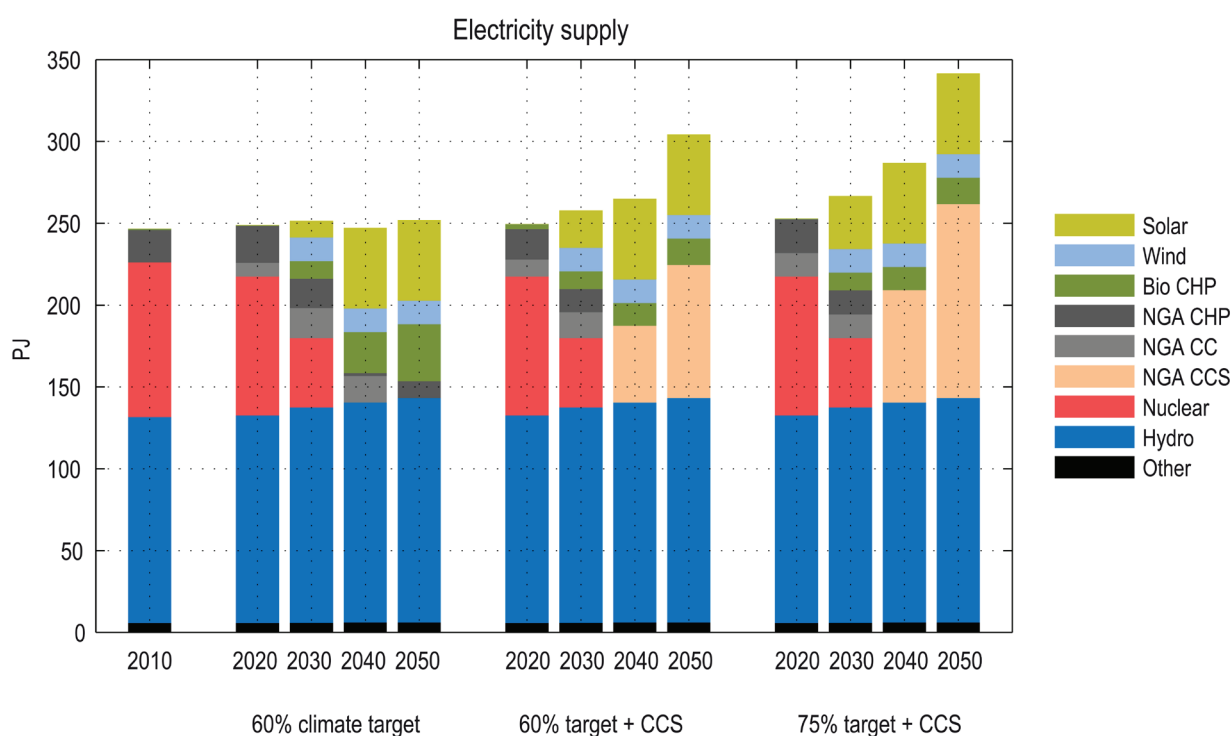


Überblicksbericht 2012

# Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 und Carbon Capture & Storage (CCS)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN

**Titelbild:****Gaskraftwerke (mit/ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung) sind ein ökonomisch sinnvoller Bestandteil zukünftiger Kraftwerksparks in der Schweiz**

In einer kostenoptimierten Analyse zukünftiger Energieszenarien für die Schweiz spielen Gaskraftwerke (sowohl ohne (NGA CC), als auch mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung (NGA CCS)) eine nicht unbedeutende Rolle. Insbesondere wenn CO<sub>2</sub>-Abscheidetechniken (Carbon Capture and Storage, CCS) spätestens ab 2030 verfügbar sind, können Gaskraftwerke mit CCS einen signifikanten Beitrag für die Stromerzeugung in der Schweiz leisten.

**BFE Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 und Carbon Capture & Storage (CCS)**

Überblicksbericht 2012

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

**Programmleiter BFE (Autor):**

Dr. Peter Jansohn, Paul Scherrer Institut (PSI) (peter.jansohn@psi.ch)

**Bereichsleiter BFE:**

Dr. Gunter Siddiqi (gunter.siddiqi@bfe.admin.ch)

<http://www.bfe.admin.ch/forschungskraftwerk>

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Einleitung

Mit der im Jahr 2012 angekündigten Energiestrategie der Schweiz für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 wird die Schweiz ab etwa 2035 ihren Strombedarf ohne Kernkraftwerke bereitstellen müssen. Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Stromimportverträgen und die sukzessive Abschaltung der bestehenden nuklearen Kraftwerksanlagen zeichnet sich allenfalls auch bei einem massiven Zubau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten für den Zeitraum um das Jahr 2020 ein Engpass in der Stromversorgung ab. Um diese vorhersehbare Versorgungslücke zu schliessen, sind zusätzliche Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen zu leisten (rationelle Stromverwendung, dezentrale Kraft-/Wärme-Kopplung, Ersatz von Stromerzeugungskapazitäten usw.). Eine wichtige Option für die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz (insbesondere in der Funktion als «Brückentechnologie» für die Jahrzehnte 2020–2050) stellen Kombi-Kraftwerke auf Erdgas-Basis dar, die aufgrund ihrer für thermische Kraftwerke hohen Effizienz, ihres niedrigen Schadstoffausstosses und ihrer hohen betrieblichen Flexibilität kurz-/mittelfristig in der Stromerzeugung und der Stabilisierung der Stromversorgung von grosser Bedeutung sind. Diese

Kraftwerkstechnik ist auch deshalb für die Schweiz von besonderem Interesse, weil Schweizer Industriefirmen und Forschungsorganisationen in der Weiterentwicklung dieser Technologie führend tätig sind und sich somit ein hohes Umsetzungspotenzial sowohl in der Schweiz als auch weltweit bietet.

