

# Der deutsche Weg zur Smart Power Generation



**KRAFTWERK  
FORSCHUNG**

COORETEC steht für zehn Jahre erfolgreicher Forschung und Entwicklung in Richtung effizienter und emissionsarmer Stromerzeugung aus fossilen Energiequellen. In circa 500 Forschungsvorhaben wurden mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie in Höhe von rund 260 Millionen Euro für alle relevanten Themen Lösungen erarbeitet. Dieses Engagement hat dazu beigetragen, dass die deutsche Industrie auf dem Gebiet innovativer Kraftwerkstechnik an der Weltspitze steht.

Das Akronym COORETEC steht für CO<sub>2</sub>REDuktionsTEchnologien. Die COORETEC-Initiative wurde 2002 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie initiiert. Seit 2004 wurden im Rahmen dieser Initiative Forschungsvorhaben angestoßen und gefördert. COORETEC ist ein integraler Teil des Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung und der Strategie zur Steigerung der Energieeffizienz.

Zu Beginn lag der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten auf der Optimierung der Wirkungsgrade und der Minimierung der Emissionen, bis hin zur energieeffizienten und kostengünstigen Abtrennung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage, CCS).

Durch die Energiewende wurden zusätzliche Themen prioritär: Konventionelle Kraftwerke sollen verzögerungsfrei und zu vertretbaren Kosten die Residuallast zwischen erneuerbarer Energiebereitstellung und der Energienachfrage decken. Hierzu sind Betriebs- und Brennstoffflexibilität, niedrige Mindestlast und schnelles Lastfolgeverhalten bei gleichzeitigem Erhalt eines hohen Wirkungsgrades und einer langen Lebensdauer gefragt.

Das Spektrum der Forschungsarbeiten reicht von grundlagen-orientierten Arbeiten, wie der Erforschung von Membranen und der Weiterentwicklung geeigneter Materialien bis hin zu Testanlagen im Pilot-Maßstab wie CO<sub>2</sub>-Wäschen oder Vergasungsanlagen.

Moderne Kraftwerkssysteme benötigen an den Wandel der Energieversorgung angepasste Turbomaschinen (Turbinen und Kompressoren). Diese werden innerhalb von COORETEC, durch die Arbeitsgemeinschaft Turbo, in zahlreichen Vorhaben weiterentwickelt.

COORETEC  
ist eine Initiative des

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)

## Gas- und Dampfkraftwerke fit für den flexiblen Betrieb



In den Anfangsjahren von COORETEC war die Entwicklung auf eine Erhöhung des Wirkungsgrades ausgerichtet. Daraus resultierte für Dampfkraftwerke einerseits die Entwicklungslinie des 700 °C-Kraftwerks und andererseits die externe Kohletrocknung für heimische Braunkohlen mit hohem Wassergehalt. Zur Erprobung der Braunkohletrocknung gehörte auch die Entwicklung von Verbrennungslösungen bei veränderten Brennstoffeigenschaften.

Die Forschungsarbeiten entwickelten auch innovative Werkstofflösungen, häufig auf Grundlage sogenannter Nickelbasis-Werkstoffe. Dabei standen Fragen zur Qualifikation, zum regelwerkskonformen Einsatz dieser Werkstoffe sowie zu ihrer Verarbeitung im Vordergrund. Ebenso war die Überwachung der Kraftwerke durch eine Beurteilung der Lebensdauer oder des Zustandes Gegenstand vieler Forschungsvorhaben. Für Gas- und Dampfturbinenkraftwerke galt es, höhere Prozessparameter von Temperatur und Druck materialseitig zu beherrschen.

Mit der Energiewende veränderten sich die Schwerpunkte. Durch die Integration erneuerbarer Energien mit ihrer fluktuierenden Erzeugungsstruktur sind zunehmend hochflexible Kraftwerkslösungen zur Abdeckung der Residuallasten gefragt. Kurze Anfahrzeiten, hohe Laständerungsgeschwindigkeiten und geringe Mindestlasten sind Kriterien, die unter anderem

durch innovative Werkstofflösungen erfüllt werden, wie sie für das 700 °C-Kraftwerk entwickelt wurden. Auch die Trockenbraunkohle eröffnet durch eine verbesserte Mindestlastfähigkeit vielversprechende Möglichkeiten.

Neue Forschungsschwerpunkte sind außerdem die Integration von Wärmespeichern in bestehende Kraftwerke sowie die Mitverbrennung von biogenen Brennstoffen. Darüber hinaus bieten sich Druckluftspeicherkraftwerke als Energiespeicherlösung an. Eine sogenannte adiabate Konzeptvariante wurde bereits in einem Forschungsprojekt untersucht.

