Lokale Tourismusorganisationen in Schleswig-Holstein (Quelle: NIT 2020[811] auf Basis von Daten des MWVATT)

[811] NIT – Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH (Hrsg.) 2020: Das Projekt „Nachhaltige Mobilität in schleswig-holsteinischen Urlaubsregionen" – Rückblick, aktueller Stand und Ausblick. Präsentation. https://www.nit-kiel.de/wp-content/uploads/2020/10/Grimm-NH-Mobilit%C3%A4t-SH-Tourismustag-20201022.pdf

16.4.3.2 Sensitivität

Die **touristische Ausrichtung** einer Region bestimmt maßgeblich, in welchem Umfang klimatische Veränderungen Auswirkungen auf den Tourismus haben. Regionen, deren Angebot stark auf Outdoor-Aktivitäten wie Baden, Wassersport, Wandern oder Radfahren ausgerichtet ist, sind besonders abhängig von günstigen Wetter- und Klimabedingungen und damit besonders sensitiv gegenüber klimatischen Veränderungen. In Schleswig-Holstein gilt dies vor allem für die Küstenregionen an Nord- und Ostsee. Dort ergeben sich aufgrund der landschaftlichen und naturräumlichen Beschaffenheit mit langen Sandstränden, dem Wattenmeer und weitläufigen Dünen- und Hügellandschaften vielfältige Möglichkeiten für Outdoor-Aktivitäten. Zudem werden die dort befindlichen Küstendestinationen von Badegästen aufgesucht, für die die Küstenlandschaften mit dem Meer einen zentralen Aspekt des Naturerlebens ausmachen. Regionen mit einem höheren Anteil an wetterunabhängigen Angeboten – wie Museen, Veranstaltungen in Innenräumen oder Wellness – sind tendenziell weniger sensitiv. Grundsätzlich sind aber auch diese Regionen nicht nur auf Indoor-Aktivitäten ausgerichtet. Genauso bilden Outdoor-Angebote nicht nur an den Küsten, sondern auch in weiten Teilen des Binnenlands in Schleswig-Holstein einen touristischen Schwerpunkt. Konkrete Gebiete, in denen sich aufgrund der touristischen Ausrichtung eine erhöhte Sensitivität ergibt, lassen sich deshalb nicht eindeutig festlegen.

Neben der touristischen Ausrichtung beeinflusst die **Tourismusintensität** die Sensitivität der Reisegebiete und Destinationen. Regionen mit einer hohen touristischen Wertschöpfung sind sensitiver, da Veränderungen der klimatischen Attraktivität für Touristinnen und Touristen hier unmittelbar und in größerem Umfang ökonomische Folgen haben können. Aussagen zur Tourismusintensität in bestimmten Regionen lassen sich auf der Grundlage verschiedener Parameter und touristischer Kennzahlen ableiten. Dazu gehören unter anderem die Anzahl von Gästen, die Anzahl der örtlich zur Verfügung stehenden Betten, Übernachtungszahlen oder auch die Anzahl von Beherbergungsbetrieben und Campingplätzen. Im Vergleich zu anderen Bundesländern liegen die Gästezahlen in Schleswig-Holstein vergleichsweise hoch. Im Jahr 2024 wurden knapp acht Millionen Gäste im Land gezählt (siehe Abbildung 133). Aufgrund der weltweiten Covid 19-Pandemie und den damit verbundenen Reisebeschränkungen ist die Zahl der Gäste in Schleswig-Holstein in den Jahren 2020 und 2021 zeitweise eingebrochen. Im Jahr 2023 konnte allerdings bereits wieder das Vor-Pandemie-Niveau erreicht werden.



Quelle: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (Tourismusstatistik) Auswertung Bosch & Partner GmbH

Abbildung 133: Entwicklung der Gästezahlen in den Reisegebieten Schleswig-Holsteins im Zeitraum 2010–2024

Für den Tourismus in Schleswig-Holstein kommt der Ostseeküste besondere Bedeutung zu. Mit rund 50 % entfällt der größte Anteil der Gästeankünfte auf das Reisegebiet „Ostsee". Gemäß den Daten des Tourismusatlas der statistischen Ämter des Bundes und der Länder zur regionalen Bedeutung der Hotellerie lag im Jahr 2024 in Teilen des Reisegebiets, insbesondere in und um die größeren Städte Lübeck, Flensburg, Schleswig und Kiel, der Anteil der im Juli angebotenen Hotelleriebetten an allen Betten örtlich über 85 % und damit deutlich höher als in anderen Teilen des Landes.[812] Auf die Reisegebiete „Nordsee" und „Übriges Schleswig-Holstein" entfielen im Jahr 2023 rund 23 % beziehungsweise 25 % der Gästeankünfte. In der Holsteinischen Schweiz wurden deutlich weniger Gäste erfasst.

[812] Statistikportal der statistischen Ämter des Bundes und der Länder 2025: Tourismusatlas. https://gis-hsl.hessen.de/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=acfee6ba10224912badabce97cab7035

Mit den steigenden Gästezahlen nimmt auch die Zahl der Übernachtungen in Schleswig-Holstein als Maß der Tourismusintensität zu. Innerhalb des Landes bestehen räumliche Unterschiede in der Ausprägung dieses Parameters (siehe Abbildung 134). Gemessen an der Zahl der Übernachtungen pro 1.000 Einwohnenden konzentrieren sich Gemeinden mit besonders hoher Tourismusintensität entlang der Nord- und Ostseeküsten sowie auf den vorgelagerten Inseln. Im Jahr 2019 gab es an der Ostsee vor allem auf Fehmarn und entlang der nördlichen Lübecker Bucht die meisten Übernachtungen pro 1.000 Einwohnenden. Vor allem in den Küstengebieten befinden sich auch in größerer Zahl touristische Orte mit mehr als 100.000 jährlichen Übernachtungen. Bei der Interpretation der Karte ist zu berücksichtigen, dass für einen wesentlichen Anteil der Gemeinden im Binnenland aus datenschutzrechtlichen Gründen keine Daten vorliegen. Die Zahl der Übernachtungen wird als Sensitivitätsparameter für die Risikoabschätzung herangezogen.