Um auch die klimapolitischen Zielsetzungen der Schweiz zu erfüllen, sind bei einem zusätzlichen Einsatz von Erdgas für die Stromerzeugung flankierende Massnahmen zu ergreifen, die gewährleisten, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem gesamten schweizerischen Energiesystem wie beabsichtigt drastisch gesenkt werden können. Die Prozessführung des Kraftwerks ist so zu gestalten, dass alternative (kohlenstoffarme) Brennstoffe eingesetzt werden können und CO<sub>2</sub> ganz oder teilweise abgeschieden werden kann und nicht in die Atmosphäre gelangt. Auch die Strategie der Kombination von modernen, effizienten Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Wärmepumpen muss weiterhin verfolgt und umgesetzt werden.

Das Programm *Gas- und Dampf-Kraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung (Kraftwerk 2020)* umfasst deshalb all diese Themenbereiche (Effizienz in der Stromer-

zeugung, CO<sub>2</sub>-Minderung, flexible/abrufbare Betriebsweisen) wobei Prozesse ausserhalb des eigentlichen Kraftwerks, wie z. B. die externe Brennstoffaufbereitung zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung und die CO<sub>2</sub>-Lagerung und (wo möglich) CO<sub>2</sub>-Wiederverwendung (zusammengefasst unter dem Begriff «Carbon Capture, Use and Storage» CCUS) integraler Bestandteil des Programms sind.

Aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens kann das Programm aber nur einen signifikanten Beitrag leisten, indem eine starke Fokussierung auf einzelne Schlüsselkomponenten (wie z. B. Kompressoren, Turbinen, Generatoren) und Schlüsseltechnologien (Turbomaschinen-Aerodynamik, Hochdruck-Verbrennung, Wärmeübertragung/Kühlung) erfolgt.

Um der zeitlichen Zielsetzung des Forschungsprogramms gerecht zu werden, im Jahre 2020 die notwendigen Technologien einsatzbereit entwickelt zu haben, müssen die dazu erforderlichen Basistechnologien spätestens im Jahr 2015 verfügbar sein. Die Konzentration der Programm-Aktivitäten auf Schlüsselgebiete der Dampf- und Gasturbinentechnik inkl. Generatoren ist auch aus diesen zeitlichen Aspekten heraus erforderlich.

IEA Klassifikation:

1.1 Industry

Schweizer Klassifikation:

1.9 Kraftwerk 2020 und CCS

## Programmschwerpunkte

Ein wesentliches Ziel des Programms ist es, durch Bündelung der Aktivitäten und durch Koordination der Ausrichtung individueller Projekte zu einer Stärkung des Forschungs- und Industriestandortes Schweiz im Bereich fortschrittlicher Gaskraftwerke mit reduziertem CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu gelangen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung in der Schweiz zum Einsatz kommen können. Die schweizerische Kraftwerksindustrie inklusive der Zulieferfirmen und des unterstützenden, akademischen Umfelds ist im internationalen Vergleich sehr gut aufgestellt, hat eine starke Marktstellung und ein grosses Umsetzungspotenzial.

Zentrales technisches Ziel des Programms ist die Maximierung des elektrischen Wirkungsgrads eines kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozesses. Ein Wert von deutlich über 60 % (Zielbereich: 62–63 %) auf Basis Erdgas soll erreicht werden. Dies wird erwartungsgemäss dem im Jahr 2020 weltweit besten Standard entsprechen. Mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad (bzw. einem hohen Gesamt-Wirkungsgrad bei gleichzeitiger Wärmeauskopplung) lassen sich bereits signifikante Einsparungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro erzeugter kWh erreichen.

Ein weiteres Ziel ist die Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren, CO<sub>2</sub>-neutralen Brennstoffen (insbesondere Biomasse-basierenden Vergasungsprodukten) auf ca. 15 % des gesamten Energieeinsatzes im produktiven Betrieb. Ferner sollen mit dem Einbezug von prozesstechnischen Varianten für die erleichterte Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) darüber hinausgehende CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungspotenziale (Reduktion der CO<sub>2</sub>-Freisetzung um 80 %) ausgenutzt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetzwerke stärkeren, kurzfristigeren Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch andere Stromerzeuger kompensiert oder in geeigneter Weise zwischengespeichert werden müssen.

Ein weiteres Ziel des Programms ist es deshalb, Gasturbinen-Kraftwerke noch besser zu befähigen, die Stabilisierung des Stromversorgungsnetzes zu übernehmen. Dazu müssen Techniken entwickelt werden, die höhere Lastgradienten (+/-3 % Last pro Sekunde) oder gar eine Netzfrequenz unabhängige Betriebsweise erlauben. Gross-skalige Strom- bzw. Energiespeichertechnologien (über 1 MWh) im direkten Kraftwerksumfeld sollen deshalb neu ebenfalls im Programm mit enthalten sein.