Um künftig thermische Kraftwerke unter der Randbedingung der Energiewende weiter zu optimieren, entwickeln Forscher innerhalb der COORETEC-Initiative innovative Gesamtkonzepte und verbessern Komponenten. Dabei nutzen sie die Möglichkeiten neuer Fertigungsverfahren, optimierter Prozessführung sowie neuartiger Werkstofflösungen.

## Turbomaschinen mit internationaler Spitzenleistung



Seit über 25 Jahren ist die AG Turbo die deutsche Plattform für innovative Forschung an Turbomaschinen. In ihr stimmen sich die entscheidenden Partner aus der Industrie sowie der Hochschulen und Forschungszentren ab und betreiben vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte Verbundforschung. Sie entwickeln insbesondere Turbomaschinen für die Energieumwandlung in

Dampf-, Gas- und Kombikraftwerken sowie für die Abspaltung und den Transport des Treibhausgases CO<sub>2</sub>.

Damit trägt die AG Turbo kontinuierlich und entscheidend zur Erreichung der gesteckten Ziele hinsichtlich Effizienz der Kraftwerksprozesse, Ressourcenschonung und Klimaschutz bei. Mit ihrer Arbeit unterstützt sie maßgeblich die nationale und internationale wirtschaftliche Stärke der deutschen Turbomaschinenindustrie.

Turbomaschinen leisten als Kernkomponenten vor allem im Hinblick auf Effizienz und Flexibilität der Stromerzeugung im Verbund mit regenerativen Energien einen unverzichtbaren Beitrag für die Energiewende. Die AG Turbo wird mit dem neu aufgesetzten Fünfjahresprogramm COOREFLEX-turbo einen wichtigen Beitrag im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms leisten. Sie ist eingebunden in das Kraftwerks-

forschungsprogramm COORETEC. Mit zahlreichen Projekten verfolgt sie die Weiterentwicklung der Turbomaschinen für eine sichere, umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung unter verstärkter Einbindung der erneuerbaren Energien. Dabei werden die deutlich erhöhten Anforderungen an die Flexibilität der Kraftwerke berücksichtigt.

Die enge Kooperation der Partner aus Forschung und Industrie gewährleistet die optimale Nutzung der fachlichen und finanziellen Ressourcen, erzeugt Synergien zwischen Trieb- und Kraftwerkstechnologien und vermeidet Doppelentwicklungen. Durch Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf unterschiedlichen Gebieten der Ingenieurwissenschaften trägt sie dazu bei, dass Deutschland auf dem zukunftssträchtigen Gebiet der Turbomaschinen auch weiterhin eine Spitzenposition im internationalen Wettbewerb einnimmt.

## Materialforschung legt Basis für Effizienz und Stabilität

Die Forschung an neuen Werkstoffen ist zentraler Bestandteil aller COORETEC Arbeitsgruppen und der Arbeitsgemeinschaft Turbo. Denn zur Steigerung von Wirkungsgraden und für neue Kraftwerkstechniken spielen hochwärmefeste metallische Strukturwerkstoffe, Korrosionsschutzschichten und keramische Wärmedämmschichten eine zentrale Rolle. So wurden Korrosions-

schutz- und Wärmedämmschichtsysteme entwickelt, die dazu beitragen, Wirkungsgrade von über 60 Prozent bei kombinierten GuD-Kraftwerken zu realisieren.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert die Steigerung der Lastflexibilität von Kraftwerken. Dafür optimierten Forschungspartner in der COORETEC-Initiative Werkstoffe mit hinreichender Ermüdungs-

festigkeit bei überlagertem Kriechen. Außerdem erweitern sie die Kenntnis der Schädigungsentwicklung und verbessern die Korrosionsbeständigkeit. Für längere Stillstandszeiten von Kraftwerken sind die heute eingesetzten Stähle nur bedingt geeignet. Daher werden martensitische und austenitische Stähle mit höherem Chromgehalt qualifiziert und entwickelt.



## Innovative Kraftwerksprozesse heben Wirkungsgrad



Die Vergasung kohlenstoffhaltiger Energieträger bietet das Potenzial zur Wirkungsgradsteigerung bei der Stromerzeugung in Kombikraftwerken mit integrierter Vergasung (Integrated Gasification Combined Cycle, kurz: IGCC). Die erfolgreiche Kommerzialisierung solcher IGCC-Kraftwerke in

Deutschland erfordert weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten hinsichtlich der eingesetzten Komponenten und Technologien. Die inhärente Möglichkeit zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung bei der Aufbereitung des Vergasungsproduktes (Pre-Combustion-Capture) und die hohe Brennstoffflexibilität sind weitere Vorteile dieses Kraftwerkstyps.

