

**Schleswig-Holsteinischer Landtag** □  
**Umdruck 16/4125**

Ministerium für Wissenschaft,  
Wirtschaft und Verkehr  
des Landes Schleswig-Holstein

Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr |  
Postfach 71 28 | 24171 Kiel

**Minister**

Vorsitzende  
des Europaausschusses  
Frau Astrid Höfs, MdL

Vorsitzender  
des Wirtschaftsausschusses  
Herr Hans-Jörn Arp, MdL

Vorsitzender  
des Umwelt- und Agrarausschusses  
Herr Klaus Klinckhamer, MdL

Landeshaus  
24105 Kiel

Kiel, 23. März 2009

Sehr geehrte Frau Vorsitzende,  
sehr geehrte Herren Vorsitzende,

in der 50. Sitzung des Europaausschusses am 03.12.2008 berichtete ich unter TOP 4:  
*„Möglichkeiten der Förderung von Forschung und Anwendung der CCS-Technologie durch  
EU- und Bundesebene“* über die Wirkungsgradentwicklung bei CCS-Technologien.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie koordiniert seit 2003 die Initiative  
COORETEC (=COO-REDuktions-TEchnologien), in dem die maßgeblichen Vertreter von  
Wirtschaft und Wissenschaft den Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die CCS-  
Technologien national koordinieren. Mein Haus ist auf der Arbeitsebene im Beirat vertre-  
ten. Dieser Beirat tagt regelmäßig, um auch den Austausch mit den zuständigen Ministe-  
rien von Bund und Ländern sicherzustellen.

Hierzu lege ich Ihnen die aktuelle

*Empfehlung  
des COORETEC-Beirates  
zur Förderung von Forschung und Entwicklung CO<sub>2</sub>-emissionsarmer Kraftwerkstech-  
nologien und CO<sub>2</sub>-Abscheide- und Speichertechnologien – Stand: 17.02.2009*

mit der Bitte um Information des Europaausschusses vor.

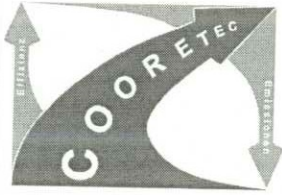
Die entscheidenden Aussagen zur Wirkungsgradentwicklung finden sich in der Abbildung auf Seite 7:

- Demnach erbringt der heutige Stand der Technik Wirkungsgrade von 43 bis 45% mit spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 730 (Steinkohle: SK) bis 930 g CO<sub>2</sub> (Braunkohle: BK) pro erzeugter kWh<sub>el</sub>. In Einzelfällen werden für Anlagen, die ab 2012 in Betrieb gehen, bereits 47 % erreicht werden.
- Bis zum Jahr 2020 wird durch die Anhebung der Frischdampftemperaturen auf 700°C ein Wirkungsgrad von 50 % erreicht werden, bei Reduktion der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 600 bis 800 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.
- Ab 2020 wird mit dem ersten Kraftwerk mit dem Stand der CCS-Technik gerechnet. Dessen spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen werden auf 80 bis 100 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>. CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerke des Jahres 2020 emittieren dann nur noch 10 % der Kraftwerke in 2008.
- Dieser technologische Emissionsgewinn kann indes nur mit Einbußen im Wirkungsgrad erreicht werden, der entsprechend auf 38 % (BK) bis 42 % (SK) sinkt.
- Die mittlere Brennstoffausnutzung sinkt deshalb absolut um 10 %, relativ um 17 %.

Schließlich erhält damit der Hinweis erhöhter Kosten auch ein klimapolitisch besonderes Gewicht. Die heute gemittelte spezifische Emission aus einem einzigen fossilen Kraftwerkspark von etwa 800 g/kWh<sub>el</sub> hätte als Fracht denselben Auswurf wie acht CCS-Kraftwerke, die indes statt einer ihrerseits acht Kilowattstunden erzeugen. Obendrein können sie im Zertifikatehandel Zertifikate veräußern, statt sie kaufen zu müssen.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Werner Marnette



COORETEC  
CO<sub>2</sub>-Reduktions-Technologien

Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

# Empfehlungen

des COORETEC-Beirates  
zur Förderung von Forschung und Entwicklung  
CO<sub>2</sub>-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien  
und CO<sub>2</sub>-Abscheide- und Speichertechnologien

BMWi  
Bonn, 17. Februar 2009

**Konzept:**

Prof. Dr. Alfons Kather, TU Hamburg-Harburg (Sprecher des COORETEC-Beirates)  
Dr. Arne Höll, BMWi (Leiter der COORETEC-Initiative)

**Redaktion:**

Mitglieder des COORETEC-Beirates:

Prof. Dr. Manfred Aigner, Universität Stuttgart  
H. Altmann, Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG  
S. Asmus, RWE Power AG  
Dr. W. Benesch, Evonik  
Prof. Dr. E. Dinjus, Forschungszentrum Karlsruhe  
Dr. J. Ewers, RWE Power AG  
B. Gericke, MAN  
Dr. P. Gerling, BGR  
Dr. D. Goldschmidt, Siemens AG  
Prof. Dr. M. Gutmann, Linde  
B. Hahn, V&M Tubes  
Dr. K. Hess, BMBF  
Dr. H. Höwener, Projektträger Jülich  
Dr. M. Käß, EnBW Kraftwerke AG  
F. Klauke, Hitachi Power  
Prof. Dr. R. Kneer, RWTH Aachen  
Dr. A. Kranzmann, BAM  
Dr. J. Kruhl, E.ON Energie AG  
R. Maaß, FDBR  
Prof. Dr. B. Meyer, TU Bergakademie Freiberg  
Prof. Dr. G. Scheffknecht, Universität Stuttgart  
Prof. Dr. F. Schilling, GeoForschungszentrum Potsdam  
A. Schimkat, ALSTOM Power Systems GmbH  
Dr. J. Seier, Projektträger Jülich  
Prof. Dr. L. Singheiser, Forschungszentrum Jülich  
Dr. K. Theis, VGB PowerTech e.V.  
Dr. N. Vortmeyer, Siemens AG

## 1. Einleitung

Der vorliegende Bericht wurde vom Beirat der COORETEC-Initiative des BMWi verfasst. Er beschreibt den gegenwärtigen Stand von Forschung und Entwicklung CO<sub>2</sub>-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien und gibt Empfehlungen für die künftige Ausgestaltung der FuE-Initiative COORETEC.

Die COORETEC-Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie wurde 2002 ins Leben gerufen. Sie ist Bestandteil des 5. Energieforschungsprogramms „Innovation und neue Energietechnologien“<sup>1</sup> der Bundesregierung. Die konkreten Grundlagen der COORETEC-Initiative<sup>2</sup> wurde im Dezember 2003 vorgestellt. Erste Projekte begannen Anfang 2004. Mit dem Leuchtturm COORETEC „Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen“<sup>3</sup> vom Juni 2007 wurden die Förderaktivitäten inklusive der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung strategisch auf das Entwicklungsziel 2020 ausgerichtet.

Im Zeitraum von Januar 2004 bis Dezember 2008 wurden im Rahmen von COORETEC insgesamt 239 Projekte mit einem bewilligten Fördervolumen von 124,5 Mio. € gestartet. Zusätzlich wurden für die Projekte ca. 95,7 Mio. € Eigen- und Drittmittel bereitgestellt. Der Schwerpunkt der Projektförderung lag auf gemeinsamen Verbundprojekten von Wirtschaft und Wissenschaft.

Von Juni bis Dezember 2008 wurde eine Begutachtung der COORETEC-Initiative durch das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart durchgeführt. Die Ergebnisse werden im ersten Quartal 2009 in einem Abschlussbericht veröffentlicht.

## 2. Energiepolitische Ausgangslage

Eine moderne Industrie-, Informations- und Dienstleistungsgesellschaft ist ohne Energie nicht vorstellbar. Ca. 40 % der Primärenergie wird in Deutschland für die Bereitstellung von elektrischem Strom eingesetzt, der an Endverbraucher wie private Haushalte oder die Industrie weitergeleitet wird. Der Hauptteil der Stromversorgung sowohl in Deutschland als auch weltweit erfolgt neben der Kernkraftnutzung auf der Basis der fossilen Energieträger Kohle und Gas. Dies wird absehbar auch mittelfristig der Fall sein, wobei sich die Anforderungen an die Energiewandlungsketten zur Stromerzeugung unter Wettbewerbsbedingungen bereits jetzt drastisch ändern. Berücksichtigt werden müssen die langfristige Verfügbarkeit fossiler Energieträger, erhöhte Anforderungen an den Emissionsschutz bezüglich treibhausrelevanter Klimagase und anderer Schadstoffe sowie die Gewährleistung einer uneingeschränkten Versorgungssicherheit auch bei stark volatiler Stromeinspeisung in die Netze.

Deutschland verfügt über eine differenzierte Struktur der Stromversorgung. Die Verteilung der Bruttostromerzeugung nach Energieträgern seit 1990 ist in Abbildung 1 dargestellt. Für das Jahr 2007 ergeben sich die folgenden Rahmendaten:

- Die Bruttostromerzeugung der Bundesrepublik Deutschland betrug 637 TWh.
- Davon wurden 145 TWh aus Steinkohle (22,8 %) und 152 TWh aus Braunkohle (23,8 %) erzeugt. Stein- und Braunkohle sind damit die wichtigsten Energieträger. Obgleich der prozentuale Anteil dieser beiden Primärenergieträger an der Gesamtstromerzeugung seit 1990 von 56,7 % auf 47,3 % im Jahr 2007 gesunken ist, blieben die absoluten Mengen der Stromerzeugung aus Kohle seit 1990 nahezu konstant.

<sup>1</sup> 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, <http://www.bmwi.de/>.

<sup>2</sup> BMWi Dokumentation 527: „Forschungs- und Entwicklungskonzept für emissionsarme fossil befeuerte Kraftwerke“, <http://www.bmwi.de/>.