Die Umsetzung dieser Schwerpunkte soll zukünftig mit einem etwa gleichgewichtigen Einsatz der Programmmittel einhergehen (Wirkungsgradsteigerung: 30 %; CO<sub>2</sub>-Minderung: 35 %; Netzzun-terstützung: 35 %).

Neben der Förderung durch das Bundesamt für Energie (BFE) werden die für dieses Forschungsprogramm relevanten Projekte durch finanzielle Mittel der Förderagentur für Innovation (KTI), sowie des Forschungsfond der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft (Swisslectric Research) und der Europäischen Gemeinschaft im Zusammenhang mit dem 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) unterstützt.

### Rückblick und Bewertung 2012

Nach dem Übergangsjahr 2009, in dem fast alle Projekte der Programm-Anfangsphase abgeschlossen wurden, haben sich im Jahr 2012 die thematisch ähnlichen Folgeprojekte bereits wieder in einem weit fortgeschrittenen Projektstadium befunden und stehen grossteils bereits wieder vor dem Abschluss. Zudem konnten wieder thematisch neu orientierte Projekte gestartet werden, die bisher vorhandene Lücken im Projekt-Spektrum weiter schliessen. Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projektportfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) deutlich widerspiegelt. Mit neu lancierten Projekten wurde der thematisch schwächer besetzte Bereich («dynamische Netzstabilisierung»; «flexible Betriebsweisen») weiter gestärkt

und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet. Der zur Verfügung gestellte Finanzrahmen aus BFE-Mitteln war durch laufende Projekte bereits weitgehend ausgeschöpft und liess dementsprechend auch 2012 nur wenig Spielraum für eine Erweiterung des Projekt-Portfolios.

### Ausblick

Aufgrund der Sistierung der Neubaupläne für Kernkraftwerke in der Schweiz ist allerdings das Thema «Gaskraftwerke in der Schweiz» wieder viel stärker in den Fokus der Energiediskussion gerückt. Eine wesentliche Aufstockung von Finanzierungsmitteln ist für P&D-Projekte vorgesehen. Im Bereich P&D des Programms *Kraftwerk 2020* sind deshalb mehrere Projektideen in Diskussion, die sich um diese Mittel bewerben möchten. Am weitesten gediehen sind die Vorarbeiten für ein P&D-Projekt im Themenbereich «CCS – Carbon Capture and Storage». Zusammen mit einer P&D-Anlage, die erstmalig in Europa eine industrielle Gasturbine mit Abgas-Rezirkulation betreiben soll, ist ein CO<sub>2</sub>-Speichertest vorgesehen, der die Tauglichkeit des Untergrunds im Schweizer Mittelland als CO<sub>2</sub>-Speichermittel unter Beweis stellen soll.

## Highlights aus Forschung und Entwicklung

Das Verbund-Projekt *CARMA* – *carbon management in power generation*, an welchem sich verschiedene Institutionen des ETH-Bereichs (ETHZ, EPFL, PSI), die Uni Bern und die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) beteiligt haben, ist im Dezember 2012 abgeschlossen worden. Neben dem BFE haben zur Finanzierung insbesondere die Kompetenzzentren des ETH-Bereichs (CCEM – Competence Center Energy & Mobility, CCES – Competence Center Environment & Sustainability), sowie SwisselectricResearch und Alstom beigetragen. Ziel des *CARMA*-Projektes war es, insbesondere unter Berücksichtigung der speziellen Schweizer Verhältnisse, Grundlagen zu erarbeiten, mit welchen Techniken die Stromerzeugung (mit Einbezug auch fossiler Brennstoffe) möglichst  $\text{CO}_2$ -neutral ausgeführt werden können.

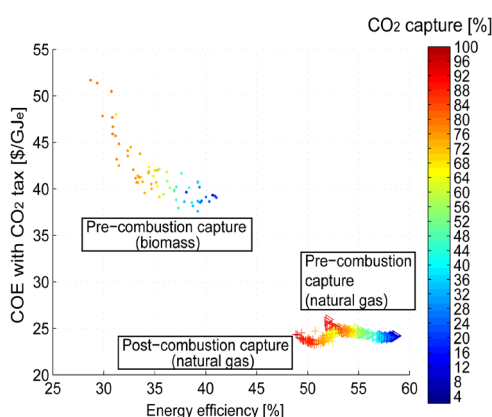
### Gasturbinen-Kraftwerksprozesse mit $\text{CO}_2$ -Abscheidung

Im Projekt *CARMA* wurden verschiedene technische Optionen von Gasturbinen-Kraftwerksprozessen mit  $\text{CO}_2$ -Abscheidung auf Basis thermodynamischer Modellansätze untersucht und optimiert, und deren ökonomische und