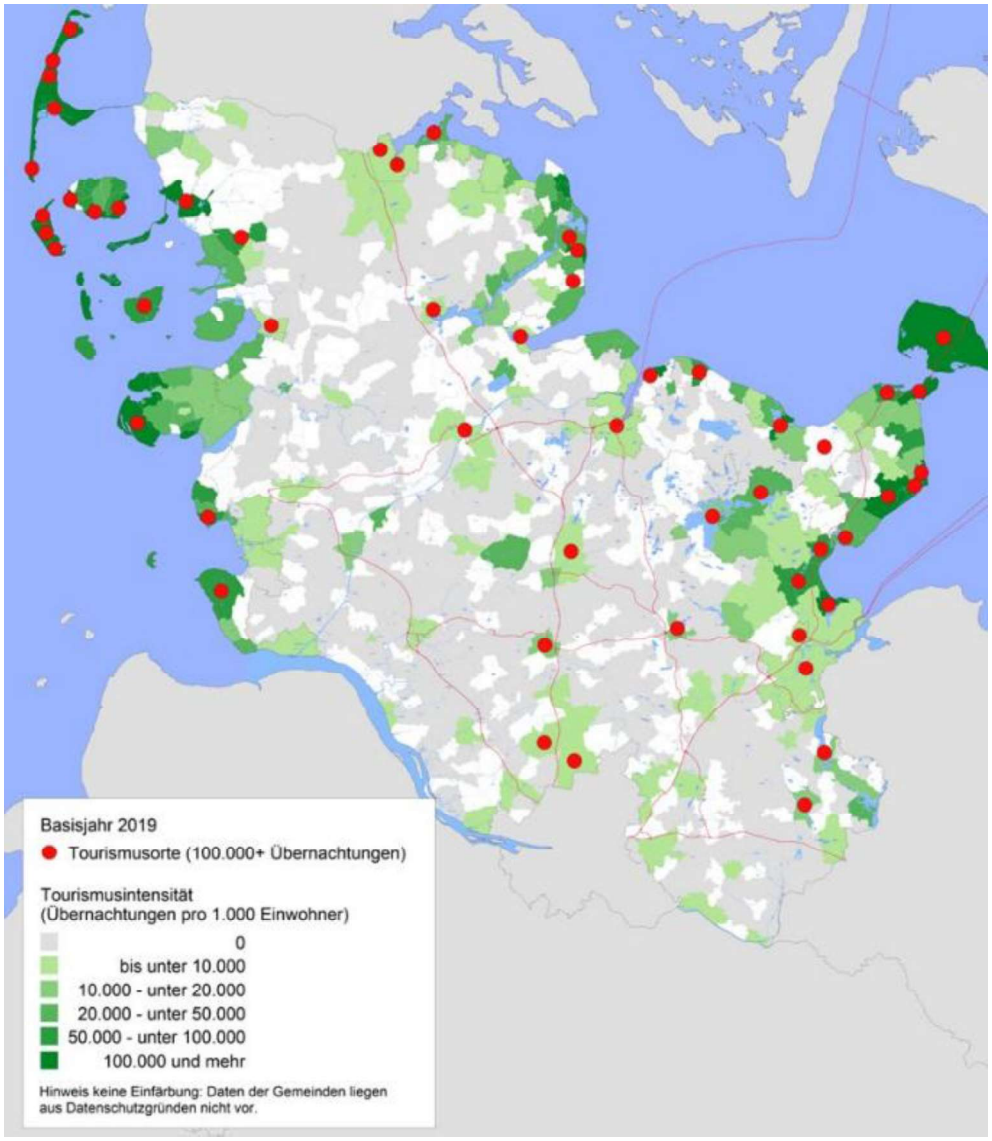


Abbildung 134: Tourismusintensität nach Zahl der Übernachtungen pro 1.000 Einwohnenden in den Gemeinden Schleswig-Holsteins im Jahr 2019 (Quelle: Statistisches Bundesamt, GfK GeoMarketing, 2019[813])

Einfluss auf die Sensitivität der Reisegebiete und der lokalen touristisch genutzten Regionen nimmt auch deren spezifische **landschaftliche Ausprägung**. Vielerorts bilden die landschaftliche Charakteristik und Schönheit die Grundlage eines touristischen Naturerlebens. Aufgrund der besonderen Küstenlage Schleswig-Holsteins, dem Markenversprechen und den touristischen Kernthemen haben die Gäste eine hohe Erwartungshaltung an eine intakte Natur und Umwelt. Hinzu kommt, dass viele Gäste sensibilisierter für Umwelt und Natur sind.[814] Klimaveränderungen können Landschaften in ihrer Ästhetik und Nutzbarkeit beeinträchtigen – mit unmittelbaren Auswirkungen auf die touristische Wertschöpfung. Dabei sind unterschiedliche Landschaftstypen und ihre klimabedingten Risiken zu berücksichtigen. An der Nord- und Ostseeküste können

[813] Publikation in der Tourismusstrategie Schleswig-Holstein 2030 (s. Fußnote 802: S. 17)

[814] MWVATT 2022, s. Fußnote 802

Sturmfluten, der steigende Meeresspiegel und verstärkte Küstenerosion Strände und Küsteninfrastrukturen beschädigen und die Nutzung für den Badetourismus beeinträchtigen. Küstenabschnitte, an denen Sandstrände regelmäßig aufgespült werden müssen sind besonders sensitiv, da schon einzelne Extremereignisse zu erheblichen Nutzungseinschränkungen führen können. Gleichzeitig ist die langfristige Attraktivität dieser Strände ein entscheidender Standortfaktor für den Tourismus in diesen Regionen. In der Holsteinischen Schweiz, einer durch zahlreiche Seen und Wälder geprägten Landschaft, spielen Wasserqualität und Wasserstände eine große Rolle. Längere Hitzeperioden und veränderte Niederschlagsmuster können zu sinkenden Wasserständen führen und die Konzentration von Nährstoffen und Schadstoffen in den Gewässern erhöhen. Eine Folge kann die verstärkte Bildung von Cyanobakterien (Blaualgen) sein, die in den Sommermonaten Badeverbote nach sich ziehen können. Informationen dazu liefert unter anderem der Monitoringindikator GE-I-3 „Badewarnungen und -verbote". Trockenperioden können Auswirkungen auf die Vitalität und die Zusammensetzung der Vegetation haben. Sich daraus ergebende Veränderungen des Landschaftsbildes können Wander- oder Radtouren weniger attraktiv machen. Waldbrände sind aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit und des geringen Anteils an trockenheitsanfälligen Wäldern in Schleswig-Holstein selten. Dennoch können Feuer ebenso wie Sturmschäden und Schädlingsbefall – beispielsweise durch den Borkenkäfer in geschwächten Waldbeständen – die touristische Nutzbarkeit der Waldgebiete in Schleswig-Holstein beeinträchtigen. In den Geest- und Marschlandschaften können längere Trockenperioden zu einer Verarmung des Landschaftsbildes führen, während Starkregenereignisse und Überflutungen die Erreichbarkeit touristischer Ziele und Veranstaltungen im Binnenland einschränken. Niedrigwasser in Flüssen kann Wassersportaktivitäten wie Kanufahren beeinträchtigen. Eine besonders hohe Sensitivität besteht überall dort, wo die Landschaft als Kernelement das touristische Angebot prägt. Die Beeinträchtigungen der Landschaft und naturräumlichen Ausstattung sind vielfältig und stets von den individuellen Ausgangsbedingungen und der touristischen Ausprägung vor Ort abhängig. Eine allgemeine Betrachtung dieses Sensitivitätsparameters ist im Rahmen dieser Klimawirkung deshalb nicht möglich.

16.4.4 Ausprägung der Klimawirkung

16.4.4.1 Monitoring zur Klimawirkung

Die Bandbreite der sich direkt aus den Klimaveränderungen ergebenden Chancen und Risiken für die Reisegebiete und Destinationen Schleswig-Holsteins lässt sich nicht umfänglich erfassen, da belastbare und flächendeckende Datengrundlagen fehlen. Die konkreten Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf die Tourismusanbieterinnen und -anbieter hängen stark von der individuellen Angebotsgestaltung und Anpassungsfähigkeit sowie von den Reiseentscheidungen der Gäste ab. Die Reiseentscheidungen wiederum werden ebenfalls von einer Vielzahl von klimatischen und nicht-klimatischen Faktoren beeinflusst. Für das Monitoring der Klimawirkung können aber behelfsweise Indikatoren herangezogen werden, die zumindest ausgewählte Aspekte des touristischen Portfolios Schleswig-Holsteins betreffen und klimatische Entwicklungen speziell aus Sicht des Tourismus beleuchten.

Die attraktiven Bademöglichkeiten entlang der Nord- und Ostseeküste Schleswig-Holsteins spielen eine bedeutende Rolle für den Tourismus. Der thermische Komfort der Urlaubsgäste hängt dabei nicht nur von den Lufttemperaturen, sondern auch von den Meerestemperaturen ab. Der Indikator TO-I-1[815] ist Teil des Klimafolgenmonitorings Schleswig-Holstein und zeigt die Entwicklung der Anzahl von Badetagen an Nord- und Ostsee über die letzten 35 Jahre (siehe Abbildung 83). Als Badetag gilt dabei ein Tag, an dem das Tagesmittel der Wassertemperatur über 15 °C liegt. Die jährliche Anzahl der Badetage ergibt sich aus der Zeitspanne vom ersten und letzten Tag, an dem diese Bedingung erfüllt ist. Aufgrund der natürlichen Variabilität von klimatischen und ozeanischen Einflussfaktoren wie der Lufttemperatur und den Strömungsverhältnissen unterliegen die Wassertemperaturen der Nord- und Ostsee jährlichen Schwankungen. An den ausgewählten Messstationen in Nord- und Ostsee ist die Zahl der Badetage aber signifikant steigend: Im Schnitt der zehn Jahre 2013–2024 gab es an der Nordsee 123 Badetage pro Jahr. Das sind 20 Tage mehr als im Schnitt der Jahre 1992–2001. An der Ostsee waren es im Durchschnitt der zurückliegenden zehn Jahre 120 Badetage und damit 27 mehr als im Schnitt der Jahre 1992–2001. Im Jahr 2024 gab es an der Ostsee mit 129 Badetagen so viele wie in keinem anderen Jahr seit Beginn des Betrachtungszeitraums ab 1989. Weiterführende Informationen zur Interpretation der Zeitreihe und zur Berechnungsmethodik des Indikators sind dem Faktenblatt im Klimafolgenmonitoring zu entnehmen.

[815] Klimafolgenmonitoring Schleswig-Holstein – Faktenblatt TO-I-1: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/K/klimaschutz/_functions/TB_faktenblaetter/teaserbox_faktenblaetter?nn=2542ad21-1568-4e0c-b04e-894e95c9bb77

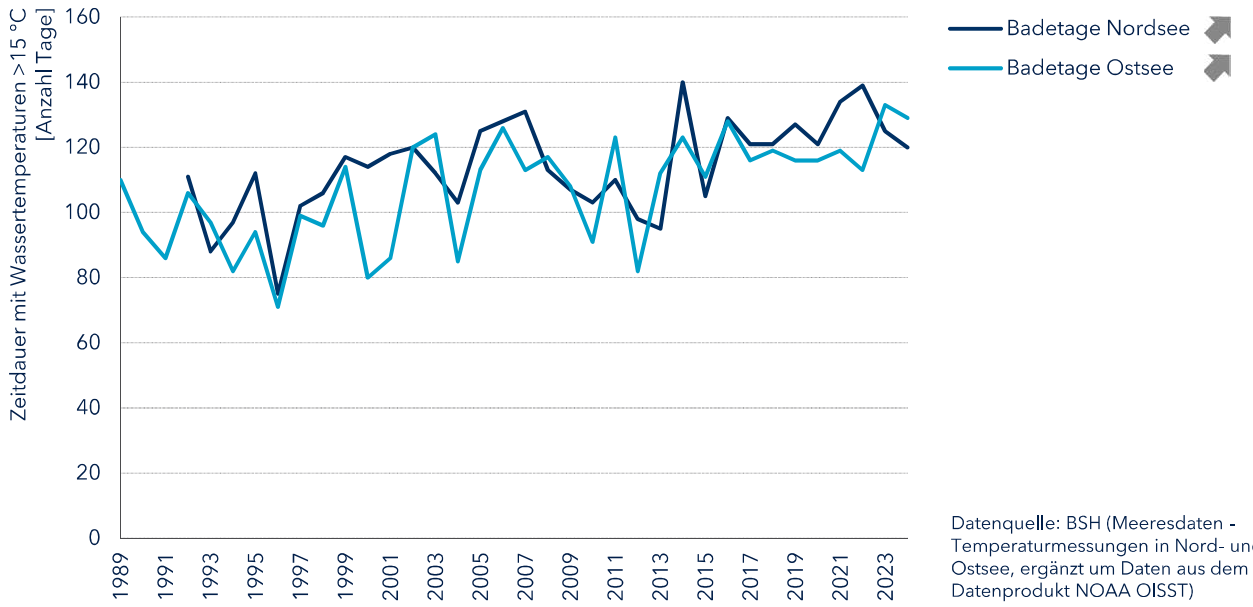


Abbildung 135: Entwicklung der Anzahl der Badetage in Schleswig-Holstein an Nord- und Ostsee im Zeitraum 1989–2024

Der Indikator zu den Badetagen fokussiert auf die Entwicklung der Wassertemperaturen. Es gibt weitere tourismusspezifische Indizes, die auf der Grundlage einer breiteren Kombination verschiedener meteorologischer Parameter die klimatischen Rahmenbedingungen für touristische Aktivitäten abbilden. Neben dem Holiday Climate Index, der auf die Beurteilung der thermischen Bedingungen für urbanen Tourismus zugeschnitten ist, oder dem Climate Index for Tourism, der zur Beschreibung der Bedingungen für den Bade- und Strandurlaub optimiert ist, gehört der Tourism Climate Index (TCI) zu den bekanntesten Beispielen.[816,817] Der TCI bildet die allgemeine klimatische Eignung eines festgesetzten Gebietes für den Tourismus ab und wird als komplexer klimatischer Index weltweit in Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus herangezogen. Er basiert auf gewichteten täglichen Daten zum Niederschlag, zu Minimum-, Mittel- sowie Höchsttemperatur, zur Wolkenbedeckung, zur Windgeschwindigkeit, zur relativen Luftfeuchte und zur Sonnenscheindauer.[818]

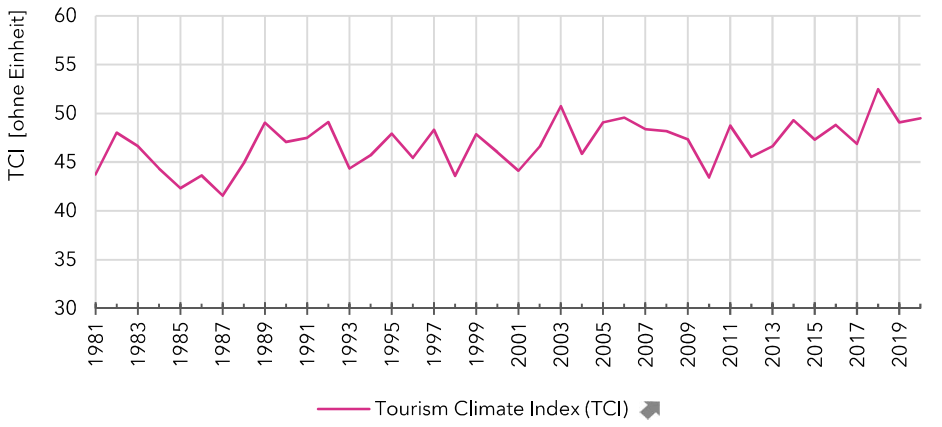


Abbildung 136: Entwicklung des Tourism Climate Index (TCI) in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1981–2020

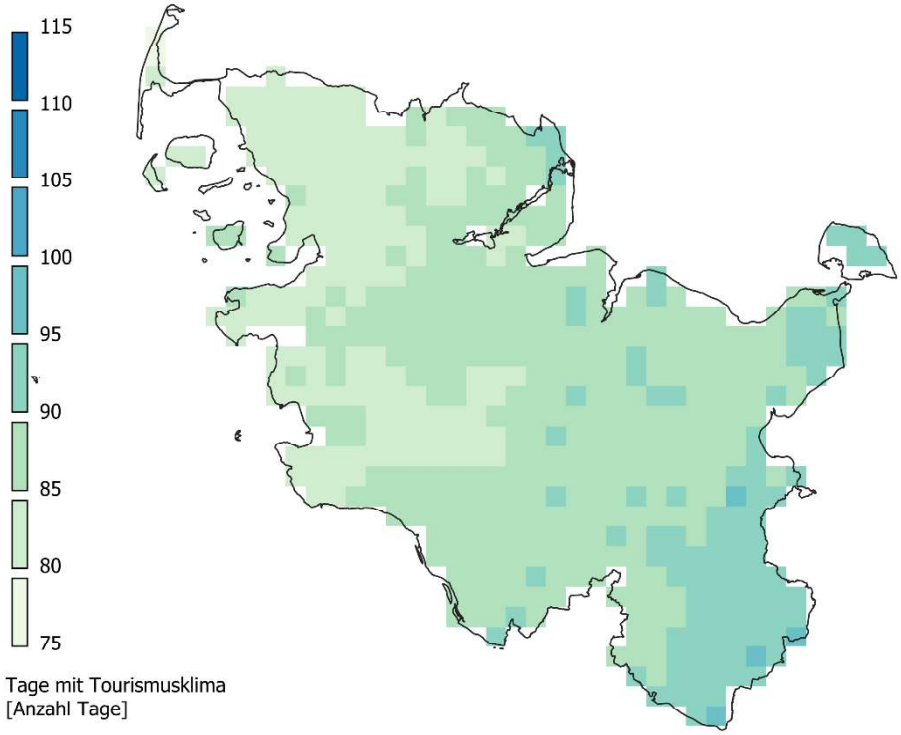
[816] Copernicus Climate Change Service 2019: Climate suitability indicators for tourism from 1970 to 2100 over Europe derived from climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). https://cds.copernicus-climate.eu/datasets/sis-tourism-climate-suitability-indicators

[817] Mieczkowski Z. 1985: The Tourism Climatic Index: A method of evaluating world climates for tourism. The Canadian Geographer / Le Géographe canadien, 29, 3, 220–233. https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x

[818] Mieczkowski 1985, s. Fußnote 817

Im Rahmen eines Projekts der Europäischen Kommission aus dem Jahr 2023 wurde der TCI basierend auf Reanalyse-Daten für die Teilräume Europas und den Zeitraum 1981–2020 berechnet.[819] Abbildung 136 zeigt die Ergebnisse für Schleswig-Holstein. Der mögliche Maximalwert des TCI von 100 entspricht idealen klimatischen Bedingungen für den Tourismus.[820] In Schleswig-Holstein ist der TCI zwischen 1981 und 2020 signifikant gestiegen. Im Mittel der ersten zehn Jahre der Zeitreihe lag der Indexwert bei 45,3, im Durchschnitt der letzten zehn Jahre von 2011 bis 2020 bei 48,4.

Aufgrund der Vielzahl an berücksichtigten klimatischen Parametern ist die Berechnung des TCI äußerst aufwändig und komplex. Eine alternative Kenngröße, die sich zur Beschreibung der klimatischen Attraktivität von Reisegebieten auf die beiden besonders relevanten Klimasignale Lufttemperatur sowie Niederschlagsmenge beschränkt und dadurch geringeren Berechnungsaufwand erfordert, ist die Anzahl der Tage mit „Tourismusklima". In Anlehnung an Studien des DWD und an Indikatoren in den Monitoringsystemen anderer Länder, beispielsweise Thüringen[821], werden die „Tage mit Tourismusklima" als Tage definiert, an denen die Tageshöchsttemperatur zwischen 15 und 30 °C liegt und weniger als 0,5 mm Niederschlag fällt. Diese Bedingungen gelten als ideal zur Ausübung von Aktivitäten im Freien. Der reduzierte Berechnungsaufwand und die verfügbaren Datengrundlagen zur Temperatur und zum Niederschlag ermöglichen für Schleswig-Holstein auch eine räumliche Auswertung der Tage mit Tourismusklima. Abbildung 137 zeigt die räumliche Differenzierung der durchschnittlichen Anzahl von Tagen mit Tourismusklima im Zeitraum 1971–2000. Demnach gab es in Schleswig-Holstein im langjährigen Mittel pro Jahr 87,3 Tage mit Tourismusklima. Die meisten Tage mit Tourismusklima traten im Süden und Südosten des Landes mit der nördlichen Lübecker Bucht und Fehmarn auf. Dabei handelt es sich um die wärmeren und trockeneren Regionen Schleswig-Holsteins. An der Grenze zu Mecklenburg-Vorpommern gab es bis zu 98 Tage mit Tourismusklima. Die Insel Sylt hatte infolge höherer Niederschlagsmengen und niedrigeren Temperaturen pro Jahr mit durchschnittlich rund 78 die wenigsten Tage mit Tourismusklima im Zeitraum 1971–2000. Bezogen auf die Reisegebiete herrschte an der Ostsee durchschnittlich an knapp 90 Tagen Tourismusklima, im Reisegebiet Nordsee an knapp 84 Tagen (siehe Tabelle 76).



* Tag mit Tourismusklima = Tag mit einer Tagesmaximaltemperatur von mindestens 15 und maximal 30 °C sowie einer Niederschlagsmenge < 0,5 mm.

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2024
Fachdaten: DWD (Temperatur- und Niederschlagsmessungen)

Abbildung 137: Räumliche Differenzierung der Anzahl von Tagen mit Tourismusklima in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1971–2000

Die Tage mit Tourismusklima basieren auf der Kombination zweier Klimasignale, zu denen auch räumlich aufgelöste Daten vorliegen und für die zudem Projektionsdaten verfügbar sind. Die Kenngröße wird deshalb für die nachfolgende Klimarisikoanalyse zur Operationalisierung des Klimasignals herangezogen.

[819] García León D., Batista F., Ciscar J. C., Barranco R., Dosio A., & Matei N. A. 2023: Tourism Climate Index (TCI): Historical (1981–2020) and projected (2020–2100) values (Data set). European Commission, Joint Research Centre (JRC). https://data.europa.eu/89h/af97f546-8e9d-4977-9ce3-72e3ed54f3cc

[820] Mieczkowski 1985, s. Fußnote 817

[821] TMUEN – Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (Hrsg.) 2022: Klimawandelfolgen in Thüringen – Zweiter Monitoringbericht. Erfurt, 192 S. https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Unsere_Themen/Klima/Klimaanpassung/Monitoringbericht_2023_Klimawandelfolgen.pdf

16.4.4.2 Klimarisikoanalyse

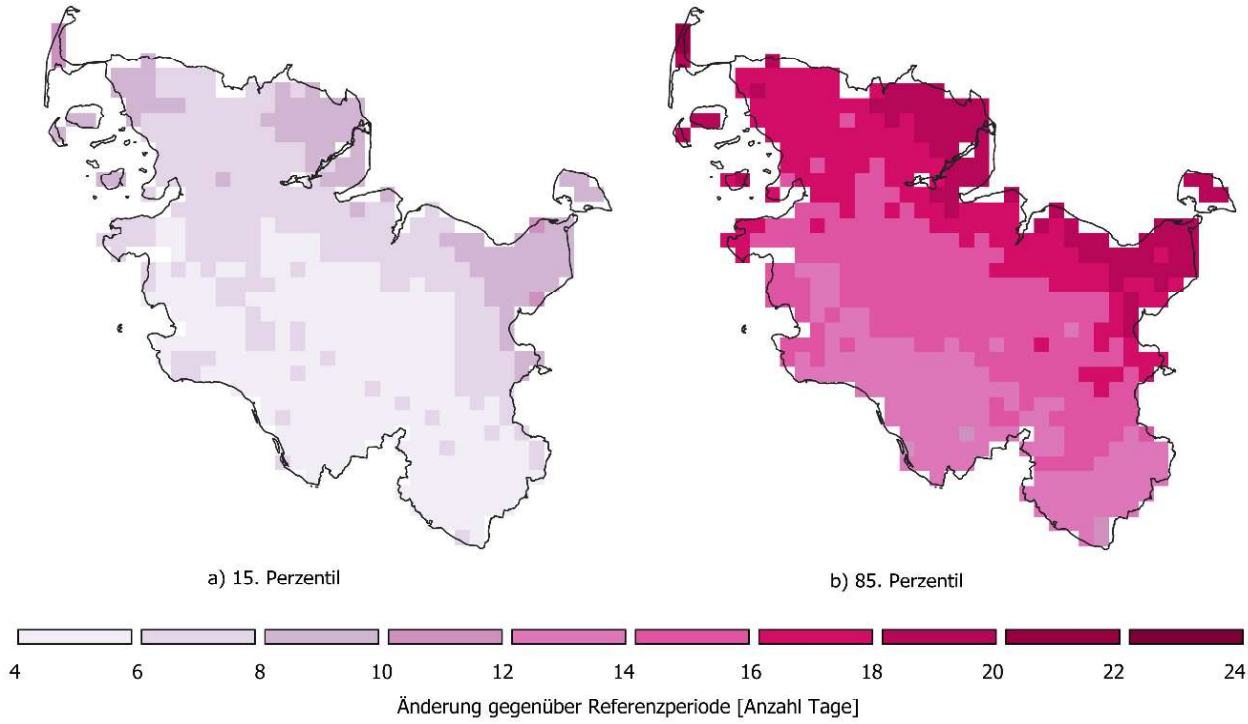
Im Rahmen der Klimarisikoanalyse werden Projektionsdaten zum Tourismusklima in Schleswig-Holstein mit der aktuellen Ausprägung von Exposition und Sensitivität überlagert, um zukünftige Chancen und Risiken für die Urlaubsregionen Schleswig-Holsteins abzuleiten. Die zur Operationalisierung ausgewählten Parameter sind in Tabelle 75 dargestellt. Die Auswahl zum Klimasignal beruht auf den Ausführungen im Kapitel 16.4.2, die Hintergründe der Parameterauswahl zur Exposition und Sensitivität sind in den jeweiligen Abschnitten des Kapitels 16.4.3 erläutert.

Tabelle 75: Übersicht über die für die KRA ausgewählten Parameter (Quelle: eigene Zusammenstellung)

	Parameter der Klimarisiko-analyse	**Kategorisierung**	**Datenquelle**
Klimasignal	Anzahl der Tage mit Touris-musklima (auf der Grund-lage von Tagesmaximaltem-peratur und Tagesnieder-schlag)	95,4 – 99 > 99 – 103 > 103 – 107 > 107 – 111 > 111 – 114,2	DWD, berechnet aus den Projektionsda-ten des DWD-Referenzensembles zu Ta-gesmaximaltemperatur und Tagesnieder-schlag
Exposition	Schleswig-Holstein bzw. Rei-segebiete Schleswig-Hol-steins	keine Kategorisierung	Statistikamt Nord (Dashboard Tourismus)
Sensitivität	Tourismusintensität: Anzahl der Übernachtungen im Jahr 2024 pro Gemeinde	2.061 – 1.000.000 > 1.000.000 – 2.000.000 > 2.000.000 – 3.259.798	Statistikamt Nord (Tourismusstatistik)

16.4.4.2.1 Operationalisierung des Klimasignals

Aus den Projektionsdaten des DWD-Referenzensembles lässt sich die projizierte Veränderung der jährlichen Anzahl der Tage mit Tourismusklima bestimmen. Die Operationalisierung für diese Klimarisikoanalyse beschränkt sich aus Gründen des hohen Berechnungsaufwandes auf den Zeitraum der nahen Zukunft 2031–2060 und das Emissionsszenario RCP8.5. Für diese ausgewählten Bedingungen wurden das 15. und 85. Perzentil der projizierten Veränderung berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 138 dargestellt.



Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2024
Fachdaten: DWD

Abbildung 138: projizierte Veränderung der Anzahl von Tagen mit Tourismusklima in Schleswig-Holstein bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031–2060) gegenüber der Referenzperiode (1971–2000) unter Annahme des Emissionsszenarios RCP8.5 mit 15. Perzentil (a) und 85. Perzentil (b)

Es wird deutlich, dass in ganz Schleswig-Holstein eine Zunahme der Tage mit Tourismusklima projiziert wird. Die Bandbreite der Veränderung reicht von 4,1 bis 20,7 Tage mehr als in der Referenzperiode 1971–2000. Die größte Zunahme wird für die Ostseeküste sowie den Norden Schleswig-Holsteins projiziert. Diese Regionen profitieren von den kühleren Ausgangsbedingungen, sodass sich infolge der steigenden Lufttemperaturen zukünftig häufiger für den Tourismus optimale Bedingungen einstellen könnten. Im bereits wärmeren Süden und Südosten könnte die Temperaturzunahme dagegen häufiger zu einer Überschreitung der Schwelle von maximal 30 °C führen, sodass dort die projizierte Zunahme der Tage mit Tourismusklima geringer ausfällt. Auch für die westlichen Landesteile mit der südlichen Nordseeküste und entlang der Elbe wird bis zur Mitte des Jahrhunderts eine geringere Änderung projiziert. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung dort, insbesondere in den Landkreisen Pinneberg, Steinberg und Dithmarschen, vor allem durch das Niederschlagsgeschehen bedingt ist. Der bereits heute niederschlagsreiche Westen Schleswig-Holsteins wird gemäß den Klimaprojektionen infolge insgesamt steigender Niederschlagsmengen zukünftig tendenziell noch feuchter (siehe Klimaanalyse). Dies könnte die insgesamt erwartete Zunahme der Anzahl von Tagen mit Tourismusklima in den westlich gelegenen Regionen dämpfen.

16.4.4.2.2 Operationalisierung von Exposition und Sensitivität

Die Klimawirkung betrifft ganz Schleswig-Holstein und damit alle vier Reisegebiete. Eine Veränderung des Zuschnitts der Reisegebiete ist nicht zu erwarten und könnte zum aktuellen Zeitpunkt auch nicht abgebildet werden. Für die Klimarisikoanalyse wird deshalb der bestehende Zuschnitt der Reisegebiete herangezogen.

Als Sensitivitätsparameter wurde die Anzahl der Übernachtungen für die Klimarisikoanalyse ausgewählt. Der Parameter gibt Aufschluss über die regionale Tourismusintensität und die touristische Wertschöpfung einzelner Regionen. Projektionsdaten zur zukünftigen Anzahl an Übernachtungen liegen nicht vor. Es wird deshalb im Rahmen der Klimarisikoanalyse auf die Übernachtungszahlen des Jahres 2024 aus der Tourismusstatistik zurückgegriffen. Diese liegen allerdings aus Datenschutzgründen nicht für alle Gemeinden Schleswig-Holsteins vor. Eine flächendeckende Beurteilung der Sensitivität auf Grundlage der Übernachtungen ist deshalb nicht möglich. Um Verzerrungen in der Analyse zu vermeiden, wird auf eine direkte Verrechnung mit den Daten zum Klimasignal verzichtet und stattdessen eine rein visuelle Überlagerung vorgenommen.

16.4.4.2.3 Ergebnisse der Klimarisikoanalyse

Es wird erwartet, dass in Schleswig-Holstein mit Blick auf die klimatische Attraktivität eher Chancen als Risiken aus den Veränderungen infolge des Klimawandels erwachsen. Der wesentliche Grund dafür ist die günstige klimatische Ausgangslage mit insgesamt niedrigeren Temperaturen und weniger Hitzetagen als in südlicheren Regionen. Vor allem wenn in mediterranen Reisegebieten rund um das Mittelmeer die Temperaturen zukünftig weiter stark steigen und Hitze sowie Trockenheit einen Aufenthalt im Freien unangenehmer werden lassen, könnte Schleswig-Holstein als alternatives Reiseziel für Urlauberinnen und Urlauber profitieren. Die Ergebnisse der Risikoabschätzung sind in Abbildung 139 dargestellt. In Ergänzung listet die nachfolgende Tabelle 76 die projizierte Veränderung der Tage mit Tourismusklima bezogen auf die vier Reisegebiete.

Tabelle 76: Entwicklung der Tage mit Tourismusklima nach Reisegebieten

	Referenzperiode 1971–2000	**Projektion (2031–2060, RCP8.5, 85. Perzentil)**	
Reisegebiet	**Tage mit Tourismusklima**	**Veränderung ggü. Referenzperiode**	**Tage mit Tourismusklima**
Ostsee	89,9	*+18,1*	108,0
Nordsee	83,6	*+16,4*	100,0
Holsteinische Schweiz	88,9	*+16,4*	105,3
Übriges Schleswig-Holstein	87,2	*+15,1*	102,3

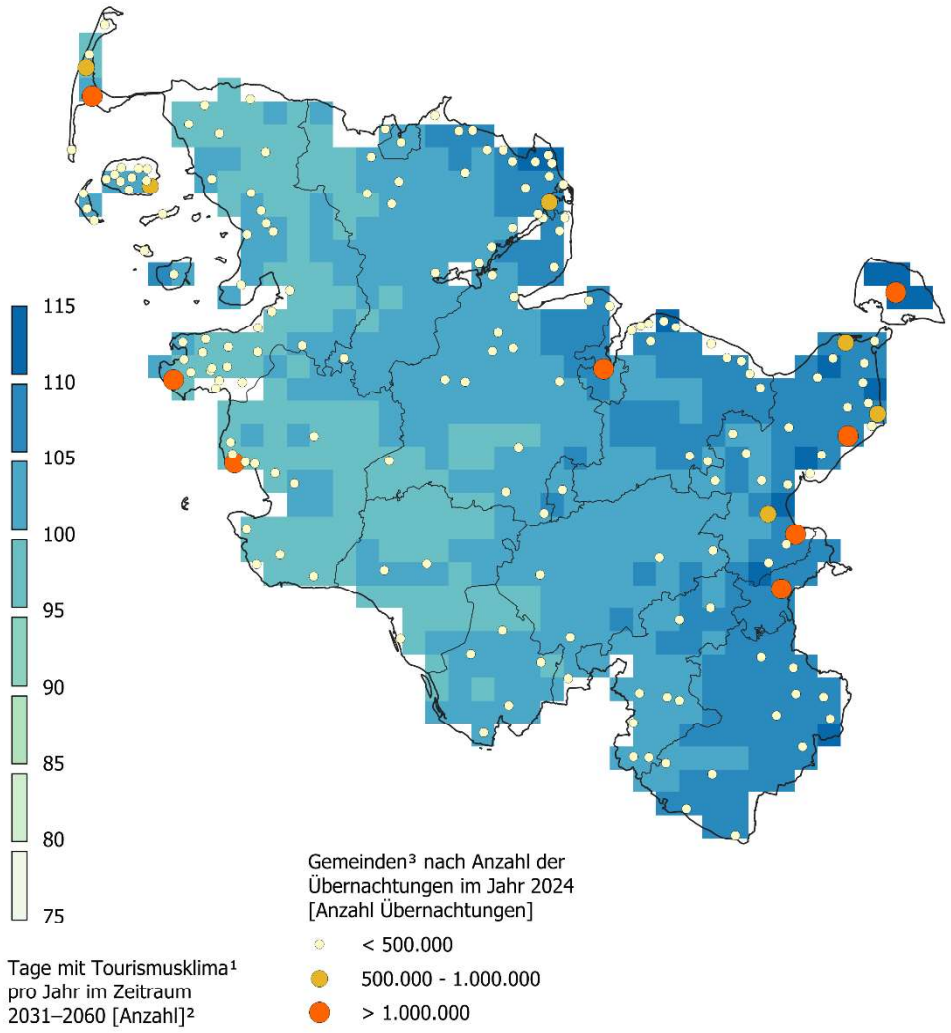


Abbildung 139: Risikoabschätzung zur Klimawirkung auf Grundlage einer Überlagerung von Projektionsdaten zu Tagen mit Tourismusklima und aktuellen Daten zur Anzahl von Übernachtungen als Sensitivitätsparameter

¹ Tag mit Tourismusklima: Tagesmaximaltemperatur zwischen 15 °C und 30 °C, Tagesniederschlag unter 0,5 mm
² Projektion: RCP8.5, 85. Perzentil
³ Aus datenschutzrechtlichen Gründen stehen nicht für alle Gemeinden Übernachtungszahlen zur Verfügung.

Datenquelle: Geobasisdaten: GeoBasis-DE / BKG 2025
Fachdaten: DWD (Klimaprojektion), Statistikamt Nord (Tourismusstatistik)
Auswertung: Bosch & Partner GmbH

Bis zur Mitte des Jahrhunderts und unter Annahme des Emissionsszenarios RCP8.5, 85. Perzentil, wird es die meisten Tage mit Tourismusklima entlang der Ostseeküste, auf Fehmarn und an der Grenze zu Mecklenburg-Vorpommern geben. Im Mittel des Reisegebiets „Ostsee" wird die Anzahl um etwa 18 Tage auf 108 Tage im Vergleich zur Referenzperiode steigen. Das Reisegebiet „Ostsee" ist bereits heute die für den Tourismus bedeutendste Region Schleswig-Holsteins mit den meisten Gästen und den höchsten Übernachtungszahlen. Auf Fehmarn, in den Gemeinden Grömitz und Timmendorfer Strand sowie in der Stadt Lübeck gab es im Jahr 2024 jeweils mehr als eine Million Übernachtungen. Entlang der Ostseeküste gehören auch die Städte Kappeln und Heiligenhafen sowie die Gemeinden Dahme und Scharbeutz zu den übernachtungsstarken Gebieten. In den anderen Reisegebieten wird die Anzahl der Tage mit Tourismusklima etwas weniger stark zunehmen. Für die Reisegebiete „Nordsee" und „Holsteinische Schweiz" projizieren die Modellergebnisse eine Zunahme um jeweils 16,4 Tage. Im Rest des Landes wird eine Zunahme um 15,1 Tage erwartet. Vor allem in den niederschlagsreicheren Gebieten im Norden und Nordwesten sowie entlang der Nordseeküste fällt die projizierte Zunahme geringer aus. Es wird darauf hingewiesen, dass das Tourismusklima auch in grenznah gelegenen Gemeinden von Belang ist, für die aufgrund der Rasterauflösung in der Abbildung kein Änderungssignal angegeben ist.

Die Ergebnisse der Risikoabschätzung werden durch die Forschungsergebnisse der Europäischen Kommission zur zukünftigen Entwicklung des TCI in Schleswig-Holstein gestützt.[822] Der Index wurde auf Grundlage der Entwicklung im Zeitraum 1981–2020 (siehe Abbildung 136) auch für die Zukunft projiziert. Sowohl unter Annahme des Emissionsszenarios RCP4.5

[822] García León et al. 2023, s. Fußnote 819

als auch unter Annahme des Hochemissionsszenarios RCP8.5 ist eine Zunahme des TCI in Schleswig-Holstein zu erwarten (siehe Abbildung 140). Es ist demnach davon auszugehen, dass sich die klimatischen Voraussetzungen für den Tourismus nicht nur aufgrund der Veränderung von Lufttemperatur und Niederschlag, sondern auch unter Berücksichtigung der weiteren Klimasignale, auf denen der TCI beruht, verbessern werden. Zudem deuten die Daten darauf hin, dass diese Entwicklung über die Mitte des Jahrhunderts hinaus anhalten könnte.

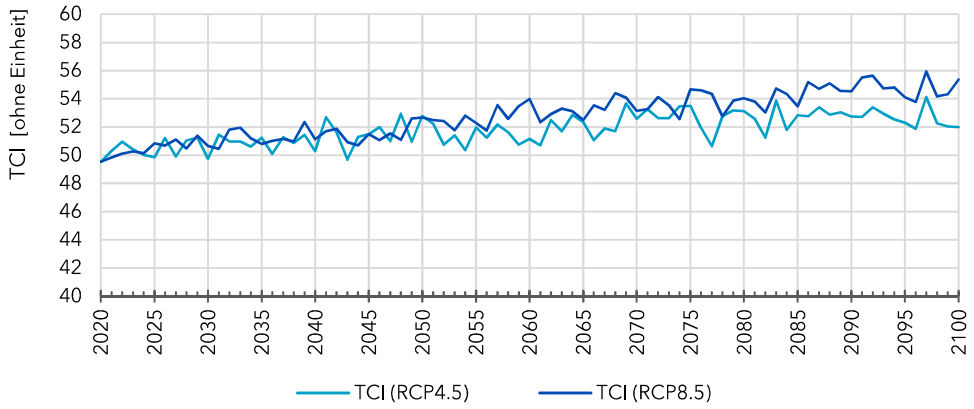


Abbildung 140: Projizierte Entwicklung des Tourism Climate Index in Schleswig-Holstein für den Zeitraum 2020–2100 und für die beiden Emissionsszenarien RCP4.5 und RCP8.5

Quelle: Europäische Kommission, Joint Research Centre (TCI), Auswertung Bosch & Partner GmbH

Für den Tourismus in Schleswig-Holstein ergeben sich dadurch neue Entwicklungsperspektiven. Anbieterinnen und Anbieter sollten diese Chancen strategisch nutzen, indem sie ihre Angebote konsequent auf eine verlängerte Saison ausrichten. Die Förderung einer ganzjährig gleichmäßigeren Auslastung ist auch gemäß der Tourismusstrategie Schleswig-Holstein 2030 eine zentrale Mission, um das Land vor dem Hintergrund des Klimawandels zu einer leistungsfähigen und nachhaltigen Ganzjahresdestination zu entwickeln. Zu den möglichen Maßnahmen gehören die Erweiterung von Outdoor-Aktivitäten in Frühling und Herbst, die Anpassung von Öffnungszeiten sowie die Entwicklung spezifischer Angebote für zukünftig möglicherweise relevantere Zielgruppen wie Seniorinnen und Senioren, Kurzurlauberinnern und -urlauber oder internationale Gäste. Investitionen in Infrastrukturen wie Rad- und Wanderwege, gastronomische Außenflächen oder Wassersportanlagen können ebenfalls dazu beitragen, die touristische Nachfrage zu sichern. Ein besonderer Fokus besteht dabei auf einer Stärkung des Binnenlandtourismus, um das touristische Angebot vor dem Hintergrund der sich bisher vor allem an den Küsten konzentrierenden touristischen Intensität zukünftig auch räumlich möglichst breit aufzustellen und um in der Folge gegebenenfalls auch zusätzliche Gästeströme in Schleswig-Holstein aufnehmen zu können. Die Maßnahmenumsetzung soll ressourcenschonend und nachhaltig erfolgen, um das touristische Potenzial langfristig zu sichern und verantwortungsvoll zu nutzen.

Es wird abschließend darauf hingewiesen, dass sich die tatsächliche touristische Entwicklung nicht allein auf Basis der dargestellten Parameter ableiten lässt. Reiseentscheidungen sind komplex und werden neben klimatischen Faktoren durch eine Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst. Die klimatischen Veränderungen infolge des Klimawandels bedeuten zudem nicht nur Chancen, sondern stellen Anbieterinnen und Anbieter auch vor neue Herausforderungen. Insbesondere aufgrund von häufigeren und intensiveren Extremwetterereignissen wie Starkregen und Stürmen kann es zu Beschädigungen an touristischen Infrastrukturen oder in der für den Tourismus relevanten Landschaft kommen. Vor diesem Hintergrund ist es unerlässlich, die touristische Infrastruktur klimaresilient zu gestalten. Dazu gehören bauliche Anpassungen wie die Sicherung von Küsten- und Uferbereichen, die wetterfeste Ausgestaltung von Außenanlagen sowie die Entwicklung flexibler Nutzungskonzepte. Ergänzend sind Investitionen in Notfall- und Kommunikationskonzepte erforderlich, um Gästen auch bei kurzfristigen Wetterumschwüngen Orientierung und Sicherheit zu bieten. Durch eine proaktive Anpassung an Extremwetter können nicht nur Schäden und Kosten reduziert, sondern auch das Vertrauen und die Zufriedenheit der Gäste langfristig gesichert werden. Zudem bieten teilregionale, lokale und sektorale Initiativen, Projekte und Netzwerke aus anderen Themenbereichen und Handlungsfeldern Potenzial für Synergien. Wichtig wäre eine Verbesserung der Vernetzung der Akteurinnen und Akteure untereinander, um den Tourismus in den strategischen Überlegungen mitzudenken und konsequent Verknüpfungen herzustellen und zu pflegen.

Abkürzungsverzeichnis

ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V.
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AMBAV	Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung
AR	Assessment Report
ASB	Arbeiter-Samariter-Bund
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem
AWGV	Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässerverzeichnis
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone Deutschlands
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDF	Bodendauerbeobachtungsfläche
BFAST	Breaks For Additive Season and Trend
BFI	Baseflow-Index
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMLEH	Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BWI	Bundeswaldinventur
BZE	Bodenzustandserhebung
CAU	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
CDC	Climate Data Center
CLC	CORINE Land Cover
CRI	Climate Risk Index
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
Destatis	Statisches Bundesamt
DGLG	Dauergrünlanderhaltungsgesetz
DGM	Digitales Geländemodell
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DLRG	Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft
DMO	Destination Management Organisation
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Europäische Gemeinschaft
EIP	Europäische Innovationspartnerschaft
EPS	Eichenprozessionsspinner
ETP	Potenzielle Evapotranspiration
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EWKG	Energiewende- und Klimaschutzgesetz
FAO	Food and Agriculture Organization
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GDV	Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
GMA	Gesellschaft für Marine Aquakultur
GPK	Generalplan Küstenschutz
HGK	Hochwassergefährdungsklasse
HHI	Herfindahl-Hirschmann-Index
HIT	Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere
HZG	Helmholtz-Zentrum Geesthacht (heute: Helmholtz-Zentrum Hereon)
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
ICES	Internationaler Rat für Meeresforschung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IMTE	Fraunhofer-Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
IOW	Leibniz-Institut für Ostseeforschung
IPCC	Weltklimarat, Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnik
JKI	Julius-Kühn-Institut
JUH	Johanniter-Unfall-Hilfe
KAnG	Klimaanpassungsgesetz des Bundes
KARL	Kommunalabwasserrichtlinie
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung des DWD
KRA	Klimarisikoanalyse
KRITIS	Kritische Infrastruktur
KWB	Klimatische Wasserbilanz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung

KWRA	Klimawirkungs- und Risikoanalyse des Bundes
LANU	Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LBM	Landbedeckungsmodell
LBO	Landesbauordnung
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LfU	Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein
LKatSG	Landeskatastrophenschutzgesetz Schleswig-Holstein
LKN.SH	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein
LRT	Lebensraumtyp
LTO	Lokale Tourismusorganisation
MEKUN	Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur Schleswig-Holstein
MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein
MHD	Malteser Hilfsdienst
MHQ	mittlerer Hochwasserabfluss
MIKWS	Ministerium für Inneres, Kommunales, Wohnen und Sport Schleswig-Holstein
MLLEV	Ministerium für Landwirtschaft, ländliche Räume, Europa und Verbraucherschutz Schleswig-Holstein
MONICA	Modell für die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik in Agrarökosystemen
MQ	Mittlerer Abfluss
MWVATT	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus
NABU	Naturschutzbund Deutschland e. V.
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ND-GAIN	Notre Dame Global Adaptation Initiative
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nFK	Nutzbare Feldkapazität
NHN	Normalhöhennull
NIT	Institut für Tourismus- und Bäderforschung in Nordeuropa GmbH
NOK	Nord-Ostsee-Kanal
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PFAS	Perfluoralkoxy-Polymere
PID	Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
PKD	Proliferative Kidney Disease
PRTR	Pollution Release and Transfer Registry
PV	Photovoltaik
RADKLIM	Radarklimatologie
RCP	Representative Concentration Pathway
RKI	Robert Koch-Institut
RL	Rote Liste
SHLF	Schleswig-Holsteinische Landesforsten
SRES	Special Report on Emissions Szenarios
SRI	Starkregen-Index
SST	Meeresoberflächentemperatur
SWB	Standortwasserbilanz
TCI	Tourism Climate Index
THW	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
TI	Thünen-Institut
UBA	Umweltbundesamt
UHI-MAP	Urban Heat Island Rasterdatensatz für Deutschland
UK	Vereinigtes Königreich
UN	United Nations
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UQN-RL	Umweltqualitätsnorm-Richtlinie
US	Vereinigte Staaten
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
UV	Ultraviolett bzw. Ultraviolettstrahlung
VV	Verwaltungsvereinbarung
WBV	Wasserbeschaffungsverbände
WET	Waldentwicklungstyp
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	Weltgesundheitsorganisation
WKA	Windkraftanlage
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WZE	Waldzustandserhebung
ZAK	Zentrales Artenkataster Schleswig-Holstein
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V.

Herausgeber: Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur
Mercatorstraße 3, 24105 Kiel | poststelle@mekun.landsh.de,
Telefon 0431 988-0 | Titelbild: konyvesotto, pixabay.com | März 2026
https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/V
Fachliche Bearbeitung und Redaktion: Bosch und Partner GmbH

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zu Gunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

SH

Schleswig-Holstein
Ministerium für Energiewende,
Klimaschutz, Umwelt und Natur