<sup>3</sup> BMWi Forschungsbericht Nr. 566, <http://www.bmwi.de/>.



- Während der prozentuale Anteil der Kernenergie im Zeitraum von 1990 bis 2007 von 27,7 % auf 22,1 % abnahm, blieben die absoluten Mengen der Stromerzeugung aus Kernenergie seit 1990 nahezu konstant.
- Erdgas gewinnt weiter an Bedeutung und trägt mit rd. 12 % zur Stromerzeugung bei. Seit 1990 ist der Import von Erdgas (inklusive Endenergienutzung) um etwa 40 % gestiegen, wobei die Bezugsquellen in 2007 mit Russland 43 %, Norwegen 31 %, den Niederlanden 21 % eine geringe Diversifizierung aufweisen.
- Erdöl spielt bei der Stromerzeugung praktisch keine Rolle.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien lag 2007 bei 14 %, wobei Wind, Wasser und Biomasse zurzeit die mit Abstand wichtigsten erneuerbaren Energieträger bei der Stromerzeugung sind.
- Die Steigerung des bundesdeutschen Stromverbrauchs von ca. 1 %/a in den vergangenen 10 Jahren konnte trotz des enormen Zuwachses der regenerativen, oftmals dezentralen Stromerzeugung nur zur Hälfte durch diese gedeckt werden. Die andere Hälfte des zusätzlichen Strombedarfes wurde durch Kraftwerke bereitgestellt, die Erdgas nutzen.

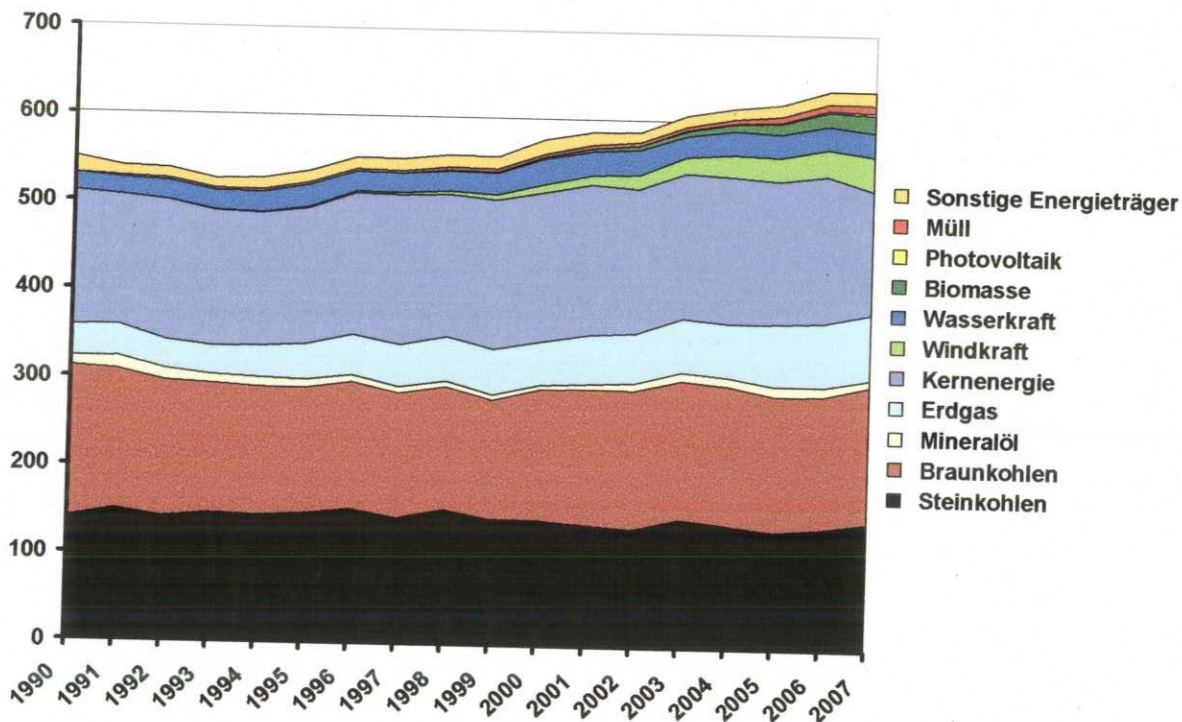


Abbildung 1 Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern in TWh (Quelle: Energiestatistik 2008, BMWi).

Die Struktur der Stromerzeugung Deutschlands wird sich in den kommenden Jahren stark verändern. Richtung und Dynamik werden vor allem bestimmt durch:

- die Liberalisierung des Strom- und Gasmarktes, die schon seit einiger Zeit zu einem stärkeren Engagement der Versorgungsunternehmen in Richtung Kostendisziplin und Wirtschaftlichkeit führt,
- die Vereinbarung der Bundesregierung mit den Energieversorgungsunternehmen vom 11. Juni 2001 zur geordneten Beendigung der Nutzung der Kernenergie, die bis spätestens 2025 einen Ersatz von rd. 20.000 MW notwendig macht,

- die Altersstruktur des gegenwärtigen Kraftwerksparks, die auf einen Ersatzbedarf einschließlich des Ersatzes der Kernenergie von rd. 40.000 MW zwischen 2010 und 2020 hinweist,
- die Zielvorgabe der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von derzeit über 14 % bis 2020 auf 25-30 % zu steigern,
- die Zielvorgabe der Bundesregierung, den Anteil der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen an der Stromproduktion von derzeit ca. 12 % bis 2020 auf ca. 25 % zu steigern, sowie
- die Regelungen des nationalen Allokationsplans zum Emissionshandel, der über den Beitrag der Stromwirtschaft zu der von der Bundesregierung angestrebten Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und der anderen treibhausrelevanten Spurengase entscheidet,
- das EU-Klimaschutzpaket,
- eine eventuelle Verschiebung der heute bestehenden und wirtschaftspolitisch sinnvollen eigenständigen Stromerzeugung ins Ausland mit der Konsequenz von Stromimporten aus regenerativen, fossilen oder auch nuklearen Primärenergieträgern.

Daraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Allein um in den nächsten 15 Jahren die Stromerzeugung aus Kernenergie zu ersetzen, müssten die jährlichen Steigerungsraten von regenerativen Energien und Erdgas in der Zukunft doppelt so hoch wie in den vergangenen 10 Jahren sein. Bezüglich des Einsatzes von Erdgas ist dabei anzumerken, dass die Stromerzeugung aus Erdgas und Öl infolge der beiden Ölkrisen der 70er Jahre in Deutschland von einem Anteil von ca. 33 % im Jahr 1975 auf ca. 8 % im Jahr 1990 reduziert wurde.
- Da ein stärkeres Ansteigen der Stromerzeugung aus Erdgas nicht ratsam erscheint und auch eine Verdoppelung der Zuwachsraten bei der regenerativen Stromerzeugung nur sehr schwer realisierbar ist, muss davon ausgegangen werden, dass - selbst bei stagnierendem Stromverbrauch - in Zukunft noch mehr Strom aus Kohle erzeugt wird als in den vergangenen 17 Jahren.
- Eine deutlich entspanntere Situation sowohl hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch hinsichtlich der Energiekosten und der Versorgungssicherheit würde sich ergeben, wenn die Laufzeit der bestehenden Kernkraftwerke verlängert würde und weiterhin auf den bewährten, breit angelegten Energiemix gesetzt würde.

Aus diesen Gründen und unter Berücksichtigung von Studien, bei denen von realistischen Randbedingungen ausgegangen wurde, kann abgeleitet werden, dass bei der Stromerzeugung in den nächsten ca. 50 Jahren weder in Deutschland noch weltweit auf den Einsatz von Kohle verzichtet werden kann<sup>4</sup>.

### **3. Empfehlungen des Beirats zu Forschung und Entwicklung**

Den künftigen Anforderungen an die Umwandlung von Kohle und Gas in elektrischen Strom unter realistischen energiepolitischen Rahmenbedingungen kann nur mit neuen Technologien begegnet werden. Dazu ist die zielgerichtete und kontinuierliche Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik notwendig, um Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit miteinander in Einklang zu bringen.

Der Beirat hebt die Entwicklung neuer Technologien als eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe hervor und begrüßt die staatliche Förderung von Forschung und Entwicklung in diesem Bereich,

<sup>4</sup> Word Energy Outlook 2008, OECD/IEA 2008.



die sich mit der Grundlagenforschung im Rahmen der institutionellen Förderung und der anwendungsorientierten Forschung im Rahmen der Projektförderung gegenseitig ergänzen.

Im Fokus der COORETEC-Initiative des BMWi stehen anwendungsorientierte Verbundprojekte von Wirtschaft und Wissenschaft, die strategisch ausgerichtet sind auf:

- Strategielinie I (Energieeffizienz): Der Prozess der Energieumwandlung muss weiter verbessert werden mit dem Ziel, Kohle und Gas so effizient wie möglich zu nutzen.
- Strategielinie II (CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung [CCS]): Das bei der Stromerzeugung entstehende CO<sub>2</sub> muss – soweit wirtschaftlich und ökologisch vertretbar – abgetrennt und abgetrennt von der Atmosphäre sicher gespeichert werden.

Der COORETEC Beirat empfiehlt, beide Strategielinien beizubehalten und sieht in ihnen signifikante Entwicklungspotenziale:

- Die Verbesserung der Energieumwandlung stellt die konzeptionelle Fortsetzung der bisherigen Forschungsschwerpunkte dar. Seit 1985 konnten die Wirkungsgrade von Dampfkraftwerken relativ um 20 % verbessert werden. Bei Dampfkraftwerken auf Basis Steinkohle werden heute Wirkungsgrade von 46 % erreicht. Sobald die gerade in der Entwicklung befindliche Braunkohletrocknung mit niederkalorischer Wärme großtechnisch umgesetzt ist, sind diese Wirkungsgrade auch bei Dampfkraftwerken auf Basis Braunkohle möglich. Im Vergleich zu alten Kohlekraftwerken emittieren neue nach dem derzeitigen Stand der Technik realisierte Kohlekraftwerke mit Wirkungsgraden von 46 % bezogen auf die erzeugte Strommenge ca. 30 % weniger CO<sub>2</sub>. Die Wirkungsgrade von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken liegen bei bis zu 59 %. Am Kraftwerksstandort Irsching soll mit dieser Technologie schon bald ein Wirkungsgrad von 60 % erreicht werden. Die Bundesregierung will durch Förderung von Forschung und Entwicklung dazu beitragen, dass die vom COORETEC-Beirat bis 2020 als erreichbar angesehenen Wirkungsgrade von ca. 50 % beim Dampfkraftwerk und ca. 62 % beim GuD-Kraftwerk realisiert werden. Um diese Ziele zu erreichen, ist es notwendig, die Prozessparameter Druck und Temperatur zu erhöhen und die Verluste über die gesamte Umwandlungskette zu vermindern. Zur Nutzung wichtiger Synergieeffekte wird eine enge Verknüpfung zwischen der Technologie- bzw. Werkstoffentwicklung und der Komponentenherstellung angestrebt.
- Analysen zeigen, dass eine Verbesserung der Wirkungsgrade der mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerke alleine nicht ausreicht, um das Ziel einer sicheren Stromversorgung mit den vorgegebenen klimapolitischen Zielen in Übereinstimmung zu bringen. Die Bundesregierung hat daher ihre Forschungsaktivitäten im Bereich „Kraftwerkstechnik“ auf die Technologien und Verfahren zur Abtrennung des CO<sub>2</sub> im Kraftwerk und seine sichere Speicherung intensiviert. Aus dem Bereich der chemischen Industrie sind Verfahren bekannt, die sich prinzipiell für eine CO<sub>2</sub>-Abtrennung am Kraftwerk eignen. Diese Verfahren besitzen aber Nachteile. Die Nachteile bestehen vor allem in Wirkungsgradeinbußen in der Größenordnung von ca. 8-12 %-Punkten (inkl. einer Verdichtung des abgetrennten CO<sub>2</sub> auf 110 bar für den Transport in Pipelines) und hohen Zusatzkosten, welche die Stromgestehungskosten deutlich erhöhen werden. Die künftigen Forschungsaktivitäten zielen auf die Minderung dieser nachteiligen Nebeneffekte.
- In Verbindung mit CCS können durch eine kombinierte stoffliche und energetische Nutzung von Kohle in Polygeneration-Kraftwerken wasserstoffreiche, flüssige und gasförmige Energieträger für stationäre und mobile Anwendungen erzeugt, und somit ein Beitrag weiterer Industriesektoren zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen erreicht werden.

Im Einzelnen sieht der Beirat folgende Schwerpunkte der Förderpolitik in COORETEC:



### I. Strategielinie Wirkungsgradverbesserung

Für das Dampfkraftwerk werden Komponenten (u. a. Kesselbauteile, Dampfturbine und Ventile) und Rohrleitungen benötigt, die auf Basis geeigneter Werkstoffe Frischdampfzustände von über 700 °C und bis zu 350 bar Druck vertragen können. Für diese Bedingungen müssen neue Auslegungskonzepte wie auch Verbindungs- und Dichttechniken erforscht werden. Das Thema Werkstofftechnik bekommt bei derartigen Temperaturniveaus und bei der geplanten bzw. auszubauenden Mitverbrennung von nachwachsenden Brennstoffen eine neue Dimension. Korrosionsmechanismen, Werkstoffalterung und mechanische Eigenschaften müssen simultan unter Arbeitsbedingungen betrachtet und optimal eingestellt werden. Neben entsprechend geeigneten Grundwerkstoffen müssen auch großflächig einfach applizierbare Korrosionsschutzschichten entwickelt werden. Die angewandte Materialforschung stützt sich hierbei auf die industrielle Forschung bei den Werkstoff- und bauteilherstellern und die institutionelle Forschung flankiert durch die COORETEC-Projektförderung (insbesondere bei der Werkstoffqualifizierung). Durch Verbesserung der Simulationswerkzeuge lassen sich die Entwicklungszyklen und -kosten deutlich senken. Dies trägt zur Senkung der Herstellungskosten bei. Die Akzeptanz der neuen Technologien hängt in starkem Maße davon ab, wie störanfällig die Technologie ist. Ein erstes derartiges Kraftwerk soll bis zum Jahr 2014 am Kraftwerksstandort Wilhelmshaven entstehen und einen Wirkungsgrad von über 50 % erreichen.

Beim Gas- und Dampfturbinenkraftwerk kommt zusätzlicher Forschungsbedarf in den Bereichen fortschrittliche Gasturbinentechnologien (Verdichter, Brennkammer, Turbine) und optimierte Anlagenintegration hinzu. Um die höheren Wirkungsgrade zu erzielen, ist die Turbineneintrittstemperatur deutlich anzuheben. Dafür müssen neue Brennersysteme entwickelt werden, welche auch bei höherer Brennstoffflexibilität oder Abgasrückführung besonders niedrige Emissionen und erweiterte Stabilitätsgrenzen aufweisen. Weiterhin gilt es, neue Hochtemperatur-Schichtsysteme zu entwickeln, den Kühlluftbedarf mit neuen Kühlkonzepten zu reduzieren und die aerothermodynamischen Eigenschaften der Turbokomponenten, auch im Teillastbereich, zu verbessern. Aufgrund stetig steigender Anforderungen hinsichtlich Flexibilität sind Wechselwirkungen von Wirkungsgrad, Lebensdauer, Emissionen und Lastwechselfähigkeit zu untersuchen und in künftige Auslegungskonzepte zu integrieren.

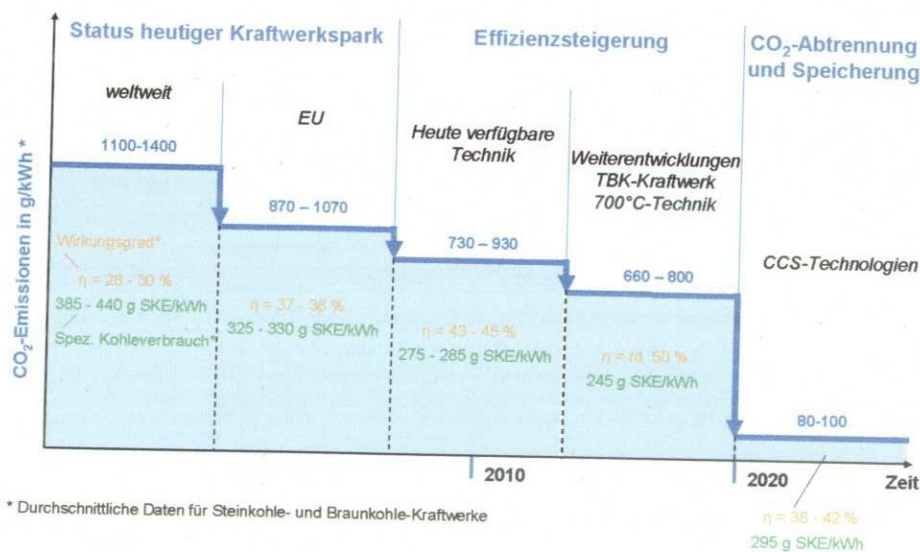




Abbildung 2: CO<sub>2</sub>-Reduzierung bei kommerziellen Kohlekraftwerken durch Wirkungsgradsteigerung und CCS

Für die Effizienzsteigerung in der Stromversorgung insgesamt sind auch Optimierungen erforderlich, die eine flexible Einsatzweise der Kraftwerke ermöglicht. Angesichts der Herausforderungen einer verstärkten Windenergienutzung geht es vor allem um geeignete Netz- und Speichertechnologien, mit welcher der Windstrom bedarfsgerechter gestaltet und die konventionellen Kraftwerke optimal ausgelastet werden könnten

## II. Strategielinie CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Speicherung

In der COORETEC-Initiative werden drei technologische Linien bei der CO<sub>2</sub>-Abtrennung verfolgt:

- (1) Beim ersten Verfahren, dem sogenannten **Post Combustion Capture Verfahren**, handelt es sich bevorzugt um eine Rauchgaswäsche mit einem chemischen Absorptionsmittel bzw. alternativ auch um eine trockene CO<sub>2</sub>-Adsorption bei höheren Temperaturen, welche einem konventionellen fossil befeuerten Kraftwerk nachgeschaltet wird. Bei den nasschemischen Wäschen sind weitere Effizienzsteigerungen vor allem durch die Weiterentwicklung des eingesetzten Lösungsmittels zu erwarten. Ein wichtiges Forschungsziel dabei ist auch die Verbesserung der Stabilität dieser Lösungsmittel gegenüber Abbauprozessen infolge chemischer Reaktionen mit im Rauchgas vorhandenen Bestandteilen. Weitere Schlüsselbereiche der Forschung und Entwicklung bei den Post Combustion Capture Verfahren sind die Prozessintegration und die Optimierung für die Anwendung in Großkraftwerken. In ferner Zukunft könnten auch Adsorption, Kryogen- oder Membrantechnologien für die Post Combustion Capture Verfahren interessant werden.
- (2) Um den ursprünglich großen energetischen Nachteil der Post Combustion Capture Verfahren zu vermeiden, wurde das **Oxyfuel-Verfahren** entwickelt. Auch dieses basiert auf dem seit vielen Jahrzehnten bekannten Dampfkraftprozess, der in allen kohlegefeuerten Anlagen zur Stromerzeugung realisiert ist, jedoch wird für das Oxyfuel-Konzept eine Luftzerlegungsanlage benötigt. Der hohe Energieverbrauch bei der kryogenen Luftzerlegung erfordert zum einen eine signifikante Weiterentwicklung dieses Verfahrens und zum anderen die Entwicklung alternativer Methoden der Sauerstoffherstellung z. B. mit Hilfe der Membrantechnologie oder dem Chemical Looping Verfahren. Ein weiteres Ziel der Forschung ist die Optimierung des Verbrennungsprozesses mit Sauerstoff und rezirkuliertem Rauchgas. Darüber hinaus besteht Forschungsbedarf in Bezug auf die Beeinflussung der Verunreinigungen im CO<sub>2</sub>-reichen Rauchgas, welche auf die Verträglichkeit der Speicher- und Barrieregesteine im Untergrund abgestimmt sein muss. Auch beim Oxyfuel-Verfahren spielt die Prozessintegration der Einzelkomponenten eine wichtige Rolle, um die Technologie großtechnisch anwendbar machen zu können.
- (3) Die dritte Konzeptlinie zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung, das sogenannte **Pre-Combustion Verfahren**, basiert auf einem Gas- und Dampfturbinen-Kombiprozess, dem eine **Kohlevergasung** vorgeschaltet ist (**IGCC**). Das nach dem Vergaser und dem ihm nachgeschalteten Shiftkonverter vorliegende Synthesegas besteht im Wesentlichen aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>. Die CO<sub>2</sub>-Abtrennung kann auf relativ einfache Weise mit Hilfe eines physikalischen Absorptionsverfahrens vorgenommen werden, sodass anschließend nahezu reiner Wasserstoff als Brenngas für eine Gasturbine vorliegt. Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt muss daher sein, brennstoffflexible, zuverlässige und zugleich schadstoffarme Gasturbinen für solche H<sub>2</sub>-reichen Synthesegase zu entwickeln. Wie bei den anderen Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung besteht auch hier ein Bedarf nach Prozessoptimierung. Ein weiterer wesentlicher Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich



mit der Verbesserung der Verfügbarkeit und der Effizienz des Basisprozesses der Synthesegaserzeugung (Vergasung, Gasreinigung und –konditionierung, Wärmeintegration). Bei der Trennung von CO<sub>2</sub> und Wasserstoff könnten Fortschritte bei der Membrantechnologie einen Beitrag zur Effizienzsteigerung und Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens leisten. Der IGCC-Prozess bietet als einzige CCS-Linie mit der Schlüsseltechnologie der Kohlevergasung die Möglichkeit, Kohle gleichzeitig auch stofflich nutzen zu können. Er verbindet also Klimavorsorge und Versorgungssicherheit in besonderer Weise. Deshalb sind Forschungsanstrengungen in Richtung der separaten oder parallelen Erzeugung wasserstoffreicher, gasförmiger und flüssiger Energieträger sowohl für die Chemische Industrie als auch den Mobilitätssektor erforderlich (Stichwort Polygeneration). Die Fortentwicklung der IGCC-Technologie kann in so genannte Hybridkraftwerke münden, bei denen der GuD-Prozess mit der Brennstoffzellentechnik kombiniert wird.

Aus Sicht des Beirates lässt sich heute noch nicht abschätzen, welche dieser drei CO<sub>2</sub>-Abtrenntechnologien sich unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchsetzen wird. Neue Prozessansätze zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung sollten regelmäßig identifiziert und analysiert werden, um bei entsprechenden Voraussetzungen in die Förderprogramme aufgenommen zu werden. Generell gilt es, alle Technologielinien zu entwickeln, um die gesteckten Ziele der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung zu erreichen und somit für eine nachhaltige Stromerzeugung zu sorgen.

Vervollständigt wird die Strategielinie CCS durch die Prozessschritte CO<sub>2</sub>-Transport und –Speicherung. Der nachhaltig sicheren geologischen Speicherung von CO<sub>2</sub> kommt vor dem Hintergrund der erheblichen anfallenden CO<sub>2</sub>-Mengen eine wichtige Funktion zu, da andere Technologien in absehbarer Zeit noch nicht großtechnisch zur Verfügung stehen. Nach den erfolgversprechenden Pilotversuchen zur geologischen Speicherung in salinen Aquiferen (z.B. CO<sub>2</sub>SINK in Ketzin) müssen die Technologien im nächsten Schritt auf größere Demoanlagen ausgeweitet werden. Dabei stehen geologische Speichermöglichkeiten in nahezu leergeförderten Erdgasfeldern ebenso wie in größeren salinen Aquiferen im Mittelpunkt. Durch die unterschiedlichen Abtrenntechnologien entstehen CO<sub>2</sub>-reiche Gase unterschiedlicher Qualität. Ein detailliertes Verständnis der Wechselwirkungen mit dem Untergrund der verschiedenen Gase ist dabei wesentlich für die langzeitsichere Verwahrung des CO<sub>2</sub>. Auch ist eine detailliertere Kenntnis der vorhandenen „Off- und On-Shore“ Speicherpotentiale für strategische Entscheidungen von großer Bedeutung. Für die Überwachung der Speicher müssen geeignete Monitoring Technologien entwickelt und weiterentwickelt werden, um neben der Aufsuchung geeigneter Speicher die Überwachung während und nach Abschluss der Injektion sicherstellen zu können. Die Entwicklung langzeitsicherer Verschlüsse der geologischen Speicher ist für die Speicherung von großer Wichtigkeit.