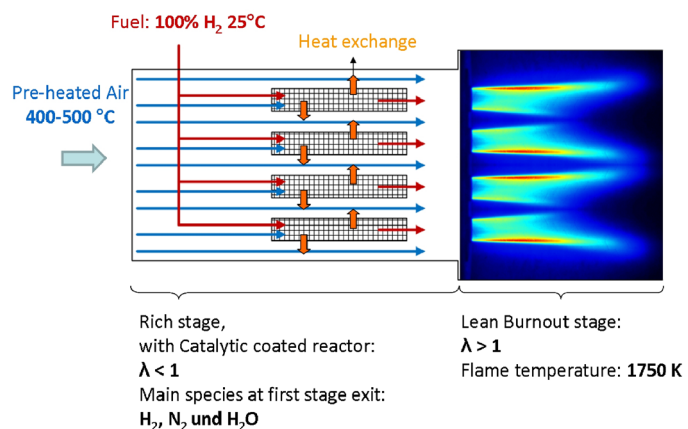
umweltrelevante Auswirkungen (Life Cycle Assessment, LCA) bewertet. Bezüglich des technischen (Optimierungs-) Potenzials wurden schwerpunktmässig Verfahrensvarianten betrachtet, die eine Brennstoffaufbereitung und Kohlenstoff-Abscheidung vor dem Verbrennungsprozess vorsehen. Diese Prozessvarianten versprachen höhere elektrische Wirkungsgrade als Verfahrensvarianten, die mit hohem Energieaufwand das stark verdünnte Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) aus den Abgasen abtrennen, sind aber nur für Neuanlagen geeignet (keine Retrofit-Lösung für bestehende Anlagen) und führen dazu, dass im eigentlichen Kraftwerksprozess wasserstoffreiche Brenngase beherrscht werden müssen (s. unten). Mit Hilfe einer neu entwickelten, variablen sog. Superstruktur konnten verschiedene Verfahrensvarianten mit unterschiedlichen Teilprozessschritten modelliert und quantitativ miteinander verglichen werden (hinsichtlich technischer Parameter wie z. B. dem elektrischen Wirkungsgrad, aber auch in Bezug auf ökonomische Kenngrössen wie z. B. den Stromgestehungskosten oder den spezifischen  $\text{CO}_2$ -Abscheidungskosten). Durch die Einbindung dieser thermo-ökonomischen Modellrechnungen in einen Optimierungsalgorithmus konnten sog. Pareto-Kurven ermittelt werden, die eine Übersicht vermitteln, welche

Verfahrensvarianten jeweils optimale Ergebnisse ergeben (Fig. 1), je nachdem welche – sich teilweise entgegenstehende – Erfolgsparameter definiert werden (z. B. minimale Stromkosten, minimale  $\text{CO}_2$ -Abscheidungskosten, maximaler elektrischer Wirkungsgrad, maximaler  $\text{CO}_2$ -Abscheidegrad).

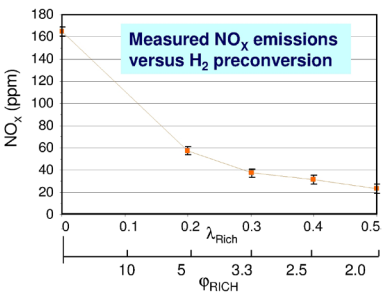
Zusammenfassend ergaben sich folgende Erkenntnisse aus den Modellrechnungen: Je nach gewähltem Erfolgsparameter, welchem höchste Bedeutung zugemessen wird, stellen unterschiedliche Prozessvarianten die «optimale» Prozessvariante dar. Jeweils verglichen mit einem konventionellen Gas- und Dampf-Kraftwerk als Referenzgrösse, ergeben sich die geringsten Wirkungsgradverluste (ca. 6 %-Punkte) für die Stromerzeugung bei einer Kraftwerksvariante mit  $\text{CO}_2$ -Abscheidung vor der Verbrennung; dagegen sind die zusätzlichen Stromgestehungskosten (ca. 25 %) am geringsten bei einer Kraftwerksvariante mit  $\text{CO}_2$ -Abscheidung nach der Verbrennung ( $\text{CO}_2$ -Wäsche aus dem Abgasstrom). Mit ( $\text{CO}_2$ -neutraler) Biomasse als Brennstoff können verständlicherweise die besten (negativen)  $\text{CO}_2$ -Bilanzen erzielt werden (der Atmosphäre wird effektiv  $\text{CO}_2$  entzogen).



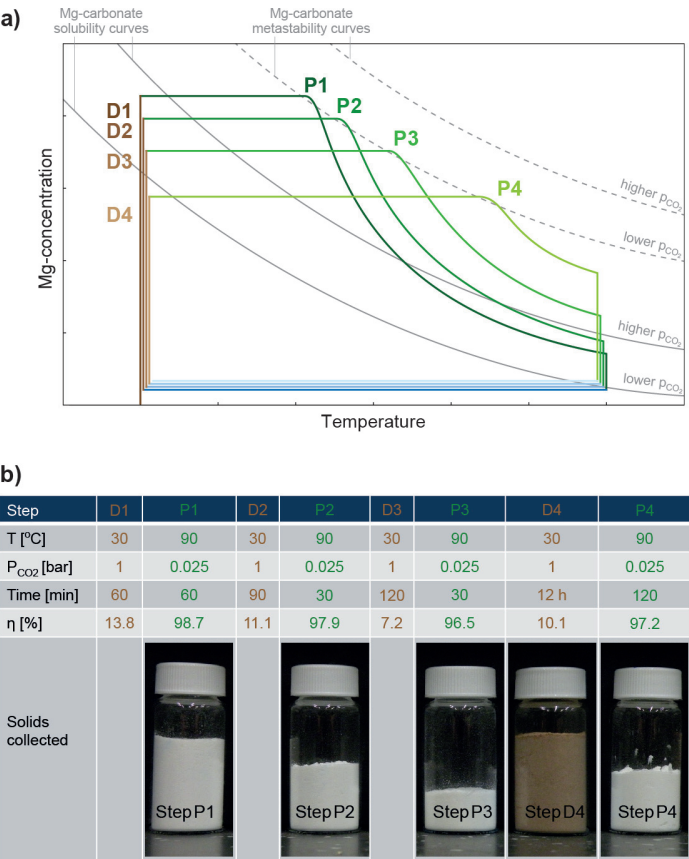
Figur 1: Stromgestehungskosten und elektrische Wirkungsgrade für ausgewählte, optimale Verfahrenskombinationen (Farbskala:  $\text{CO}_2$ -Abscheidegrad; Kostenbasis: 9,7 \$/GJ (Brennstoffkosten), 35 \$/t $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$ -Steuer), 7500 h/y (Betriebsstunden), 25 y (Abschreibungsdauer), 6 % (Zinssatz)).



