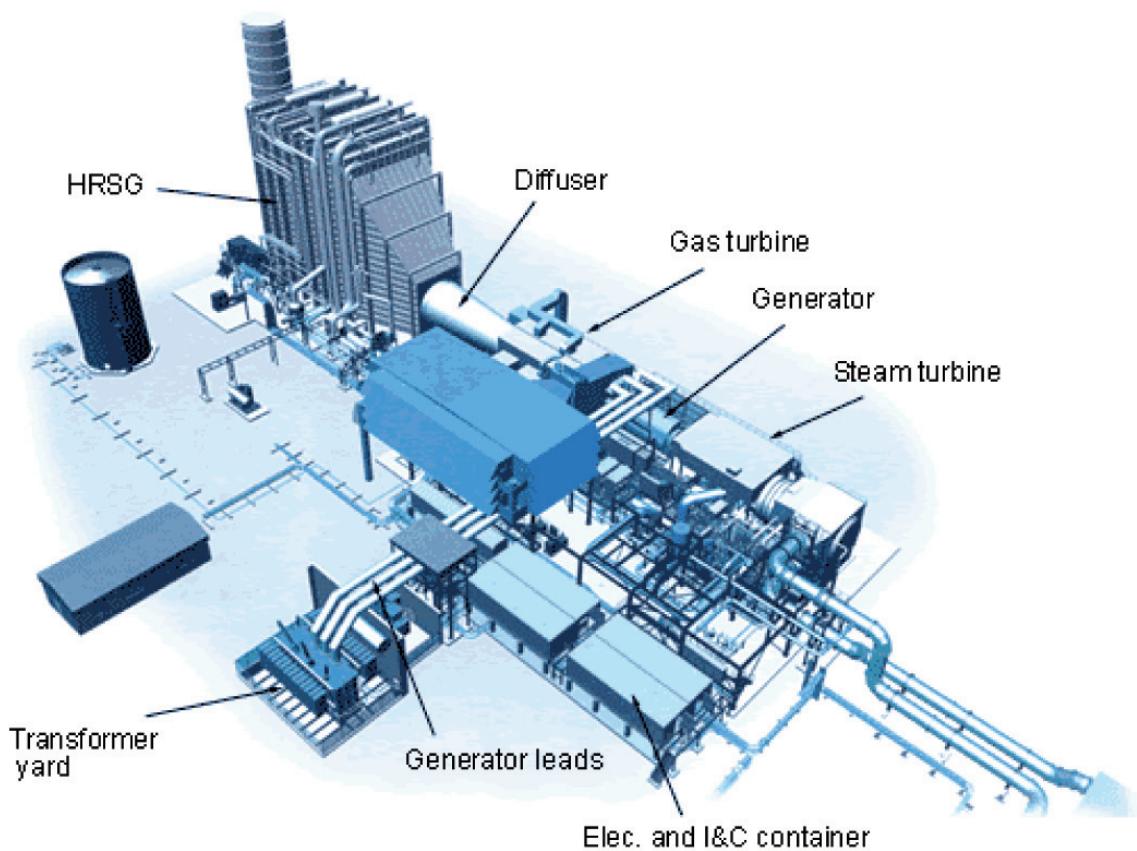


Überblicksbericht 2011

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:

Die Projekte des Programms Kraftwerk 2020 (inkl. CCS) sind schwerpunktmässig den Themenbereichen *Effizienzsteigerung* und *CO₂-Minderung* zuzuordnen. Der Bearbeitung von Projekten im Bereich *flexible Betriebsweise* (zur Kompensation der schwankenden Stromproduktion aus fluktuierenden, erneuerbaren Energieträgern) kommt aber zunehmende Bedeutung zu.

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

Überblicksbericht 2011

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/forschungkraftwerk>

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

Einleitung

Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Stromimportverträgen und das Erreichen der maximalen Betriebsdauer bestehender Kraftwerksanlagen zeichnet sich für den Zeitraum um das Jahr 2020 ein Engpass in der Stromversorgung der Schweiz ab. Um diese prognostizierte Versorgungslücke zu schliessen, sind Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen (rationelle Stromverwendung, Ersatz von Stromerzeugungskapazitäten usw.) zu leisten. Eine Option für die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz stellen Kombi-Kraftwerke auf Erdgas-Basis dar, die aufgrund ihrer für thermische Kraftwerke hohen Effizienz und ihres niedrigen Schadstoffausstosses mittelfristig in der Stromerzeugung von Bedeutung sind. Diese Technik ist auch deshalb für die Schweiz von besonderem Interesse, weil Schweizer Industriefirmen und Forschungsorganisationen führend in der Weiterentwicklung dieser Technologie 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 CO₂-Emissionen aus dem gesamten schweizerischen Energiesystem wie beabsichtigt gesenkt werden können. Die Prozess-

führung des Kraftwerks ist z. B. so zu gestalten, dass alternative (kohlenstoffarme) Brennstoffe eingesetzt werden können und CO₂ 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. Prozesse ausserhalb des eigentlichen Kraftwerks, wie z. B. externe Brennstoffaufbereitung oder CO₂-Abtrennung und -Lagerung sind integraler Bestandteil des Programms. Aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens kann das Programm aber nur einen signifikanten Beitrag leisten, indem eine starke Fokussierung auf Schlüsselkomponenten erfolgt.