Parallel zur vergasungsbasierten Stromerzeugung kann das Vergasungsprodukt auch für die Erzeugung flüssiger und gasförmiger Treibstoffe und Einsatzstoffe für die (petro-)chemische Industrie genutzt werden (Polygeneration). Derartige innovative Anlagenkonzepte zeichnen sich durch ein enormes Potenzial hinsichtlich der Produkt- und Lastflexibilität aus. Solche Anlagen könnten zudem im Falle von regenerativem Überschussstrom elektroly-

tisch gewonnenen Wasser- und Sauerstoff in die Prozesskette einbinden. Bei der Integration in bestehende Kraftwerksinfrastruktur bestehen weitere Synergiepotenziale hinsichtlich Betriebsflexibilität und Investitionsaufwand.

Auf Basis eines stetig erweiterten Grundlagenverständnisses werden in Forschungsprojekten der Wirkungsgrad und die Flexibilität erhöht sowie die Emissionen gesenkt. Außerdem gelingt es durch Prozessvereinfachungen, die Verfügbarkeit der Anlagenteile zu erhöhen. Daneben sind neue Prozesskonzepte mit deutlich reduzierten Investitionskosten zu entwickeln. Die Erprobung von Schlüsseltechnologien als Vorstufe zur Kommerzialisierung in Deutschland bleibt dabei nach wie vor ein entscheidender Schritt.

## Weltweite Emissionen mindern durch CO<sub>2</sub>-Abscheidung



Aufgrund der prognostizierten weltweit steigenden Nutzung von Kohle und Gas zur Stromerzeugung werden die vereinbarten

CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungsziele nur dann eingehalten, wenn das in der Stromerzeugung, aber auch in anderen Industrien, wie Stahl- und Zementwerken, verursachte CO<sub>2</sub> abgeschieden wird. Durch Speicherung im Untergrund oder stoffliche Nutzung kann es dauerhaft aus der Atmosphäre fern gehalten werden.

Die COORETEC-Initiative hat die Erschließung von CCS für die deutsche Wirtschaft angestoßen und vorangetrieben. Dadurch nahm Deutschland auf diesem Forschungsgebiet bald eine führende Rolle ein.

Forschungsprojekte haben Lösungen für die drei grundlegenden Konzeptlinien zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung – Oxyfuel, Post-Combustion und Pre-Combustion – erarbeitet:

So wurde die weltweit erste größere Oxyfuel-Versuchsanlage mit 30 Megawatt thermischer Leistung in Deutschland am Kraftwerk Schwarze Pumpe errichtet. Damit wurde der Prozess erstmalig in vollem Umfang über fünf Jahre betrieben und untersucht. Aus den intensiven Arbeiten zum Post-Combustion-Capture wurden unter anderem

neue Waschlösungen und innovative Prozesse entwickelt. In diversen Versuchsanlagen, zum Beispiel in den Kraftwerken Staudinger, Niederaußem, Wilhelmshaven und Heilbronn, werden die gewonnenen Erkenntnisse unter realen Bedingungen erprobt. Andere Forschungsprojekte haben neue Verfahrensvarianten wie das Carbonate Looping oder innovative Membrane zur Gastrennung analysiert und getestet. Forschungsvorhaben zum Pre-Combustion-Capture-Verfahren haben eine vollständigen Studie eines Gesamtkraftwerks erstellt.

Die Betrachtung der gesamten CCS-Prozesskette erfolgte in weiteren COORETEC-Projekten. Erste Aussagen zur notwendigen CO<sub>2</sub>-Reinheit konnten gemacht werden, um Korrosionsprobleme in der Pipeline und in der Injektionsleitung zu vermeiden. Zudem wurden die Auswirkungen von Verunreinigungen in CO<sub>2</sub>-Lagerstätten betrachtet. Jüngste Arbeiten untersuchen zudem Fragen der Anlagenflexibilität und die Besonderheiten beim Einsatz von CCS im Gas- und Dampf-Prozess.

## CO<sub>2</sub> unterirdisch speichern

Die Forschung zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in geeigneten geologischen Formationen im tiefen Untergrund dient einem verbesserten Prozessverständnis. Dadurch können Fragen nach der Langzeitsicherheit einer geologischen Speicherung beantwortet werden. Die Forschungsförderung erfolgt in bewährter Zusammenarbeit zwischen dem GEOTECHNOLOGIEN-Programm des Bundesmi-

nisteriums für Bildung und Forschung und der COORETEC-Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Sichtbares Beispiel dieser gemeinsamen Förderung ist der einzigartige Pilotstandort zur CO<sub>2</sub>-Speicherung im brandenburgischen Ketzin. Von 2008 bis 2013 wurden circa 67.000 Tonnen CO<sub>2</sub> erfolgreich in einen tiefen Sandsteinhorizont eingespei-

chert. Dieser Injektionsstandort durchläuft alle Phasen einer CO<sub>2</sub>-Speicherung von der Erkundung und Einrichtung über den Betrieb bis zur Stilllegung.