Figur 2: Gestuftes Verbrennungskonzept für  $\text{H}_2$ -reiche Brenngase (1. Stufe: Luftmangel-Bedingungen, katalytisch unterstützt; 2. Stufe: Luftüberschuss für vollständigen Ausbrand).



Figur 3: NO<sub>x</sub>-Emissionen in Abhängigkeit des Brenngas-Umsatzes in der (1.) katalytisch unterstützten Reaktionsstufe.



Figur 4: Mehrstufiges Verfahrenskonzept zur CO<sub>2</sub>-Mineralisierung: a) Temperatur- und CO<sub>2</sub>-Partialdruck-Vorlauf in den vier Verfahrenszyklen; b) Umsatzgrade, Produktmengen und -Beschaffenheit.

### Sichere und emissionsarme Verbrennung von H<sub>2</sub>-reichen Brenngasen

Da bei den Verfahrensvarianten, die eine Brennstoffaufbereitung und Kohlenstoff-Abscheidung vor dem Verbrennungsprozess vorsehen, im eigentlichen Kraftwerksprozess wasserstoffreiche Brenngase beherrscht werden müssen, ergeben sich bei diesen Prozessvarianten zusätzliche verbrennungstechnische Herausforderungen. Insbesondere die hohe Reaktionsfreudigkeit H<sub>2</sub>-reicher Brenngase (hohe Brenngeschwindigkeit, leichte Entzündbarkeit) stellt konventionelle, emissionsarme Brennertechnologien, bei denen vorgemischte Brenngas/Luft-Gemische verwendet werden, vor nahezu unüberwindbare Probleme. Eine Stabilisierung der H<sub>2</sub>-Flamme im bzw. nahe des Brenners (als Flammenrückschlag

bezeichnet) führt häufig zu einer Zerstörung von Brennerbauteilen durch Überhitzung. Darüber hinaus kann mit H<sub>2</sub>-reichem Brenngas in vielen Fällen auch keine ausreichend gute Vormischqualität mit der Verbrennungsluft erzielt werden, sodass die Bildung von unerwünschten Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) nicht effektiv unterdrückt werden kann.

Ebenfalls im Projekt CARMA wurde deshalb ein alternatives Verbrennungskonzept im Labormassstab experimentell untersucht (Fig. 2), welches sowohl die Überhitzung von Brennerkomponenten durch Flammenrückschlag ausschließt, als auch unerwünscht hohe NO<sub>x</sub>-Emissionen vermeidet. Das verwendete gestufte Verbrennungskonzept beruht auf einem katalytisch unterstützten ersten Reaktionsschritt, in dem das H<sub>2</sub>-reiche Brenngas unter Luftmangel zuerst nur

teilweise umgesetzt wird (vorzugsweise ohne eine sichtbare Flammenzone) und erst in einer zweiten Verbrennungsstufe nach zusätzlicher Lufteinmischung vollständig abgereagiert. Durch die erste, durch den Luftmangel nur teilweise möglichen Freisetzung der im Brenngas enthaltenen Energie, können sowohl Überhitzungseffekte umgangen werden, als auch die extrem hohe Reaktionsgeschwindigkeit der H<sub>2</sub>-Umsetzung abgemildert werden. In der zweiten Reaktionsstufe muss damit ein «nur» noch mässig reaktives Brenngas/Luft-Gemisch beherrscht werden, welches auch nicht mehr zu exzessiver NO<sub>x</sub>-Bildung neigt (Fig. 3). Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der ersten Reaktionsstufe sind zudem nahezu NO<sub>x</sub>-frei, da die Brenngas-Umsetzung an den katalytisch aktiven Oberflächen dieser Stufe keine NO<sub>x</sub>-Bildung mit sich bringt.



## Pilot- und Demonstrationsprojekte

### Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> durch CO<sub>2</sub>-Mineralisierung

Die bekannten Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Kraftwerksprozessen beruhen in der Regel auf flüssigen Waschmitteln, die mit dem CO<sub>2</sub> aus der Gasphase (z. B. CO<sub>2</sub>-haltiges Abgas) reagieren und es in die Flüssigphase einbinden. Das damit verbrauchte Waschmittel muss anschliessend mit viel Energieaufwand (Aufheizen mit Hilfe von Dampf) wieder regeneriert werden, um es wieder im CO<sub>2</sub>-Abscheidungsprozess einsetzen zu können. Bevor das bei der Waschmittel-Regeneration wieder freigesetzte CO<sub>2</sub>-Gas im Untergrund versorgt werden kann, muss es i. d. R. noch konditioniert (getrocknet) und auf einen hohen Druck (>80 bar) gebracht werden. Um all diese aufwendigen, energieintensiven Prozessschritte umgehen zu

können, wird intensiv nach alternativen CO<sub>2</sub>-Abscheidungsverfahren geforscht. Eine dieser Alternativen wurde auch im Projekt *CARMA* verfolgt – die direkte Überführung des CO<sub>2</sub> im Kraftwerksabgas in eine mineralische Karbonat-Verbindung (Feststoff). Mineralische Karbonate (vorwiegend Verbindungen auf Basis von Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca)) sind natürlich vorkommende Gesteinsformen (in Kombination mit Silikaten), die chemisch sehr stabil sind und dementsprechend gebundenes CO<sub>2</sub> sehr zuverlässig über lange Zeiträume aus der Atmosphäre entfernt halten.

Ziel der Untersuchungen im Projekt *CARMA* war es, die CO<sub>2</sub>-Mineralisierung unter den für Kraftwerksprozesse technisch relevanten Bedingungen in Laborversuchen nachzubilden und Optimierungspotenzial aufzuzeigen. Die bisher erzielten Ergebnisse zeigten, dass bei

einer 1-stufigen Verfahrensführung das eingesetzte Material (z. B. Serpentine, Mg-Fe-Si-O-H-Verbindung) nur unzureichend ausgenutzt wird (max. bis zu 20 %), selbst bei zusätzlichem mechanischem Aufschluss, pH- und Temperaturvariation. Ein vielversprechender Ansatz scheint dagegen ein mehrstufiges Verfahrenskonzept zu sein (Fig. 4), welches auf einem zyklischen Druck- und Temperaturverlauf beruht und sequentiell die beiden massgeblichen Reaktionsschritte (Lösung der aktiven Mineralbestandteile aus dem Ursprungsgestein, Bildung und Ausfällung von Karbonaten, steuert.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Programmziele sind anwendungs- und umsetzungsorientiert ausgerichtet [1, 2], woraus sich eine starke Integration und Beteiligung der im angesprochenen Kraftwerksbereich tätigen Herstellerfirmen und Zulieferbetriebe ergibt. Ein zentrales Element stellen dabei die Hersteller von Turbomaschinen und Kraftwerksanlagen dar (Alstom, MAN Turbo, Turbomach), die mit ihren in der Schweiz angesiedelten Entwicklungs- und Produktionszentren den Garant für die Umsetzung der Programmergebnisse bieten und zusammen mit den in der Schweiz angesiedelten Zulieferfirmen (u.a. Sulzer, Precicast, Stellba, von Roll) sicherstellen, dass die Programmaufwendungen vorwiegend in der Schweiz wirksam werden. Daneben wird auch eine aktive Beteiligung der Strom- und der Gaswirtschaft in der Schweiz (Swisselectric, VSG) angestrebt, die als Anwender bzw. Versorger ebenfalls einen wesentlichen Nutzen aus der zu entwickelnden fortschrittlichen Technik ziehen sollen. Die äusserst anspruchsvollen technischen Ziele sind nur mit einem verbesserten Verständnis der technischen Zusammenhänge und auf einer erweiterten Basis von Grundlagenkenntnissen erreichbar. Diesen Beitrag zum Programmerfolg liefern die akademischen Institutionen der Schweizer Hochschul- und Forschungslandschaft (ETHZ, EPFL, Empa, PSI, FHNW, HSR, ZHW). Sie werden dabei auch ihrem Anspruch gerecht, neueste technische Erkenntnisse schnell in marktgerechte Produkte umsetzen zu helfen. Durch die hohe technische Kompetenz der im ETH-Bereich angesiedelten Forschungsinstitute – zusammen mit praxisnaher Unterstützung aus den Fachhochschulen – sind die Voraussetzungen, einen signifikanten Beitrag zum Programmerfolg beizutragen, in nahezu idealer Weise gegeben.

Enge Verbindungen werden zum *Competence Center Energy & Mobility (CCEM-CH)* [3] des ETH-Bereichs unterhalten. Im Themenbereich Elektrizität im CCEM-CH besteht eine weitgehende Übereinstimmung der Zielsetzungen mit der Ausrichtung des Programms Kraftwerk 2020. Besonders hervorzuheben ist hier wiederum das Verbund-Projekt *Carbon dioxide management in Swiss power generation (CARMA)*, welches im CCEM-CH eingebunden ist und eine signifikante finanzielle Förderung aus ETH-Bereichsmitteln erhält. Das Projekt CARMA, welches einen breiten Bereich von Fragestellungen im Bereich der CO<sub>2</sub>-Problematik abdeckt (Gesamtsystemanalysen, Pre-Combustion Decarbonization, CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechniken, CO<sub>2</sub>-Sequestrierung, sozio-ökonomische Fragen/gesellschaftliche Akzeptanz), und Antworten und Lösungen für die Schweiz sucht, aber auch Resultate von internationaler Bedeutung bereitstellt, ist mit finanziellen Mitteln aus der Forschungsförderungsorganisation von Swisselectric Research ausgestattet. Es ist gewünscht und beabsichtigt, diese Verbindungen weiter auszubauen und damit das Programm Kraftwerk 2020 breit in der Förderlandschaft der Schweiz abzustützen.

Das nationale Netzwerk des Programms Kraftwerk 2020 wird regelmässig in einer Jahresveranstaltung gepflegt (nächster Termin: Juli 2013), bei der ein Überblick über den Stand der Programmaktivitäten geboten wird und die Gelegenheit besteht, sich über die Zielsetzungen und Rahmenbedingungen des Programms im Detail zu informieren und mit potenziellen Projektpartnern in Kontakt zu kommen. Bei der Veranstaltung im Jahr 2012 stand der Themenbereich «hoher elektrischer Wirkungsgrad (>60 %)» im Vordergrund; im Jahr 2013 sollen für das Thema «Netzunterstützung/flexible Betriebsweise», der Entwicklungsstand der massgeblichen Technologien und ihre zukünftigen Perspektiven und Potenziale aufgezeigt werden.



## Internationale Zusammenarbeit

Weltweit werden weiterhin grosse Anstrengungen unternommen, um den Wirkungsgrad von gasbefeuerten Kombi-Kraftwerken zu verbessern, und um auf Systemebene die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken resp. durch Abscheiden und Lagern ganz zu vermeiden. Deshalb existieren in vielen Ländern (Deutschland, England, Norwegen, USA, Australien, Japan) und Regionen (z. B. Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts» [4] der Länder Bayern und Baden-Württemberg) ähnliche (inter-)nationale/regionale Programme wie das Programm Kraftwerk 2020, mit deren Ausrichtung und aktuellem Fortschritt ein regelmässiger Abgleich stattfindet. Gemeinsame Projekte sind aufgrund nationaler Finanzierungsregeln und komplizierter Konstellationen bezüglich Eigentumsrechten an Projektergebnissen bisher jedoch nicht konkret in Betracht gezogen worden.

Die europäische Integration wird durch die Einbettung von Projekten aus dem Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 im derzeit noch laufenden 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) der EU verfolgt. Die bisherige Erfahrung mit bereits erfolgten FP7-Projektausschreibungen zeigt, dass i.d.R. nur grosse Projektkonsortien (10–20 Partner) mit Projektanträgen erfolgreich sind. Daher ist es für Schweizer Partner essentiell, ein gut funktionierendes, weit gespanntes europäisches Netzwerk aufzubauen, um damit die Chance zu haben, schon im Frühstadium der Projektentwicklung miteinbezogen zu werden. Dies ist im Rahmen des European Turbine Network (ETN) [5] durch aktive Beteiligung an einem erfolgreichen Projektantrag (H2-IGCC) gelungen. Die Zielsetzung des Projektes (Gesamt-Budget: 17,8 M€, Laufzeit 2009–2013), an dem das Labor für Verbrennungsforschung des Paul Scherrer Instituts (PSI) einen wesentlichen Anteil hat, ist es, wichtige Technologien und Komponenten eines «Null-Emissions»-Kraftwerks auf Basis eines integrierten Vergasungs-Kombikraftwerks (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung zu demonstrieren.

Durch die Beobachtung und aktive Teilnahme am Arbeitsprozess der EU Technology Platform «Zero Emission Fossil Fuel Power Plants» [6] erfolgt sowohl eine regelmässige Abstimmung der Aktivitäten mit anderen nationalen Programmen (der Programm- bzw. der Bereichsleiter haben Einsitz in der begleitenden Länderarbeitsgruppe (Government Group)), als auch die Möglichkeit der Mitgestaltung von gemeinsamen Entwicklungszielen und EU-Arbeitsprogrammen (der Programmleiter ist Mitglied der Arbeitsgruppe Taskforce Technology). Diese Aktivitäten sind unabdingbar, um die Entwicklungen im europäischen Umfeld frühzeitig zu erkennen, und Chancen für die Schweiz und Schweizer Partner identifizieren und ausschöpfen zu können. Da eine Realisierung von neuen Kraftwerkskonzepten im Pilot- und Demonstrations-Massstab erheblicher Finanzierungsmittel bedarf, sind solche Entwicklungsschritte nur auf internationaler/europäischer Ebene denkbar (dies kann auch im Rahmen bi- oder multi-lateraler Zusammenarbeit zweier oder mehrerer Länder erfolgen).

In einer weiteren europäischen Initiative (ECCSEL: European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure), die sich speziell auf die Entwicklung und gemeinsame Nutzung von Forschungsinfrastruktur für CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerks- und Industrieprozesse konzentriert, sind akademische Partner des Programms Kraftwerk 2020 ebenfalls aktiv.

Über Kontakte zu themenrelevanten Initiativen der Internationalen Energieagentur (IEA) [7] wie der Working Party for Fossil Fuels (WPFF), des Implementing Agreement for Energy Conservation and Emission Reduction in Combustion, des Greenhouse Gas R&D Programme sowie des Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) wird die internationale Vernetzung der Programmaktivitäten noch weiter verstärkt und damit Möglichkeiten eröffnet, durch gemeinsame Aktionen Projekte zu verwirklichen, die eine wesentlich grössere (internationale) Breitenwirkung entfalten und für die Schweiz allein sonst grundsätzlich gar nicht zu realisieren wären.

## Referenzen

[1] Konzept für das Forschungsprogramm «Kraftwerk 2020», BFE, Bundesamt für Energie BFE –Forschungsprogramm Kraftwerk 2020.

[2] Forschungsprogramm «Kraftwerk 2020»: Ergänzung und Aktualisierung des Programmkonzepts für den Zeitraum 2008–2011, Bundesamt für Energie BFE –Forschungsprogramm Kraftwerk 2020

[3] Competence Center Energy and Mobility (CCEM-CH)

[4] Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts»

[5] European Turbine Network (ETN), [www.eu-gasturbine.org/](http://www.eu-gasturbine.org/)

[6] Technology Platform «Zero Emission Fossil Fuel Power Plants», [www.zero-emissionplatform.eu/website/](http://www.zero-emissionplatform.eu/website/)

[7] Internationalen Energie Agentur (IEA), [www.iea.org](http://www.iea.org)

## Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(\* IEA-Klassifikation)

### ● CARMA – CARBON DIOXIDE MANAGEMENT IN POWER GENERATION R&D 2.3\*

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Mazzotti Marco marco.mazzotti@ipe.mavt.ethz.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Das CARMA-Projekt befasst sich mit der Abscheidung und Einlagerung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage). Neben Gesamt-Systemanalysen und techno-ökonomischen Bewertungen unter länderspezifischen Bedingungen sowie Akzeptanzstudien zur Einführung von CCS, werden auch eine Vielzahl von technisch-wissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet (Abscheidung von CO <sub>2</sub> in Kraftwerksprozessen, Einbindung von CO <sub>2</sub> in geologischen Formationen, Ausweisung und Betrieb von CO <sub>2</sub> -Lagerstätten, etc.).		

### ● WANDINTEGRIERTE KÜHLUNGSSYSTEME: PRALLKÜHLUNG MIT KOMPLEXEN GEOMETRIEN R&D 2.3

Lead:	EPFL/STI/ISE/LTT	Funding:	BFE
Contact:	Ott Peter peter.ott@epfl.ch	Period:	2009–2013
Abstract:	Im Projekt werden neuartige Kühlungsgeometrien für Gasturbinen-Schaufeln entwickelt und untersucht. Die innovativen Designs sollen bereits im Giess-Prozess der Schaufelherstellung mit integriert werden und den Kühlluftbedarf signifikant reduzieren und damit den Wirkungsgrad der Turbinen deutlich steigern.		

### ● COOLING OF NEXT GENERATION TURBOGENERATORS R&D 2.3

Lead:	ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding:	BFE
Contact:	Diestel-Feddersen Lennart lennart.diestel-feddersen@power.alstom.com	Period:	2009–2013
Abstract:	Turbogeneratoren, Synchronmaschinen die im 50/60Hz-Netz und mit 3000/3600 U/min rotieren, können mit H <sub>2</sub> oder mit Luft gekühlt werden. Luft ist auf Grund der einfachen Handhabung bevorzugt, erzeugt jedoch grössere interne Ventilationsverluste. Durch optimierte Kühlluft-Führung innerhalb der rotierenden und statischen Bauteile eines Generators sollen diese aerodynamischen Verluste reduziert werden bzw. durch Vergleichsmässigung der lokalen Kühlwirkung «hot spots» vermieden werden.		

### ● ENTWICKLUNG VON INTEGRIERTEN MOTORVERDICHTERN FÜR DIE ERZEUGUNG VON BRENNGAS AUS BIOMASSE, TEIL 2 R&D 2.3

Lead:	MAN Turbo AG	Funding:	BFE
Contact:	Laufer Uwe uwe.laufer@man.eu	Period:	2009–2013
Abstract:	Integrierte Motor-Verdichter sind direkt mechanisch gekoppelt und hermetisch dicht, weswegen sie besonders vorteilhaft bei gesundheits-gefährlichen Gasen zum Einsatz kommen. Die integrale Bauweise erfordert allerdings ölfreie (Magnet-)Lager und eine auf Prozessgas abgestimmte Motorkühlung. Beide Aspekte werden in diesem Projekt für die Anwendung auf Produktgas aus (Biomasse-) Vergasungsprozessen untersucht.		

### ● BOOSTERCAP – DYNAMIC EXCITATION MODULE R&D 2.3

Lead:	ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding:	BFE
Contact:	Menzel Johannes johannes.menzel@power.alstom.com	Period:	2011–2012
Abstract:	Generatoren mit konventioneller Technik müssen bisher bei Spannungsschwankungen (bzw. Frequenzschwankungen) vom Netz getrennt werden, und verschärfen damit die Problematik. Durch die im Projekt untersuchte Einbindung von Kurzzeitspeichertechnologien (Hochleistungskondensatoren) und Leistungshalbleiter-Schaltelementen sollen längere bzw. tiefere Spannungs-/Frequenz-Einbrüche ohne Trennung vom Netz möglich werden und damit zur Stabilisierung der Situation beitragen.		