Um der zeitlichen Zielsetzung des Forschungsprogramms gerecht zu werden, im Jahre 2020 die notwendigen Technologien einsatzbereit entwickelt zu haben, müssen die dazu erforderlichen Basis-Technologien spätestens im Jahr 2016 verfügbar sein. Deshalb ist das Programm vorerst auf einen Zeitraum von ca. 10 Jahren (d.h. bis Ende 2016) ausgerichtet. Dieser Programmperiode können sich geeignete Fortsetzungsphasen mit erweiterten, angepassten Zielsetzungen anschliessen. Die Konzentration der Programm-Aktivitäten auf Schlüsselgebiete der Dampf- und Gasturbinentechnik inkl. Generatoren ist auch aus diesen zeitlichen Aspekten heraus erforderlich.

IEA Klassifikation: 2.1.4 Oil and gas combustion, 2.3 CO₂ Capture and storage (CCS)

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 zu gelangen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung in der Schweiz zum Einsatz kommen. Die schweizerische Kraftwerksindustrie inklusive der Zulieferfirmen und dem unterstützenden, akademischen Umfeld ist international führend, 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.

Weiteres Ziel ist die Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren, CO₂-neutralen Brennstoffen (insbesondere Biomasse-basierenden Vergasungsprodukten) auf 15 % im produktiven Betrieb. Ferner sollen mit dem Einbezug von prozesstechnischen Varianten für die erleichterte Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (CO₂) darüber hinausgehende CO₂-Emissionsminderungs-Potenziale ausgenutzt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetzwerke stärkeren, kurzfristigeren Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch die anderen Stromerzeuger kompensiert werden müssen. Ein weiteres Ziel des Programms ist es deshalb, Gasturbi-

nen-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.

Die Umsetzung dieser Schwerpunkte geht mit einer entsprechenden Gewichtung der einzusetzenden Programmmittel (Wirkungsgradsteigerung: 45 %; CO₂-Minderung: 40 %; Netzunterstützung: 15 %) einher.

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 (Swisselectric Research) und der Europäischen Gemeinschaft im Zusammenhang mit dem 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) unterstützt.

orientierte Projekte gestartet, die bisher vorhandene Lücken im Projekt-Spektrum schliessen. Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projekt-Portfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) deutlich zeigt. Mit den neu lancierten Projekten wurde wieder eine thematische Lücke geschlossen (im Bereich «dynamische Netzstabilisierung») und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet. Der zur Verfügung gestellte Finanzrahmen aus BFE-Mitteln war 2011 durch laufende Projekte bereits sehr weitgehend ausgeschöpft und erlaubte dementsprechend nur eine mässige Erweiterung des Projektumfangs. Die 2010 erfolgte Ankündigung 20 von zu erwartenden Budget-Kürzungen führte dazu, dass 2011 keine neuen Projekt-Vorschläge aktiv eingeworben wurden und potenzielle Projektnehmer auf spätere Finanzierungszeiträume (2012 ff.) vertröstet werden mussten.

Rückblick und Bewertung 2011

Nach dem offiziellen Start des Programms Anfang 2006 und der Initierung einer ersten Welle von Projekten, die den Rahmenbedingungen des Programmkonzeptes [1] gerecht wurden, und der Erweiterung des Programmrahmens 2009 auf Themen im Bereich «Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (CO₂)» (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS), dokumentiert in der Fortschreibung des Programmkonzepts [2], spiegelt das Projekt-Portfolio des Programms im Jahr 2011 diese Schwerpunktsetzungen wieder.

Nach dem Übergangsjahr 2009, in dem fast alle Projekte der Programm-Anfangsphase abgeschlossen wurden, sind im Jahr 2011 nun entweder thematisch ähnliche Folgeprojekte etabliert oder aber thematisch neu-

Ausblick

Die neue Energiepolitik (und Energiestrategie), die nach den Ereignissen im Kernkraftwerk in Fukushima initiiert wurde, hat noch keine (deutliche) Änderung dieser Finanzierungssituation bewirkt. 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 Energiедiskussion gerückt.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Elektrischer Wirkungsgrad von Gasturbinen-Kraftwerken über 60 %

Im Jahr 2011 wurde weltweit erstmals für ein erdgasbefeuertes Gasturbinen-Kombi-Kraftwerk ein elektrischer Wirkungsgrad von über 60 % erreicht und mit 60,75 % durch ein unabhängiges Gutachten offiziell bestätigt. Die von Siemens erstellte Anlage in Irsching (bei München) mit einer Gesamtleistung von 575 MW (Gasturbine: 375 MW; Dampfturbine: 200 MW) setzt damit einen neuen Standard für die gasturbinen-basierende Kraftwerkstechnologie. Erreicht wird dieser neue Wirkungsgradrekordwert durch eine Reihe von Massnahmen, die auch im Wirkungsgrad-Entwicklungspfad (Figur 1) des Programms Kraftwerk 2020 enthalten sind und in verschiedenen KW2020-Projekten bearbeitet werden. Diese Massnahmen umfassen aerodynamische Verbesserungen am Luftverdichter, die Reduktion von parasitären Leckage-Strömungsverlusten (im Ringspalt zwischen rotierenden Schaufel-Komponenten und stationären Strömungskanalwänden), die Reduktion des Kühlluftbedarfs von Komponenten im Heissgaspfad (Brennkammer und Turbinenschaufeln) sowie die Steigerung der thermodynamischen Prozessparameter (Druck über 20 bar und Temperatur des Heissgases am Turbineneintritt von nahezu 1300 °C).

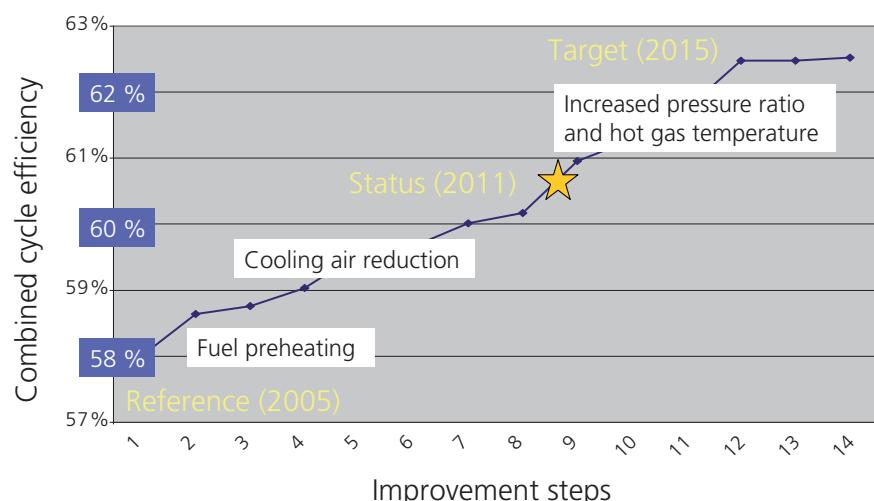
Neben Siemens haben alle anderen Hersteller von grossen Gasturbinen (> 200 MW) – General Electric, Mitsubishi Heavy Industries, ALSTOM – mittlerweile ebenfalls angekündigt Anlagen mit elektrischen Wirkungsgraden von über 60 % anbieten und realisieren zu können. Je nach Firmen-Philosophie und Geschäftsmodell werden dabei jeweils unterschiedliche technologische Entwicklungswege beschritten und Schwerpunkte (Alleinstellungs-Merkmale) gesetzt. Während General Electric sich stark in der Technik Dampf-gekühlter Turbinenschaufeln engagiert hat, setzt Mitsubishi die Hauptbetonung auf die Steigerung der Prozessparameter (und Grössenskalen-Effekte) und ALSTOM verfolgt den Weg der Reheat-Prozesstechnik (mit sequentieller Verbrennung in zwei hintereinander geschalteten Brennkammern) konsequent weiter.

Auf Basis dieser eingeschlagenen Entwicklungspfade und der – nach wie vor – vorhandenen Entwicklungspotenziale in Bezug auf die Komponentenwirkungsgrade, die Reduktion von Kühlungsverlusten und der weiteren Steigerung der Prozessparameter, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass die Effizienz von Gasturbinen-Kombi-Kraftwerken sich im diesem Jahrzehnt (bis 2020) auf 63–65 % weiter entwickeln wird.

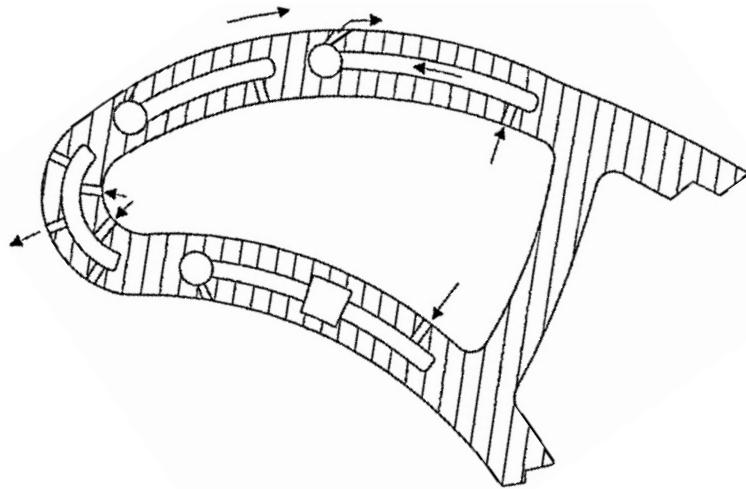
(An-/Abströmkante, Schaufelspitze) zu gewährleisten. Der zur Kühlung der Heissgaskomponenten notwendige Kühlluftmassenstrom beträgt bis zu 20 % des gesamten Luftverdichter-Massenstroms und trägt immens zu den Effizienzverlusten in einer Gasturbine bei. Im Projekt *Advanced Cooling Systems for Turbine Vanes* werden Prallkühlungsgeometrien untersucht (die Kühlluft wird in Form eines Strahls senkrecht auf die zu kühlende Fläche geblasen), und zwar speziell unter Bedingungen, wie sie in engen Passagen und Kanälen vorliegen (Verhältnis von Kanalhöhe Z zu Kühlluft-Strahldurchmesser D nur zwischen 1 und 3). Diese beengten Platzverhältnisse sind typisch für Gasturbinen-Schaufelgeometrien, die möglichst material-sparend d.h. dünnwandig ausgeführt werden (siehe Figur 2). Für solch enge Passagen ist bisher nicht ausreichend erforscht, wie sich die einzelnen Strahlen und die sich entwickelnde Querströmung (entlang der Kanalwand) gegenseitig beeinflussen. Um für diese speziellen geometrischen Verhältnisse verlässliche Auslegungsdaten zu erhalten, auf Basis derer Korrelationen erarbeitet werden, die bei der Auslegung zukünftiger Schaufelgeometrien zum Einsatz kommen, wurde beim akademischen Projektpartner (EPFL) ein Versuchstand entworfen und aufgebaut. Die

(Prall-)Kühlung von Gasturbinenschaufeln

Die Komponenten des Heissgaspfades einer modernen, hoch effizienten Gasturbine müssen intensiv gekühlt werden, um kritische Materialtemperaturen (ca. 900 °C) nicht zu überschreiten und den mechanischen Belastungen über viele tausend Betriebsstunden (z. B. 24'000/48'000 OH = operating hours) standzuhalten. Dazu wird das Kühlmedium (i.d.R. Luft aus dem Luftverdichter der Gasturbine) mit Hilfe aufwendiger Geometrien durch die hohl ausgeführten Gasturbinenschaufeln geleitet, um bei möglichst geringem Massenstrom und Druckverlust trotzdem die notwendige Kühlleistung auch an thermisch besonders stark belasteten Teilen der Schaufeloberfläche



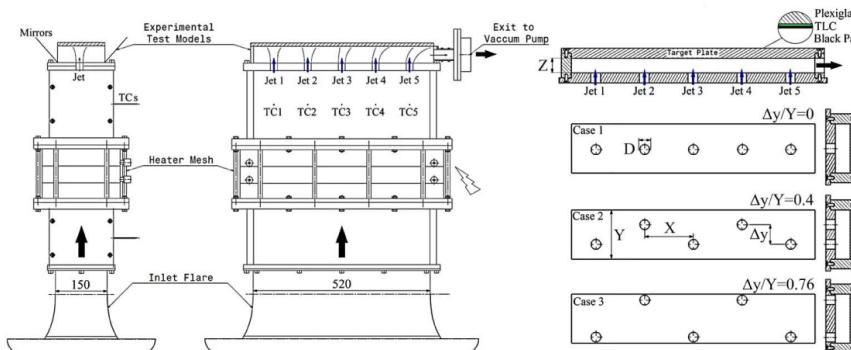
Figur 1: Entwicklungspfad für die Steigerung des elektrischen Wirkungsgrads von Gas-Kombikraftwerken. Um den Wirkungsgrad auf über 60 % zu steigern, ist eine Vielzahl von Massnahmen zu realisieren. Durch die Steigerung des Komponenten-Wirkungsgrads (von Luftverdichter und Turbine), durch die Reduktion des Kühlluftbedarfs und Steigerung der thermodynamischen Betriebsparameter (Druck, Temperatur) ist es 2011 gelungen, den elektrischen Wirkungsgrad auf über 60 % zu steigern.



Figur 2: Typische Geometrien für wand-integrierte Kühlungskanäle in Gasturbinenschaufeln. Die Dimensionen der Strukturen (Kanalhöhe, Lochdurchmesser, Wandstärke) bewegen sich im mm-Bereich (0,5 bis 5 mm). Der gezeigte Bereich stellt die Schaufel spitze (Anströmkante) der Gasturbinenschaufel dar, die durch das vorbeiströmende heiße Gas aus der Brennkammer besonders stark thermisch belastet ist.

Versuchseinrichtung (Figur 3) erlaubt die Untersuchung variabler Geometrien, sowohl betreffend unterschiedlicher Strahlanordnungen (in einer Linie – inline – oder versetzt – staggered), als auch unterschiedlicher Kanalhöhen. Die lokalen Wärmeübertragungsverhältnisse (d.h. die Kühlwirkung der Luftstrahlen) werden durch die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben, die sich aus dem lokalen Oberflächentemperaturverlauf berechnen lassen, wenn die Temperatur der Kühlstrahlen (annähernd) sprunghaft verändert wird. Die Oberflächentemperatur der Prallplatte, auf die die

Kühlstrahlen auftreffen, wird über eine berührungslose, optische Messtechnik ermittelt, die auf dem Einsatz von temperaturempfindlichen Flüssigkristallen beruht. Die auf die Prallplatte in Form einer dünnen Schicht aufgetragenen Flüssigkristalle sind in ihren temperaturempfindlichen Eigenschaften so konzipiert, dass sie innerhalb eines relativ engen vorgegebenen Temperaturbereichs (hier: 38,5 °C bis 39,8 °C) ihre Farbe über das gesamte sichtbare Farbenspektrum hinweg verändern. Mit einer Kamera können die Faränderungen einfach aufgezeichnet und den entsprechenden lokalen



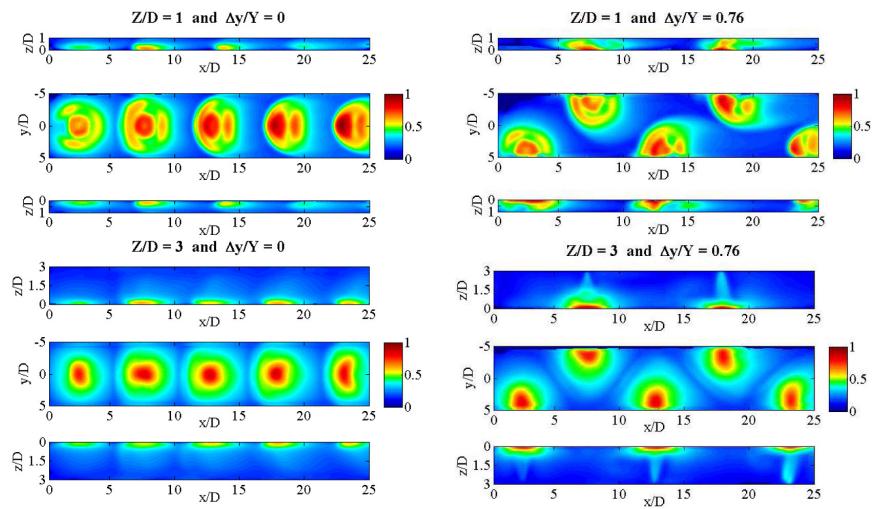
Figur 3: Versuchsanordnung für die Untersuchung von Prallkühlungs-Konfigurationen. Die zu testende Geometrie befindet sich oben auf der Versuchsanordnung (Bild links/Bild Mitte: Längs- und Seitenansicht der Versuchsanordnung) und wird von unten mit Luft angeströmt, die sprunghaft aufgeheizt werden kann. Kanalhöhe und Lochdurchmesser bzw. Lochanordnung können variiert werden (verwendete Ausführungsformen; rechte Bildhälfte). Die Prallplatte (target plate) ist aus Plexiglas und innen mit temperaturempfindlichen Flüssigkristallen beschichtet, deren Faränderungen über eine Kamera aufgezeichnet werden.

Temperaturen zugewiesen werden, woraus sich dann in einem weiteren Rechenschritt die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten berechnen lassen. Die Ergebnisse (Figur 4) zeigen relativ stark gestörte Strömungs- (und damit Wärmeübertragungs-) Verhältnisse für die sehr geringe Kanalhöhe ($Z/D=1$); die Anordnung der Strahlen in einer Linie (nicht versetzt) ergibt eine bessere Abdeckung der gesamten zu kühlen Fläche mit erhöhten Wärmeübergangskoeffizienten; die Beeinflussung der Kühlstrahlen durch die sich entwickelnde Querströmung ist spürbar, hat aber keinen nachteiligen Effekt auf die insgesamte Kühlleistung. Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die beste (integrale) Kühlleistung durch in Linie angeordnete Kühlstrahlen in einem relativ hohen Kanal ($Z/D=3$) erreicht wird.

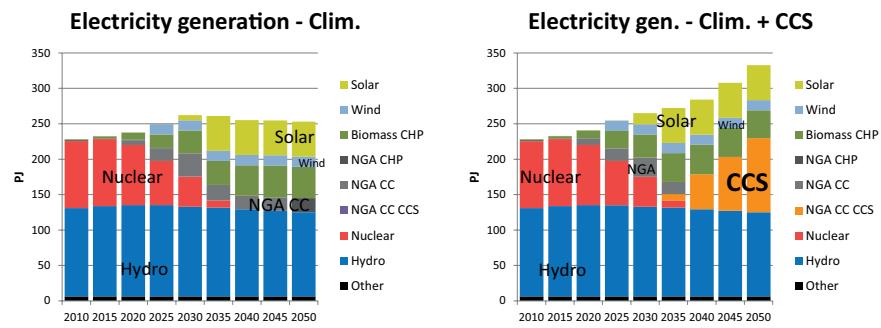
Verfügbarkeit von CCS-Technologien beeinflusst die zukünftige Energieversorgungs- und Nutzungsstruktur

Die Aktivitäten des Themenbereichs CARMA – *Carbon Management in Swiss Power Generation* decken ein breites Spektrum von Fragestellungen ab, wie z. B. die Erforschung und Entwicklung technischer Lösungsansätze für die Verbrennung wasserstoffreicher Brenngase (wie sie bei der CO₂-Abscheidung vor der Verbrennung anfallen) und die mineralische Einbindung von CO₂ aus Kraftwerksabgasen (entspricht der CO₂-Abscheidung nach der Verbrennung). Neben technischen Arbeiten im Labormassstab kommen im Projektverbund CARMA aber auch Methoden zur Erstellung von Energieszenarien zum Einsatz und gesellschaftliche Fragestellungen zur Akzeptanz diverser technischer Lösungen werden behandelt. Aufgrund der Breite und des Volumens der Aktivitäten werde die Arbeiten nicht nur vom BFE sondern von verschiedenen Förderinstitutionen unterstützt, u. a. von Swiss Electric Research und den Kompetenzzentren des ETH-Bereichs (Competence Center Energy and Mobility, CCEM; Competence Center Environment and Sustainability, CCES).

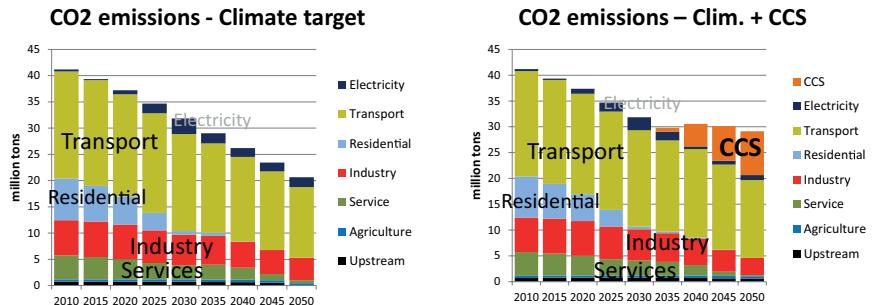
Unter Berücksichtigung der Energiestrategie des Bundes (keine neuen Atomkraftwerke, Stärkung erneuerbarer Energien, Gaskraftwerke als Brückentechnologie) und unter Einhaltung der Klimaziele (CO_2 -Minderung um 20 % bis 2020 bzw. 60 % bis 2050) ergeben sich bei den berechneten Energieszenarien für die Jahre 2010 bis 2050 signifikante Unterschiede, falls CCS-Technologien für Gaskraftwerke (und Industrieanlagen) ab 2030 verfügbar sind oder nicht. Sind CCS-Technologien grosstechnisch verfügbar, sagen die Szenarien-Modelle voraus, dass sie auch zum Einsatz kommen werden und damit das Elektrizitätsangebot durch Gaskraftwerke mit CCS signifikant erhöht wird. Ohne Gaskraftwerke mit CCS bleibt das Elektrizitätsangebot auf das Potenzial der CO_2 -freien, erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien beschränkt. Die zusätzliche CO_2 -arme Stromerzeugung durch Gaskraftwerke mit CCS hat auch Auswirkungen auf Energieverbrauchssektoren wie die Mobilität, deren Technologie-Mix 2050 dann deutlich unterschiedlich ausfallen würde. Die volkswirtschaftlichen Kosten würden durch die Einführung von CCS-Technologien ebenfalls beeinflusst und um ca. 44 Mrd. SFr. (Summe über die Jahre 2010–2050) niedriger ausfallen.



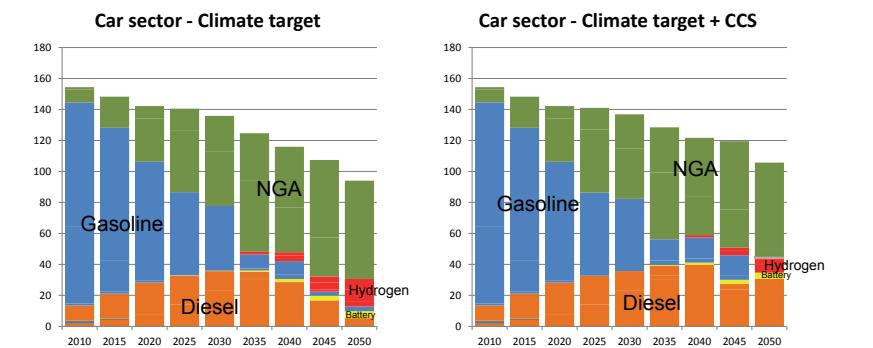
Figur 4: Verteilung der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten für verschiedene Geometrien: kleine Kanalhöhe: obere Bildreihe; grosse Kanalhöhe: untere Bildreihe; Anordnung der Kühlluftstrahlen auf einer Linie: linke Bildhälfte; versetzte Anordnung der Kühlluftstrahlen: rechte Bildhälfte. rot: hoher Wärmeübergang, gute Kühlleistung; blau: keine Kühlwirkung.



Figur 5: Produktionstechnologien und CO_2 -Emissionen für Szenarien der Stromproduktion in der Schweiz auf Basis des Swiss MARKAL-Modells. Alle Szenarien führen zu einer starken Reduktion der CO_2 -Emissionen (~60 %) bis 2050. (links) Ohne CCS-Technologien. (rechts) Mit CCS-Technologien (verfügbar ab 2030).



Figur 6: Szenarien verwendeter Fahrzeug-Antriebstechnologien (auf Basis des Swiss MARKAL-Modells). Beide Szenarien – ohne (links) und mit CCS (rechts) – führen zu einer starken Reduktion der CO_2 -Emissionen (~60%) bis 2050. Wenn CO_2 -arme Stromerzeugungstechnologien zur Verfügung stehen, hat dies voraussichtlich auch Konsequenzen für die Struktur der eingesetzten Fahrzeug-Antriebstechnologien.



Nationale Zusammenarbeit

Die Programmziele sind anwendungs- und umsetzungsorientiert ausgerichtet, 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 un-

terhalten. Im Themenbereich Elektrizität im CCEM-CH besteht eine weitgehende Übereinstimmung der Zielsetzungen mit der Ausrichtung des Programms Kraftwerk 2020. Besonders hervorzuheben sind hier die Projekte *Gasturbinenprozess optimiert für CO₂-Minderung (GT-CO₂)* und *Carbon dioxide management in Swiss power generation (CARMA)*, die direkt im CCEM-CH eingebunden sind und eine finanzielle Förderung aus ETH-Bereichsmitteln erhalten. Sowohl das Projekt CARMA, als auch GT-CO₂, welche einen breiten Bereich von Fragestellungen im Bereich der CO₂-Problematik bearbeiten (Gesamtsystemanalysen, Pre-Combustion Decarbonization, CO₂-Abscheidungstechniken, CO₂-Sequestrierung, sozio-ökonomische Fragen/gesellschaftliche Akzeptanz), und Antworten und Lösungen für die Schweiz suchen, aber auch Resultate von internationaler Bedeutung bereitstellen, sind 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: August 2012), 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. 2011 wurde gemeinsam mit Swisselectric Research ein 1-tägiger Workshop zum Themenbereich Carbon Capture and Storage veranstaltet, in dem der Entwicklungsstand der massgeblichen Technologien und ihre zukünftigen Perspektiven und Potenziale aufgezeigt wurden.

Internationale Zusammenarbeit

Weltweit werden sehr grosse Anstrengungen unternommen, um den Wirkungsgrad von gasbefeuerten Kombikraftwerken zu verbessern und um auf Systemebene die CO₂-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. Durch gegenseitige Berichterstattung bei jährlich statt findenden Programmkonferenzen wird ein regelmässiger Informa-

tionsaustausch gepflegt. Gemeinsame Projekte sind aufgrund nationaler Finanzierungsregeln und komplizierter Konstellationen bezüglich Eigentumsrechten an Projektergebnissen bisher nicht konkret in Betracht gezogen worden.

Die europäische Integration wird durch die Einbettung von Projekten aus dem Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 im derzeit 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 CO₂-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 Einstieg in der begleitenden Länderarbeitsgruppe (Government Group)), als auch die Möglichkeit der Mitgestaltung von gemeinsamen Entwicklungszügen und EU-Arbeitsprogrammen (der Programmleiter ist Mitglied der Arbeitsgruppe Taskforce Technology). Diese Aktivi-

täten 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).

Über Kontakte zu themenrelevanten Initiativen der Internationalen Energie Agentur (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), CCEM-CH

[4] Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts», KW21

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

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

[7] Internationale Energie Agentur (IEA), www.iea.org

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

● ENTWICKLUNG VON VERDICHTERN FÜR DIE ERZEUGUNG VON BRENGAS AUS BIOMASSE

R+D 2.3*

Lead: MAN Turbo AG

Funding: BFE

Contact: Lauber Uwe

uwe.lauber@man.eu

Period: 2006–2010

Abstract: Für die Förderung der Produktgase aus Vergasungsprozessen von Biomasse (aber auch von fossilen, nicht gasförmigen Energieträgern und kohlenwasserstoffhaltigen Prozessrückständen) werden hocheffiziente Verdichter benötigt, die auf die speziellen Gaseigenschaften hin optimiert sind

● TURBOGENERATOR MIT ELEKTRISCHEM WIRKUNGSGRAD VON > 99 %

R+D 2.3

Lead: Alstom (Schweiz) AG, Baden

Funding: BFE

Contact: Keller Stefan

stefan.sk.keller@power.alstom.com

Period: 2006–2010

Abstract: Heutige grosse Kraftwerks-Generatoren erreichen knapp 99% elektrischen Wirkungsgrad. Ventilationsverluste stellen dabei den Hauptanteil an den Gesamt-Verlusten. Durch Optimierung der Ventilator-Geometrie und der Kühlluft-Führung am Eintritt in den Generator sollen diese Verluste drastisch reduziert werden. Neue Isolationsmaterialien, die eine effektivere Kühlwirkung erlauben, tragen ebenfalls zur Wirkungsgrad-Steigerung bei.

● CARMA – CARBON DIOXIDE MANAGEMENT IN POWER GENERATION

R+D 2.3

Lead: ETH Zürich

Funding: BFE

Contact: Mazzotti Marco

marcon.mazzotti@ipe.mavt.ethz.ch

Period: 2009–2012

Abstract: Im CARMA-Projekt wird eine breite Themen-Palette im Zusammenhang mit der Abscheidung und Einlagerung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage) behandelt. Neben Gesamt-Systemanalysen und technisch-ökonomischen Bewertungen unter länderspezifischen Bedingungen und Akzeptanzstudien zur Einführung von CCS, werden auch eine Vielzahl von technisch-wissenschaftlichen Fragestellungen bearbeitet.

● WANDINTEGRIERTE KÜHLUNGSSYSTEME: PRALLKÜHLUNG MIT KOMPLEXEN GEOMETRIEN

R+D 2.3

Lead: EPFL/STI/SE/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 H2 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 BRENGAS AUS BIOMASSE, TEIL 2

R+D 2.3

Lead: MAN Turbo AG

Funding: BFE

Contact: Lauber Uwe

uwe.lauber@man.eu

Period: 2009–2013

Abstract: Die Erzeugung gasförmiger Brennstoffe aus fester Biomasse erfolgt durch Vergasungsprozesse, bestehend aus der Erzeugung des für die Vergasung benötigten Sauerstoffs, und dem Vergasungsprozess der festen Einsatzstoffes (Biomasse, Kohle, Raffinerie-Rückstände). Für die Verwendung der Vergasungsprodukte in Gasturbinen-Kraftwerken müssen diese Produktgase auf ein höheres Druckniveau gebracht werden.

● 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: Die Überbrückung von Spannungsbrüchen im Stromversorgungsnetz (Hochspannungsebene) gewinnt zunehmend an Bedeutung mit der verstärkten Einspeisung fluktuierender Stromerzeugungstechnologien. Generatoren mit konventioneller Technik müssen bisher bei entsprechenden Spannungsschwankungen (bzw. Frequenzschwankungen) vom Netz getrennt werden, und verschärfen damit die Problematik einer sicheren, unterbruchsfreien Stromversorgung.