## WAS IST DIE CCS-TECHNOLOGIE?

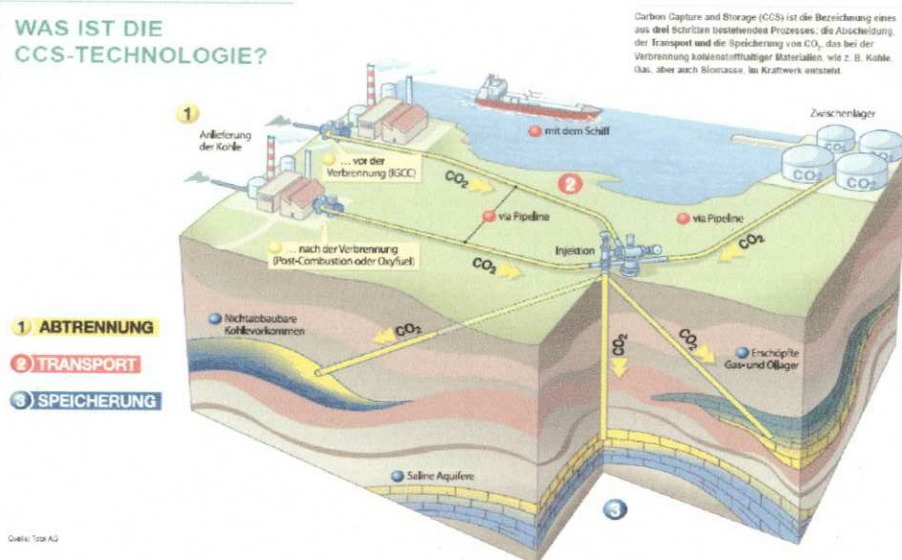


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (Quelle: Total)

Neben der unterirdischen Speicherung des CO<sub>2</sub> sollten auch Konzepte und Prozesse der alternativen Nutzung und Umwandlung von CO<sub>2</sub> entwickelt werden. Dazu können u. a. die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Kohlenstoffträger in der chemischen Industrie mit neuen Reaktionswegen und neuen Produkten, die technische Photosynthese, technische Nutzung von CO<sub>2</sub> als Kühl- und Kältemittel, CO<sub>2</sub>-Nutzung zur Biomasseproduktion (z. B. Algen) gehören. Vieles bewegt sich im Grundlagenstadium. Diese zur geologischen Speicherung alternativen Themenfelder sollten schwerpunktmäßig durch die Bundesregierung vorangetrieben und in enger Abstimmung mit der COORETEC-Initiative verfolgt werden. Die Verzahnung der COORETEC Aktivitäten zur Speicherung von CO<sub>2</sub> mit dem BMBF GEOTECHNOLOGIEN Programm werden durch gemeinsame Tagungen und Abstimmung der Forschungsaktivitäten sichergestellt.

## 4. Weitergehende Empfehlungen

Der COORETEC-Beirat schlägt über eine Ausweitung der Forschungsaktivitäten im Rahmen der COORETEC-Initiative hinaus vor allem eine massive nationale Förderung der ersten nicht kommerziellen CCS-Demonstrationsanlagen - begleitend zu den Förderinitiativen der Europäischen Kommission - vor, um die Realisierung der CCS-Technologien in dem von der Politik und der Industrie angestrebten Zeithorizont überhaupt möglich zu machen. Diese Fördermittel sollten aber ebenso für kleinere Pilotanlagen zu einer übergreifenden Begleitforschung zur Verfügung gestellt werden.

Eine entscheidende Randbedingung für die weitere Entwicklung und die Einführung der CCS-Technologie ist die Schaffung der gesetzlichen und politischen Grundlagen für den Pipelinetransport und die unterirdische Speicherung des CO<sub>2</sub>. Der Beirat spricht sich für ein zügiges Vorgehen aus, um notwendige Planungssicherheit zu gewährleisten. Dennoch muss bereits der Gestaltung der Diskussion um die Akzeptanz von CCS in der Öffentlichkeit hohe Aufmerksamkeit entgegengebracht werden. Aufgrund der teilweise bereits in der Demonstrationsphase gegebenen regionalen Betroffenheit muss hierzu begleitend eine aktive Information der Öffentlichkeit durch Politik und Wirtschaft erfolgen.

Begrüßt wird der zweigleisige Ansatz der Bundesregierung, die parallel zum laufenden europäischen Prozess an einer Umsetzung der CCS-Richtlinie in nationales Recht arbeitet.

Eine Verzahnung der COORETEC-Initiative mit angrenzenden Entwicklungsschwerpunkten, die Gegenstand von Forschung und Entwicklung anderer Förderinitiativen sind und wichtige Rückkopplungen auf die COORETEC-Entwicklungen haben, wird als wichtig erachtet. Beispiele hierfür sind das GEOTECHNOLOGIEN Programm des BMBF, Stromspeichertechnologien, der Ausbau von Stromnetzen oder die Nutzung erneuerbarer Energieträger, wie z.B. Biomasse.