Forschungsprojekte um diesen Standort befassen sich besonders mit dem Verhalten und der Ausbreitung von CO<sub>2</sub> im tiefen Untergrund und den Sicherheits-Aspekten.

## Effiziente Kraftwerke garantieren Versorgungssicherheit



Der Anteil an fluktuierender Stromerzeugung aus Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen, der im Jahr 2013 in Deutschland circa 13 Prozent betrug, wird in den nächsten Jahren noch deutlich zunehmen. Die infolge von Windstille und nicht vorhandener Sonneneinstrahlung resultierende Minderleistung aus solchen Anlagen wird schon heute in Form einer hochflexibel zur Verfügung gestellten Residuallast insbesondere von Kohle- und Gaskraftwerken gedeckt. Die Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität der fossil befeuerten Kraftwerke bei der Abdeckung der Residuallast werden zunehmen. Neben der Effizienzsteigerung des bestehenden und zukünftigen Kraftwerksparcs sollen daher die bereits begonnenen Forschungen auf dem Gebiet der Flexibilität von Kraftwerken vertieft und um das Optimieren des An- und Abfahrvorgangs erweitert werden.

Aus den genannten Gründen wird auch in absehbarer Zeit noch ein erheblicher Teil des deutschen Stromverbrauchs mit fossil befeuerten Kraftwerken erzeugt. Weltweit nimmt die Nutzung von fossilen Energieträgern, vor allem Kohle, sogar zu. Daher wird von der COORETEC-Initiative weiter an den CO<sub>2</sub>-Abscheideverfahren und am CO<sub>2</sub>-Transport geforscht. In Deutschland ist bei starkem Wind und hoher Sonneneinstrahlung auch heute schon das Stromangebot größer als die Nachfrage. Dann wird der überschüssige Strom mit negativen Preisen unter anderem an Nachbarländer abgegeben. Derartige Situationen werden mit dem weiteren Ausbau der fluktuierenden Stromerzeugung zunehmen. Mit Hilfe von Energiespeichern soll diesem Effekt entgegengewirkt werden. Ein zukünftiger Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in COORETEC wird daher auch auf dem Gebiet der Untersuchung von Speichermöglichkeiten im Bereich der fossil befeuerten Kraftwerke liegen. Beim weiteren Ausbau der fluktuierenden regenerativen Stromerzeugung sorgen fossil befeuerte Kraftwerke insbesondere für die Versorgungssicherheit und dämpfen den Anstieg der Stromgestehungskosten. Dies leisten sie sowohl mit der Abdeckung der Residuallast als auch mit der Speicherung von Überkapazitäten.

## Ansprechpartner

- » **Vorsitzender des COORETEC-Beirates:** Prof. Dr. Alfons Kather, Technische Universität Hamburg-Harburg
- » **Sprecher der AG Effiziente Gas-, Kombi- und Dampfkraftwerke:** Prof. Dr. Manfred Aigner, DLR, Günter Heimann, Vattenfall, Prof. Dr. Günter Scheffknecht, Universität Stuttgart, Armin Schimkat, Alstom
- » **Sprecher der AG Vergasung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern:** Dr. Dietmar Keller, RWE, Prof. Dr. Bernd Meyer, Technische Universität Bergakademie Freiberg
- » **Sprecher der AG CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Transport:** Prof. Dr. Alfons Kather, Technische Universität Hamburg-Harburg, Dr. Peter Radgen, E.ON
- » **Sprecher der AG CO<sub>2</sub>-Speicherung:** Sven Asmus, RWE, Prof. Dr. Frank Schilling, Karlsruher Institut für Technologie
- » **Vorsitzender der AG Turbo Programmleitung:** Dr. Dirk Goldschmidt, Siemens

## Links

- » [www.KraftwerkForschung.info](http://www.KraftwerkForschung.info)
- » [www.cooretec.de](http://www.cooretec.de)
- » [www.ag-turbo.de](http://www.ag-turbo.de)

## Impressum

**Förderung**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin  
**Projekträger Jülich**  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Hermann Stelzer  
52425 Jülich

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Redaktion**  
Christina Geimer

**Urheberrecht**  
Titelbild: RWE

Innenteil: Alstom, MAN Diesel & Turbo SE,  
IEC der TU Bergakademie Freiberg, RWE

Rückseite: Vattenfall

## Kontakt · Info

**FIZ Karlsruhe GmbH**  
Büro Bonn  
Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn

Tel.: 0228-923790  
sekrariat@bime.info

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation  
ist nur mit Zustimmung der Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages