

**Stellungnahme zu Drucksache 19/1509**

**„Umweltzustand der Schlei und die Pläne der Landesregierung zur Verbesserung der dortigen Wasser- und Umweltqualität“.**

Klaus Schwarzer

Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
AG Küstengeologie und Sedimentologie

In der Stellungnahme werden zunächst die naturräumlichen Gegebenheiten der Schlei sowie die wesentlichen Ergebnisse aus durchgeführten Untersuchungen zum Umweltzustand der Schlei dargelegt. Angaben zu Größe, Wasservolumen, mittlerer Tiefe etc. liegen im Rahmen der Unschärfen, wie sie auch aus der Literatur kennt. Der Wert für die maximale Breite ist mit 2 km jedoch viel zu gering. Für die große Breite werden Werte bis zu 4 km erreicht. Die Dimension der freien Wasserfläche ist wichtig, wenn es um die Generierung winderzeugter Wellen geht, die eine Durchmischung des Wasserkörpers bewirken.

Nach gesetzlich festgelegten Bewertungskriterien wird der Umweltzustand der Schlei, der abiotische und biotische Kriterien umfasst, als „schlecht“ eingestuft. Es gibt jedoch Aspekte wie z.B. das Vorkommen von Makrophytobenthos oder das Vorkommen flussgebietspezifischer Schadstoffe, die im Bericht der Landesregierung zum Umweltzustand der Schlei für einige ihrer Teilbereiche positiver bewertet werden. Durch die Erwähnung der Zuckerfabrik und der Kläranlage von Schleswig wird der Blick sehr stark auf die innere Schlei gelenkt, jedoch sind die Zustände in der mittleren Schlei ähnlich. Die Aufmerksamkeit sollte gleichermaßen diesem Bereich gelten.

Die uneingeschränkte Verwendung des Begriffs „Faulschlamm“ wird aus geowissenschaftlicher Sicht etwas kritisch gesehen. Zu bestimmten Jahreszeiten sind die Oberflächensedimente eher ein "Halbfaulschlamm" (auch als Gytja oder Mudde bezeichnet). Nur im Sommer erfolgt ein zeitlich begrenzter Umschlag durch Sauerstoffmangel in Richtung "Faulschlamm". Eine genaue zeitliche und räumliche Eingrenzung dieser Situation liegt bisher aus keiner Studie vor.

In der jüngeren Vergangenheit sind verschiedene Berichte und Gutachten erstellt worden, die den aktuellen Umweltzustand der Schlei aus verschiedenen Blickrichtungen beschreiben. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Gutachten sind zusammenfassend dargestellt. Derartige Zusammenfassungen können aber nicht die gesamte Bandbreite der durchgeführten Untersuchungen darlegen, noch ist häufig nicht die Zeit vorhanden, alle Dokumente eingehend zu studieren. Die wesentlichen Ergebnisse und Interpretation der Daten aus der Studie „**Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei**“ sind daher hier als Ergänzung beigelegt. Es dient auch der Erläuterung der in der Drucksache 15/1509 knapp dargestellten Ergebnisse.

Es können 3 wesentliche Ergebnisse herausgestellt werden.

- Die Studie „**Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei**“ hat gezeigt, dass das als „Faulschlamm“ bezeichnete Sediment über einen weiten Zeitraum des Jahres an der Sedimentoberfläche keinen Faulschlamm darstellt, sondern eher einem Halbfaulschlamm entspricht, in dem Sauerstoff vorhanden ist.
- Dieses Sediment, das in den tieferen Bereichen einem Sapropel entspricht (dies ist umgangssprachlich der Faulschlamm) erstreckt sich über die innere und mittlere Schlei. Die Verbreitung dieses Sedimentes ist in seiner räumlichen Erstreckung erfasst. Die Gesamtmenge der durch zeitweiligen oder fortdauernden Sauerstoffmangel gekennzeichneten Sedimente ist ca. fünf Mal größer als die bisher bekannte Menge für die innerste Schlei.

- Die mittleren Sedimentationsraten mit bis zu 4 mm/Jahr (maximale Werte wurden bis zu 8 mm/Jahr angegeben), die 1986 publiziert wurden, haben nicht weiter Bestand. Sie sind auf nahezu die Hälfte (ca. 2 mm/Jahr) reduziert.

Die Studie „Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei“ ist eine Momentaufnahme. Ein hydrodynamisches Modell, das Fragen zu Stofftransporten, zu saisonalen Veränderungen der Hydro- und Sedimentdynamik und zu Auswirkungen in der Wasserzirkulation durch Baumaßnahmen liefern kann, ist ein wichtiger Schritt, um das System Schlei besser zu verstehen.

Da zum Mikroplastik und zum Problem „Teerpappenfabrik“ keine Untersuchungen durchgeführt wurden, kann dazu keine Stellungnahme erfolgen.

Kiel, 24.01.2020

Dr. Klaus Schwarzer

## **Kurzfassung des Berichtes „Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei“**

Die Schlei ist ein ca. 52 km<sup>2</sup> umfassender Seitenarm der Ostsee<sup>1</sup>, der sich über eine Länge von ca. 43 km in das Hinterland erstreckt. Das Gewässer wird von West nach Ost in die drei Teilbereiche „innere“, „mittlere“ und „äußere Schlei“ untergliedert. Durch die geologische Entwicklung sind Breiten des Gewässers bis zu 4 km, und Tiefen in den schmalen Bereichen bis zu -16 m NHN vorgegeben. Mehrere Zuflüsse, die primär landwirtschaftliche Fläche entwässern, münden in die Schlei. Der größte Eintrag von Süßwasser erfolgt durch die Füsinger Au, die in die innere Schlei entwässert. Der Wasseraustausch mit der Ostsee erfolgt durch die lediglich 90 m breite, künstlich geschaffene Öffnung bei Schleimünde. Dazu sind im Winter/Frühjahr ca. 30 Tage und in trockeneren und weniger windigen und geringeren Wasserstandsschwankungen unterliegenden Sommermonaten bis zu 150 Tage notwendig (Ohlendiek, 2009). Der Wasserkörper der Schlei mit einem Volumen von 0,13 km<sup>3</sup> (s. Fußnote) ist als mesohalin anzusehen. Der Salzgehalt zeigt einen von Schleimünde in Richtung Schleswig abnehmenden Gradienten. Vor Schaffung der künstlichen Öffnung bei Schleimünde lag die natürliche, offene Verbindung zur Ostsee weiter nördlich. Ob natürlich oder künstlich geschaffen, eine Durchflussöffnung ist notwendig, damit die Menge des durch kleinere Flüsse und Bäche aus dem Einzugsgebiet jährlich in die Schlei einfließenden Frischwassers, die ca. doppelt so hoch ist wie das Wasservolumen der Schlei selbst, in die Ostsee abfließen kann.

Aufgrund der geringen Wassertiefe des Gewässers wird davon ausgegangen, dass eine fort-dauernde Verfügbarkeit von Sauerstoff im Wasserkörper gegeben ist (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 2001). Über eine vertikale Schichtung des Wasserkörpers gibt es aus der Literatur keine Hinweise. In den Sommermonaten kann es allerdings an der Sedimentoberfläche zu anoxischen, also Sauerstoffmangelbedingungen kommen. Der Übergang des Gewässers „Schlei“ zur Ostsee wurde im Zuge der seit Jahrtausenden andauernden küstengeomorphologischen Entwicklung durch nach Norden und Süden vorwachsende Haken abgeriegelt. In einem durch natürliche Vorgänge so abgeschlossenen Gewässer wie der Schlei, kann ein vorübergehender Mangel an Sauerstoff unter gänzlich natürlichen Umständen eintreten. Sauerstoffmangel ist nicht zwangsläufig als Folge von menschengemachter Überdingung anzusehen. So enthalten Bohrkerne aus verschiedensten Küstenbereichen der Ostsee Gyttja Ablagerungen, die zeitlich verschiedensten Phasen der nacheiszeitlichen Ostseeentwicklung zuzuordnen sind. Als Gyttja wird dabei ein an organischer Substanz reicher Halbfaulschlamm bezeichnet, für den häufig auch das Synonym „Mudde“ benutzt wird. Solche Gytjen deutlich vorindustriellen-, als auch sehr jungen Alters sind die in der mittleren und inneren Schlei die am weitesten verbreiteten Sedimente.

Weitere charakteristische Gegebenheiten der Schlei sind nachfolgend aufgelistet.

### **Charakteristische morphologische und hydrologische Randbedingungen der Schlei**

**Fläche:** Ca. 52 km<sup>2</sup>

**Erstreckung:** Orientierung primär NE – SW

**Geomorphologische Ausdehnung:** Ca. 43 km langer Wasserkörper; größte Breite: ca. 4 km (große Breite); geringste Breite: ca. 100 m (Missunder Enge)

**Untergliederung:** Innere-, mittlere und äußere Schlei (Schleimünde)

**Mittlere Tiefe:** 2,5 – 3,0 m NHN

---

<sup>1</sup> Sowohl für die Größe der Wasserfläche als auch für das Volumen des Schlei-Wasserkörpers existieren in der Literatur unterschiedliche Angaben. So schwanken Sie für die Wasserfläche von 52 – 54,6 km<sup>2</sup>. Dies mag dem Umstand geschuldet sein, dass keine genaue bathymetrische Vermessung vorliegt und auch die Uferlinie durch vorhandene Schilfgürtel nicht genau bestimmt werden kann.

**Maximale Tiefe:** 16 m NHN

**Volumen des Schlei-Wasserkörpers:** Ca. 0,13 km<sup>3</sup>

**Einzugsgebiet:** 667 km<sup>2</sup>

**Wasseraustausch mit der Ostsee:** Ausschließlich über die Öffnung bei Schleimünde

**Wasserstandsschwankungen:** -146 cm NHN bis +142 cm NHN (10-Jahreszeitraum, Pegel Schleswig)

**Charakteristik des Wasserkörpers:** Mesohalin; Gradient von 13 – 19 PSU (äußere Schlei) bis 4 – 8 PSU (innere Schlei)

**Zuflüsse:** Süßwasserzufluss je nach Autor zwischen 250 – 306 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/Jahr. Neben der Füsinger Au, die ca. 1/3 des Einzugsgebietes (243 km<sup>2</sup>) entwässert und 2/3 des gesamten Süßwasserzuflusses beisteuert, ist die Koseler Au, die in die mittlere Schlei mündet, der nächstgrößere Vorfluter.

Viele der bisher in der Schlei durchgeführten Arbeiten waren räumlich begrenzt. Die wesentlichen Arbeiten zur Verbreitung der organikreichen Sedimente (sie werden im Zusammenhang mit der Schlei umgangssprachlich oft auch als Faulschlamm bezeichnet) wurden in der inneren Schlei durchgeführt, dort, wo sowohl die überwiegende industrielle Nutzung stattfand, das Bevölkerungswachstum am größten war und die Hauptentwässerung der landwirtschaftlich genutzten Fläche durch die Füsinger Au stattfindet. Eine umfassende Aufnahme des sedimentologischen Aufbaus der gesamten Schlei und der Sedimentverteilung an der Meeresbodenoberfläche lag bisher nicht vor. Sie konnte im Rahmen der vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) des Landes Schleswig-Holstein in den Jahren 2016 bis 2018 beauftragten Forschungsarbeiten „Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei“ realisiert werden (s. hierzu Schwarzer et al., 2019). Im Rahmen dieser Arbeiten wurde die Verbreitung, die Mächtigkeit und die Zusammensetzung der in der Schlei (von Schleswig bis Schleimünde) auftretenden Sedimente untersucht. Diese Kenntnisse sind notwendig, um den ökologischen Zustand eines Gewässers gemäß der bestehenden EU-Richtlinien bewerten zu können. Sie können auch als Planungsgrundlage für weiterführende Untersuchungen oder für Eingriffe in das „System Schlei“ dienen. Die Felduntersuchungen erfolgten 2017 in den Monaten März und April mit zwei Forschungsschiffen des FTZ Büsum. Die Übergangsphase Winter/Frühjahr wurde aus den nachfolgenden Gründen gewählt:

- Verminderte Gasentwicklung im Sediment, da gegenüber den Sommermonaten eine geringere biologische Produktion vorliegt. Gasentwicklung im Sediment verhindert das Eindringen hydroakustischer Signale in den Untergrund.
- Nach den Wintermonaten, in denen keine Eisbedeckung vorliegt, ist eine maximale Regeneration des Wasserkörpers durch Ostseewasser zu erwarten.
- Durch stärkere Winde in den Wintermonaten kommt es zu einer maximalen Durchmischung des Wasserkörpers.
- Nachteil: Einmalige Untersuchungen können möglicherweise nicht alle Umweltzustände erfassen, die im Laufe eines Jahresganges auftreten, wie etwa die häufig beschriebene Situation anoxischer Verhältnisse am Meeresboden.

Mit verschiedenen Sonaren (Seitensicht Sonar, parametrisches Sedimentecholot) wurden ca. 400 km Profillänge kartiert und damit ca. 30 km<sup>2</sup> Meeresboden flächendeckend erfasst. Die sehr flachen Bereiche (< 1m Wassertiefe) oder Bereiche mit Hindernissen (z.B. Fischernetze) konnten nicht befahren werden. Mit den durchgeführten Untersuchungen sind ca. 58% des Meeresbodens der gesamten Schlei erfasst. Zusätzlich wurden auf der Basis der hydroakustischen Kartierung 166 Sedimentproben und 24 Sedimentkerne entnommen. An den Greiferproben erfolgten neben der Dokumentation im Gelände granulometrische Analysen und die Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff. An den Sedimentkernen, die alle im

April genommen wurden, erfolgten Nährstoffmessungen, granulometrische Untersuchungen und an ausgewählten Kernen die Bestimmung von Sedimentationsraten. Das gesamte Spektrum der Untersuchungen ist in dem Abschlußbericht „Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei“ (Schwarzer et al., 2019) dokumentiert.

Da in der Fachliteratur die Bezeichnung für nährstoffreiche Sedimente stark variiert, ist hier eine Übersicht aus einigen geowissenschaftlichen und bodenkundlichen Lehrbüchern eingefügt. Diese Auflistung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber den teilweise doch variablen Umgang mit diesen Begriffen:

1. Sapropel, auch Vollfaulschlamm genannt, ist ein subhydrisches Sediment, das sich durch die sauerstofffreie Umsetzung von organischen Resten in nährstoffreichen Gewässern bildet (Zeil, 1990; Richter, 1992). Das feinkörnige Sediment ist meist grau bis tiefschwarz (Murawski & Meyer 2010). Anaerob lebende Bakterien produzieren hier Schwefelwasserstoff, Methan und elementaren Wasserstoff (Blume et al. 2010). Ein Sapropel hat hohe Schwermetall- und Nährstoffgehalte.
2. Gyttja (schwedische Bezeichnung) ist ein limnisches Sediment, das sich am zeitweise belüfteten Gewässergrund bildet (Richter, 1992; Zeil, 1990). Das graue bis graubraune Sediment wird daher auch als Halbfaultschlamm bezeichnet (Richter, 1992; Zeil, 1990). Nach Blume et al. (2010) und Murawski & Meyer (2010) bildet es sich hingegen in „gut durchlüfteten“ bzw. „gut sauerstoffversorgten“ nährstoffreichen Gewässern. Durch anthropogene Eutrophierung wandeln sich heute viele Gytjtjen in Sapropel um, bzw. werden überlagert (Blume et al., 2010).  
In dieser Stellungnahme wird mit Gyttja ein unter sauerstoffarmen Bedingungen gebildetes, organikreiches Sediment beschrieben. Gyttja kann Beimengungen von Sand, Kalk oder Torf enthalten; dann wird diese Beimengung in den Begriff aufgenommen, z.B. Sandgyttja oder sandige Gyttja. Sie kann sich auch unter Brackwasserbedingungen in lagunären Bereichen bilden.
3. Mudde ist ein geologischer Sammelbegriff für subhydrische Böden (Blume et al. 2010). Er wird häufig synonym für Gyttja verwendet.

Das Oberflächensediment, welches in der bisherigen Literatur (u.a. Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten, 1978, 1986; Feibicke, 2005) meist als Faultschlamm bezeichnet wird, wird hier auf Grund der Untersuchungen von Schwarzer et al. (2019) als siltiges Oberflächensediment bzw. Silt bezeichnet.

### **Sedimentologische Beschaffenheit des Meeresbodens:**

Der überwiegende Teil der kartierten Fläche (74%) besteht aus einem Sediment, das zu mehr als 50% aus Silt und Ton besteht, d.h. aus einem Material mit einem Korndurchmesser kleiner als 0,063 mm. Dieses Sediment enthält hohe Anteile organischer Substanz. Es wird im weiteren Text als „**siltiges Oberflächensediment**“ bezeichnet. In der inneren und mittleren Schlei übersteigt der Anteil dieses Sediments häufig 70%. Der übrige Teil des kartierten Meeresbodens ist eher sandig ausgebildet (Sandanteil > 50%). Generell ist das Sediment in der mittleren Schlei etwas feiner als in den übrigen Bereichen. Eher sandiges Material befindet sich in den Engen, da dort höhere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten und teilweise auch älteres Material angeschnitten wird, in den Uferbereichen, und auch dort, wo aus dem Untergrund aufgrund der geologischen Gegebenheiten sandigeres Material aufragt. Dies ist innerhalb der Schlei häufig mit einer geringen morphologischen Erhöhung verbunden, was die dazwischen liegenden Bereiche als flache Becken erscheinen lässt, in denen feineres Material sedimentiert. Der Meeresboden im Bereich der äußeren Schlei ist überwiegend sandig ausgebildet.

Der hohe Gehalt organischen Kohlenstoffs ist eines der Hauptprobleme der Schlei. Eine mögliche Bestimmung des organischen Anteils im Sediment ist die Methode der Veraschung - auch

als Glühverlust (engl.: Loss of Ignition, LOI) bezeichnet. Da aus der Studie des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten (1986) bereits Glühverlustdaten für die Oberflächensedimente der Inneren Schlei vorlagen, wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit diese Methode auch bei den jüngsten Untersuchungen (Schwarzer et al., 2019) angewandt. Die Daten aus 2019 zeigen für den Bereich zwischen Schleswig und Stexwig nur an einer Position höhere Glühverluste, als 1986, an 8 von 27 Stationen aber geringere Wert und dies vor allem dort, wo die Glühverlustwerte 1986 mit Werten zwischen 20 – 30% besonders hoch waren. Ältere Untersuchungen von den Darß-Zingster Boddengewässern zeigen mit bis zu 43% Glühverlust (Schlungbaum et al., 1994) teilweise noch höhere Werte als sie in der Schlei gemessen wurden, wo sie mit lediglich einer Ausnahme aus der inneren Schlei (ca. 34 %) nicht den 30%-Wert übersteigen. Schreiner et al. (2018) messen im Sommer 2017 in der Schlei Glühverlustwerte bis zu 22,2%. Dies entspricht den Werten aus Schwarzer et al. (2019). Maximale und minimale Glühverluste aus dem Jahr 2017 zeigt die Tabelle 1.

Die Messung des Glühverlustes ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. Eine genauere Analyse ist die Bestimmung des  $C_{org}$  am Gaschromatographen, die in der jüngsten Studie von Schwarzer et al. (2019) an 166 Oberflächenproben durchgeführt wurde. In der inneren Schlei erreichen die  $C_{org}$ -Werte vor Schleswig 13,1 %; in den sandigen Uferbereichen liegen diese Werte meist unterhalb 1 %. In der Kleinen Breite variieren die  $C_{org}$ -Gehalte des Silts zwischen 5 % und 10,7 %. In der Großen Breite werden mit 10,2 % bis 12,8 % besonders hohe  $C_{org}$ -Werte im südwestlichen Bereich gemessen. Der siltige Sand hat meistens  $C_{org}$ -Werte von 1% bis 3 %. In den Nooren zwischen Missunde und Lindaunis (mittlere Schlei) werden Werte über 10 %  $C_{org}$  erreicht. In der Büstorfer Breite liegen die Werte im Silt zwischen 8,2 % bis 12,2 % und nehmen in Richtung der Brücke von Lindaunis ab. Östlich der Brücke von Lindaunis werden Werte >10 %, bis auf eine Position nahe der Brücke, nicht mehr erreicht. Die Konzentrationen im Sand liegen bei <1 %. In der äußeren Schlei ist mit 7,8 % die höchste  $C_{org}$ -Konzentration im Silt westlich von Maasholm gemessen worden. Andere Proben aus dieser Bucht (Wormshöfter Noor) weisen lediglich um 4 %  $C_{org}$  auf. Der siltige Sand hat zumeist  $C_{org}$ -Gehalte von 1 % bis 5 %. Bis auf zwei Proben nahe Schleimünde, sind alle  $C_{org}$ -Werte im Sand <1 %. Im direkten Vergleich mit der Sedimentverteilungskarte zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Korngröße bzw. dem Sedimenttyp und dem Anteil des organischen Kohlenstoffs im Oberflächensediment. Je feiner das Sediment ist, desto höher ist der  $C_{org}$ -Anteil. Die äußere Schlei hebt sich sowohl bezüglich der Korngrößenklassen als auch hinsichtlich der Organikgehalte von der mittleren- und inneren Schlei ab. Alle Oberflächenproben weisen einen Sandanteil > 10% auf und der  $C_{org}$ -Gehalt bleibt unterhalb 5 %, mit lediglich zwei Ausnahmen: In einer Probe bei Arnis wurden 5,1 %  $C_{org}$  gemessen, westlich von Maasholm betrug der Wert in einer Probe 7,8%  $C_{org}$ .

Tabelle 1: Maximale und minimale Glühverlustwerte (LOI) in den Teilbereichen der Schlei (Schwarzer et al., 2019).

Gebiet	Minimum LOI550* [%]	Maximum LOI550 [%]
Schleswig	1,12	28,55
Kleine Breite	1,25	21,16
Große Breite	1,01	27,89
Büstorfer Breite	1,57	34,31
Karschauer Breite	5,9	26,64
Äußere Schlei	0,8	18,39

\* 550 steht für die Verbrennung bei 550 °C

### Mächtigkeit einzelner Sedimentkörper:

Das organikreiche, siltige Oberflächensediment erreicht mittlere Mächtigkeiten von knapp 30 cm in der inneren- und mittleren Schlei, mit etwas höheren Mächtigkeiten in der inneren Schlei sowie lokalen und kleinräumigen Mächtigkeiten über 50 cm. Bereits aus Untersuchungen des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten (1978) geht hervor, dass Sedimente anoxischer Ausprägung bereits Ende der 1970er Jahre von Schleswig bis nach Rabelsund vorkamen. Eine genauere Angabe über die räumliche Ausdehnung und eine Abschätzung über die Menge dieses Sedimentes erfolgte nicht. In einer weiteren Untersuchung des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten (1986) wird die Menge des siltigen Oberflächensedimentes für die innerste Schlei mit  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  angegeben. Schwarzer et al. (2019) kommen für diesen Bereich zu ähnlichen Ergebnissen (s. Tab. 2). Mit den hochauflösenden Messungen mit dem parametrischen Sedimentecholot können sie aber erstmals die Menge des siltigen Oberflächensedimentes für die gesamte Schlei erfassen. Danach liegen in der inneren Schlei  $3,18 \pm 0,32 \times 10^6 \text{ m}^3$  dieses Sedimentes; in der mittleren Schlei sind es  $3,14 \pm 0,33 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Daraus ergibt sich, dass die Menge des siltigen Oberflächensediments für die gesamte Schlei nahezu 5 Mal größer ist, als die Menge, die bisher für die innerste Schlei bekannt war (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Fläche und Volumina des siltigen Oberflächensediments. Werte der Untersuchungen des Landesamtes für Wasserhaushalt und Küsten (1986) tragen das Symbol  $\Delta$ . Werte der Untersuchungen von Schwarzer et al. (2019) tragen das Symbol\*.

Bereich	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Erfasste Fläche [km <sup>2</sup> ] LaWaKü, 1986 $\Delta$ IfG, 2017*	Fläche Silt [km <sup>2</sup> ] LaWaKü, 1986 $\Delta$ IfG, 2017*	Volumen Silt [m <sup>3</sup> ]
<b>Innerste Schlei (Schleswig und Kleine Breite; Untersuchungsgebiet LaWaKü, 1986)</b>	7,87	7,87 $\Delta$ 4,77*	4,72 $\Delta$ 3,75*	1,3x10 <sup>6</sup> $\Delta$ 1,11±0,11x10 <sup>6</sup> *
<b>Innere Schlei (Innerste Schlei und Große Breite)</b>	20,05	7,87 $\Delta$ (Bereich Innerste Schlei) 13,8*	4,72 $\Delta$ (Bereich Innerste Schlei) 10,76*	1,3x10 <sup>6</sup> $\Delta$ 3,18±0,32x10 <sup>6</sup> *
<b>Mittlere Schlei</b>	18,74	0 $\Delta$ 12,29*	0 $\Delta$ 11,03*	0 $\Delta$ 3,14±0,33x10 <sup>6</sup> *
<b>Äußere Schlei</b>	12,79	0 $\Delta$ 3,55*	0 $\Delta$ 0,55*	0 $\Delta$ 0*

### Sedimentationsraten:

Seit eine kontinuierliche Verbindung des Schlei Wasserkörpers zur Ostsee vorhanden war (ca. 2000 Jahre vor heute), bis ca. 135 Jahren vor heute, betrug die Sedimentationsrate in den zentralen Wasserkörpern der Schlei lediglich 0,5 mm/Jahr, um dann rasch auf 4 mm/Jahr (maximale Werte reichen bis zu 8 mm/Jahr) anzusteigen (Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten, 1986). Grund für diese rasche Zunahme war eine verstärkte Nährstoffzufuhr aus urbanen Räumen mit zunehmender Besiedlung, Industrie sowie Landwirtschaft, was zu einer Überdüngung des Gewässers und damit zu einer vermehrten Produktion von Biomasse im Wasserkörper führte. Die sich massenhaft entwickelten, planktischen Mikroalgen sinken nach dem Absterben zu Boden, können dort aber bei ungenügender Versorgung mit Sauerstoff nicht vollständig durch aerobe Bakterien abgebaut und remineralisiert werden. Die unter solchen Bedingungen eintretende fast vollständige Sauerstoffzehrung führt zu anoxischen Verhältnissen am Meeresboden, was wiederum eine Freisetzung des Nährstoffes Phosphat aus dem Sediment bewirkt. Das Wasser wird damit quasi aus dem Sediment heraus gedüngt und

dadurch wird in den Sommermonaten ein erneute Algenblüte hervorgerufen, die nach dem Absterben neuerlich absinkt.

Zur Bestimmung von Sedimentationsraten während der letzten Jahrzehnte wurden insgesamt vier Sedimentkerne ausgewählt - zwei Kerne aus der Kleinen Breite, sowie jeweils ein Kern aus der Großen Breite und aus der mittleren Schlei (Büstorfer Breite). An dem Sedimentkern aus der mittleren Schlei konnte mit 2 unabhängigen Datierungsansätzen gezeigt werden, dass eine bis zum Jahr 1980 gemessene Sedimentationsrate von 4,2 mm/Jahr auf 2,2 mm/Jahr abgesunken ist (Schwarzer et al., 2019). Eine Sedimentationsrate um ca. 4 mm/Jahr bis ca. 1980 wird durch die Messungen von Schwarzer et al. (2019) bestätigt. Eine Fortsetzung der aus früheren Untersuchungen angegebenen Sedimentationsraten mit lokal bis zu 8 mm/Jahr für die innere Schlei konnten weder durch Radionuklidmessungen noch durch Messungen der Mächtigkeit der siltigen Oberflächensedimente, also durch 2 voneinander unabhängige Methoden, für die jüngere Zeit bestätigt werden. Betrachtet man nur die Sedimentationsraten, die mit der Pb-210 Methode ermittelt wurden, so zeigt sich auch für die Kleine Breite eine geringere Sedimentationsrate, die bei ca. 2 mm/Jahr liegt. Seit den 80er Jahren sind die hohen Sedimentationsraten rückläufig, was möglicherweise auf verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung des Nährstoffeintrages zurückzuführen ist.

An einem Kern aus der inneren Schlei (Große Breite) wurden mehrere C-14 (Radiokarbon) - Datierungen sowohl an Schill (Muschelschalenbruch) als auch an Torfen durchgeführt. Bereits in ca. 40 cm Tiefe wird ein Alter von fast 3000 Jahren vor heute erreicht. In ca. 60 cm Tiefe hat ein hier vorkommender Torfhorizont - er kommt auch in der kleinen Breite vor - ein Alter von fast 6000 Jahren. Hohe Sedimentationsraten für die jungen Sedimente, wie sie in früheren Untersuchungen für die innerste Schlei angegeben wurden, lassen sich damit räumlich nicht auf andere Gebiete übertragen. Auch ein Sedimentkern aus dem Bereich vor Schleswig zeigt bereits in 32 cm Tiefe einen deutlichen Farbumschlag von einem sehr dunklen, fast schwarzen Sediment (oberer Bereich) zu einem eher bräunlichen Sediment in tieferen und damit älteren Lagen. Dies weist auf eine Sedimentationsentwicklung hin, die in früherer Zeiten durch eine gute Sauerstoffversorgung und in jüngerer Zeit eher durch an einen Mangel an Sauerstoff im bodennahen Bereich geprägt war. An allen im April 2018 entnommenen Sedimentkernen ist schwarzes Sediment des oberen Teils der Sedimentkerne in den obersten Zentimetern bräunlich, was einen oxidierenden Charakter widerspiegelt. Dies deutet offensichtlich auf saisonale Unterschiede in der Sauerstoffversorgung des Oberflächensedimentes hin.

### **Nährstoffverhältnisse:**

Im Rahmen Studie des IfG / FTZ wurden direkt nach der Entnahme der Sedimentkerne Porenwasserproben in den Tiefen 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 21, 31, 41, 51 cm entnommen und noch an Bord der Forschungsschiffe tiefgefroren, um mögliche biologisch/chemischen Prozesse, die die Nährstoffzusammensetzung beeinflussen können, zu verhindern. Die Porenwasserproben wurden im Labor auf ihre Gehalte an den gelösten Nährstoffe Phosphat, Nitrat, Nitrit, Ammonium und Silikat analysiert (s. dazu Schwarzer et al., 2019). Hierbei hat sich gezeigt, dass im Porenwasser der obersten Sedimentschichten, so gut wie kein Phosphor vorkommt, was als deutliches Zeichen für das Vorhandensein von freiem Sauerstoff zu deuten ist. Dies kann als Beleg dafür gewertet werden, dass in der Schlei keine durchgängigen, über das ganze Jahr andauernde Sauerstoffmangelphasen vorherrschen. Eine Durchmischung mit Sauerstoff kann durch Strömungen, Wellen oder Bioturbation erfolgen.

### **Oberflächensedimente- Habitate:**

Durch die flächendeckende Kartierung und die Abbildung der Oberflächensedimente durch Sonartechnik können Bereiche mit erhöhtem Potenzial für eine Besiedlung durch epibenthische (auf dem Boden lebende) Organismen detektiert werden. Hartsubstraten kommt dabei

eine besondere Bedeutung zu. Dies sind Flächen mit Steinen, anstehendem Geschiebemergel (verfestigte, nicht selten den übrigen Gewässergrund überragende eiszeitliche Ablagerungen), aber auch biogene Strukturen wie Muschelschalen. Hartsubstrate und mit Kies, Steinen oder Schillanreicherungen belegter Meeresgrund sind per Gesetz als besonders schützenswerte Meeresbodenregionen anzusehen. Im Zuge der Verbesserungsmaßnahmen für einen guten Zustand der Gewässer nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (WRRL, 2000), wird sogar die künstliche Einbringung von Hartsubstraten diskutiert.

Die Innere Schlei bietet kaum größere Flächen mit Hartsubstrat. Ihre Sedimentoberfläche besteht vorwiegend aus siltigem oder sandigem Material. Bei Missunde treten Blöcke und Schill in einer Wassertiefe von ca. 8 m auf. Vereinzelt liegen auch in den Uferzonen. Größere, mit Blöcken belegte Flächen befinden sich auch an der Öffnung zu Ostsee und in der Mittleren Schlei, westlich von Arnis. Größere Schillvorkommen sind in der Mittleren Schlei dort zu finden, wo alte Sedimentstrukturen aus dem Untergrund bis an die Oberfläche reichen, z. Bsp. an der Brücke von Lindaunis oder in der Enge bei Arnis. Nahe Schleimünde, südlich von Kappeln und südlich von Arnis wurden lebende Miesmuscheln beobachtet.

### **Literatur:**

- Blume, H.-P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögler-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2010. Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 570 S.
- Feibicke, M., 2005. Konzept zur Restaurierung des Schlei-Ästuars- Concept for restoration of the Schlei estuary. Rostock. Meeresbiolog. Beitr., 14, 69-82.
- Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein, 1978. Die Schlei. Bericht über die Untersuchung des Zustandes und der Benutzung. Band 1, Durchführung und Auswertung, 271 S.
- Landesamt für Wasserhaushalt und Küsten Schleswig-Holstein (1986): Entwicklung von Verfahren zur Steuerung von Trophieverhältnissen und Nahrungsketten in einem Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Einträge aus dem Einzugsgebiet - Restaurierung der Schlei, Bericht über ein Forschungsvorhaben, 86 S.
- Landesamt für Natur u. Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 2001. Ergebnisse langjähriger Wasseruntersuchungen in der Schlei. Eine Informations- u. Planungsgrundlage, 26 S.
- Murawski, H., Meyer, W., 2010. Geologisches Wörterbuch. Berlin, Heidelberg, 220 S.
- Ohlndieck, U. (2009): Zustand und Verbesserungspotenzial der Schlei; Eine Informations- und Planungsgrundlage für Maßnahmen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR).
- Richter, D., 1992. Allgemeine Geologie. Berlin, Walter de Gruyter. S. 86.
- Schlunbaum, G. Nausch, G, Baudler, H., 1994. Sedimentstruktur und Sedimentdynamik in den Darß-Zingster Boddengewässern. Meeresbiolog. Beitr., Rostock, 2, 27-40.
- Schreiner, S., Nickle, J., Wilcken, H., Meyer, T., 2018. Schlei Extramonitoring (2017), Zustand der marinen Flora und Fauna der Schlei in Ergänzung zu sedimentologischen Untersuchungen und Literatur. Endbericht (MariLim GmbH), 74 S
- Schwarzer, K., Ricklefs, K., Höft, D., 2019. Sedimentinventar und Hydromorphologie der Schlei – Abschlussbericht, 79 S.
- Zeil, W., 1990 Brinkmanns Abriss der Geologie. Band 1: Allgemeine Geologie. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, S. 46.