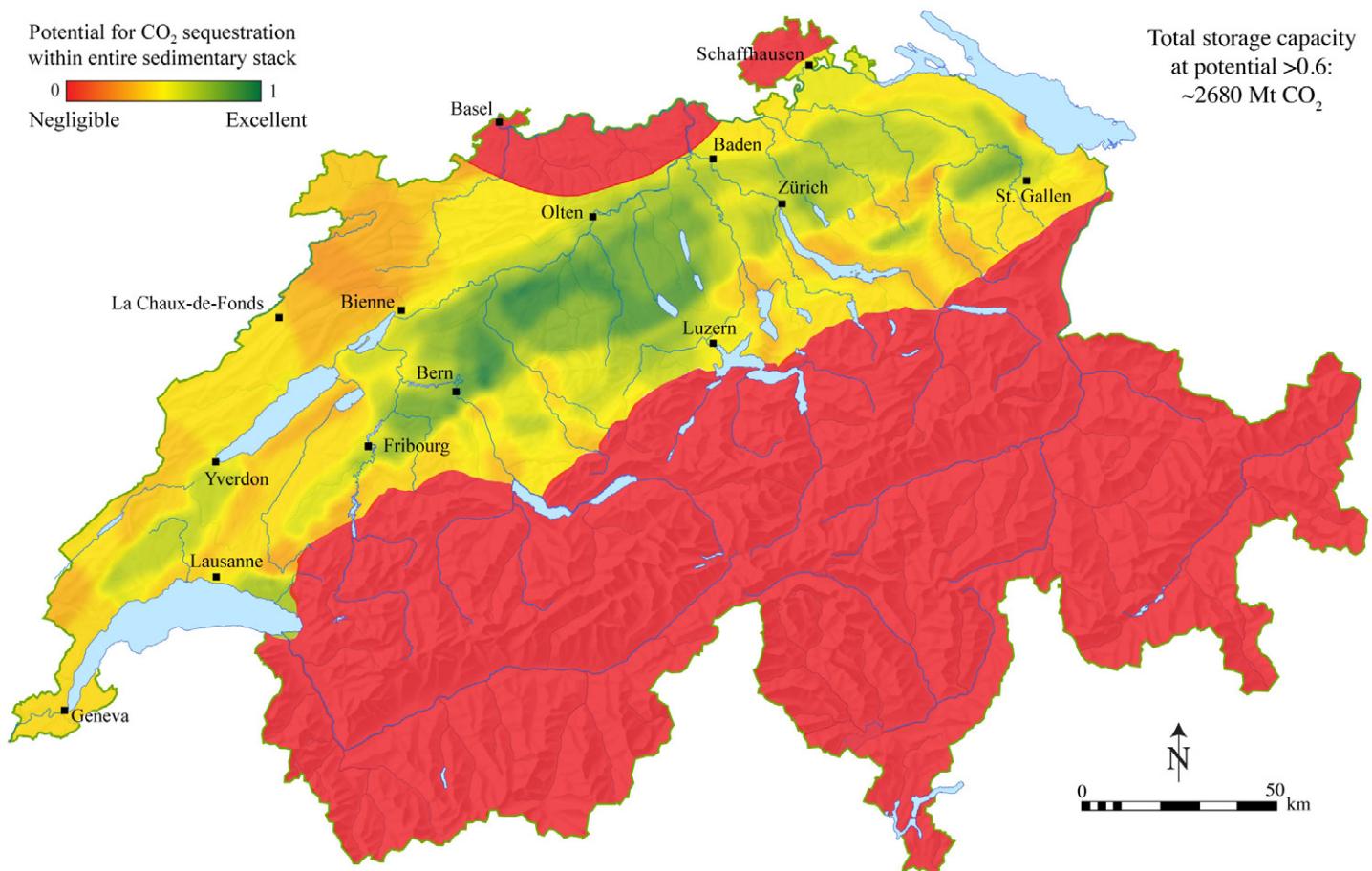


Überblicksbericht 2010

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



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN

## **Titelbild:**

### **Potenziell geeignete Regionen für die Speicherung von CO<sub>2</sub> in der Schweiz**

Karte der Schweiz mit der berechneten räumlichen Verteilung des Potenzials für die CO<sub>2</sub>-Speicherung in tiefen, salinen Wasserleitern (Aquifere), basierend auf Literaturdaten. Die Gebiete mit hohem Potenzial (grün) garantieren noch nicht die Machbarkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung, sondern stellen Regionen dar, in welchen weitere Untersuchungen aus heutiger Sicht am ehesten Erfolg versprechen. Die Gebiete mit Potenzialen über 0,6 haben gesamthaft eine theoretische – noch zu beweisende – Speicherkapazität von 2'680 Mio Tonnen CO<sub>2</sub>.

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

Überblicksbericht 2010

### **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)

[www.bfe.admin.ch/research/Kraftwerk2020](http://www.bfe.admin.ch/research/Kraftwerk2020)

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

## Einleitung

Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Stromimportverträgen mit französischen Kernkraftwerken 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 dabei 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 es erlauben, zu einer Netto-Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem gesam-

ten schweizerischen Energiesystem zu kommen. Die Prozessführung des Kraftwerks ist z. B. so zu gestalten, dass alternative Brennstoffe eingesetzt werden können und CO<sub>2</sub> ganz oder teilweise abgeschieden werden kann. Neu sind seit 2008 auch Prozesse ausserhalb des eigentlichen Kraftwerks, wie z. B. externe Brennstoffaufbereitung oder CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Lagerung integraler Bestandteil des Programms. Aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens kann das Programm aber nur einen signifikanten Beitrag leisten, wenn 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 2015 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.

## 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 fortgeschrittlicher Gaskraftwerke zu gelangen. Dadurch soll auch sichergestellt werden, dass stets die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung zum Einsatz kommen. Die schweizerische Kraftwerksindustrie inklusive der Zulieferfirmen und dem unterstützenden, akademischen Umfeld ist international führend und hat eine starke Marktstellung, die es zu erhalten und zu unterstützen gilt.

Zentrales technisches Ziel 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, CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> darüber hinausgehende CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungspotenziale ausgenutzt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetze stärkeren, kurzfristigeren Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch die anderen Stromerzeuger kompensiert werden müssen. Ein weiteres Ziel des Programms ist es deshalb, Gasturbinenkraftwerke noch besser zu befähigen, zur Stabilisierung der Stromversorgungsnetze beizutragen. 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 Pro-

grammmittel (Wirkungsgradsteigerung: 45 %; CO<sub>2</sub>-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), des Forschungsfonds der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft (Swisselectric Research) sowie von der Europäischen Gemeinschaft im Zusammenhang mit dem 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) unterstützt.

### Rückblick und Bewertung 2010

Nach dem offiziellen Start des Programms Anfang 2006 und der Initiierung einer ersten Welle von Projekten, die den Rahmenbedingungen des Programmkonzeptes [1] gerecht wurden, und der Erweiterung des Programmrahmens im Jahr 2009 auf Themen im Bereich «Abscheidung und Rückhaltung von CO<sub>2</sub> (CCS)», war die Programmentwicklung 2010 stark beeinflusst durch die Umsetzung dieser veränderten Ausrichtung [2].

Nach dem Übergangsjahr 2009, in dem fast alle Projekte der Programm-Anfangsphase abgeschlossen wurden, war das Jahr 2010 auch geprägt durch den Start von teils thematisch ähnlichen Fortsetzungsprojekten. Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projektportfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) immer deutlicher zeigt. Mit neu lancierten Projekten wurden wichtige thematische Lücken (z. B. im Bereich «Schaufelkühlung») geschlossen, und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet. Der zur Verfügung gestellte Finanzrahmen aus BFE-Mitteln wurde 2010 durch laufende Projekte sehr weitgehend ausgeschöpft und erlaubte dementsprechend nur eine mässige Erweiterung des Projektumfangs. Die Ankündigung von zu erwartenden Budget-Kürzungen in den Jahren 2011 ff. führte bereits 2010 dazu, dass auf neue Projekt-Vorschläge nur in sehr begrenztem Umfang eingegangen werden konnte.

### Ausblick 2011

Die BFE-Finanzierung des Programms war 2010 rückläufig. Ein Ausbau ist unrealistisch, auch wenn andere Förderstellen einen gewissen Ausgleich bieten. Ziel bleibt es, durch kontinuierliche Initiierung von Projekten über Forschungsfonds der Elektrizitätswirtschaft (Swisselectric Research) und der Gas- und Ölswirtschaft, und international über das FP7 der EU zu stärken. Das Engagement industrieller Partner ist stark von politischen und gesellschaftlichen Randbedingungen abhängig. Trotz des Fokus auf Schlüsselgebiete und darin auf punktuelle Fragestellungen, ist ein signifikanter technologischer Fortschritt zu erwarten. Mit dem Bereich Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage, CCS) haben sich Chancen ergeben, das Programm noch bedeutsamer für die Entwicklung klima-relevanten Techniken zu gestalten. Nach der Studie über potentielle Speichermöglichkeiten von CO<sub>2</sub>, wird als nächster Schritt ein Abgleich mit bestehenden und geplanten (grossen) CO<sub>2</sub>-Punktquellen erfolgen müssen, um bestmöglich geeignete Standorte für Pilot-Projekte identifizieren zu können. In diesem Kontext wird weiter versucht werden, eines der in der Planungsphase befindlichen Gas- und Dampfkraftwerke in der Schweiz (z. B. Standorte Chavalon oder Cornaux) im Rahmen des Demonstrationsprogramms der EU (European CCS Demonstration Project Network) als eine der ersten GuD-Anlagen mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung zu etablieren.

## Highlights 2010

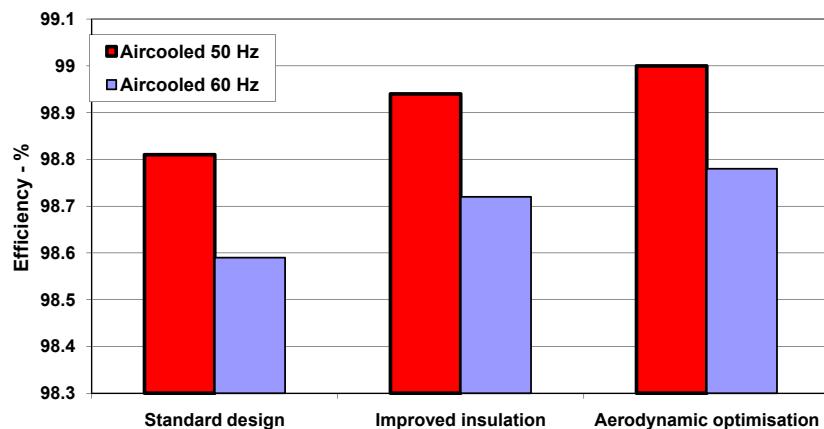
### Steigerung von Komponenten-Wirkungsgraden

Im Projekt *Turbogenerator mit höchstem elektrischen Wirkungsgrad (>99 %)* wurde angestrebt, den Wirkungsgrad von grossen, luftgekühlten Generatoren (bis zu 400 MVA) bis über 99 % zu steigern (derzeitige Stand der Technik: bis zu 98,7 %) und damit einen Beitrag zur Steigerung des Gesamtsystem-Wirkungsgrades von Gas-Dampf-Kraftwerken zu leisten.

Die Wirkungsgradsteigerung sollte durch eine Minimierung der Ventilationsverluste (d.h. Verluste durch aktive Kühlung der elektrischen Leiter) erreicht werden, die gegenwärtig 40 % der gesamten Generatorverluste darstellen. Die Beiträge zur Steigerung des Wirkungsgrads sollen durch 3 Massnahmen bzw. Weiterentwicklungen erreicht werden:

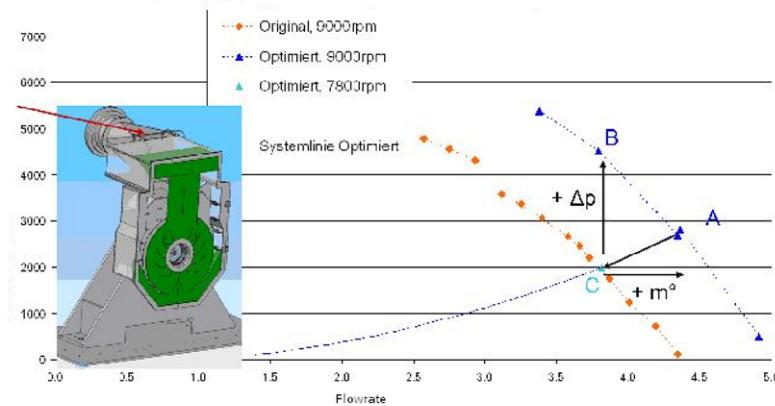
- Verbesserter Wärmetransport zwischen elektrischem Leiter und Kühlmedium durch Entwicklung eines Isolationsmaterials mit günstigeren Eigenschaften (höhere Wärmeleitfähigkeit und/oder höhere Durchschlagfestigkeit);
- Reduzierung des Kühlluftbedarfs durch Entwicklung eines Isolationsmaterials mit besserer Temperaturbeständigkeit (zulässige Materialtemperatur: 180 °C; heutiger Stand der Technik: 155 °C);
- Verbesserung des aerodynamischen Wirkungsgrads (geringer Energieaufwand) des Kühlluft-Gebläses (Lüfterrad ist direkt mit dem Generator-Rotor verbunden) durch eine optimierte Einlass-Geometrie und modifizierte Profilierung der Gebläse-Beschauflung.

Das Projekt wurde 2010 erfolgreich abgeschlossen und hat die angestrebten Zielsetzungen und Verbesserungen im Wirkungsgrad nach bisherigen Berechnungen punktgenau erreicht. Die neuen Isolationsmaterialien und das verbesserte aerodynamische Design des Kühlluft-Ventilators fliessen nun in einem bereits begonnenen (firmeninternen) Entwicklungsprojekt in die Auslegungsregeln zukünftiger Generator-Produkte ein und werden in absehbarer Zeit in einer ersten Maschine am Markt erscheinen und in der Praxis erprobt werden.



Figur 1: Wirkungsgrad-Steigerung durch verbessertes elektrisches Isolationsmaterial und durch optimiertes aerodynamisches Design des Kühlluft-Ventilators.

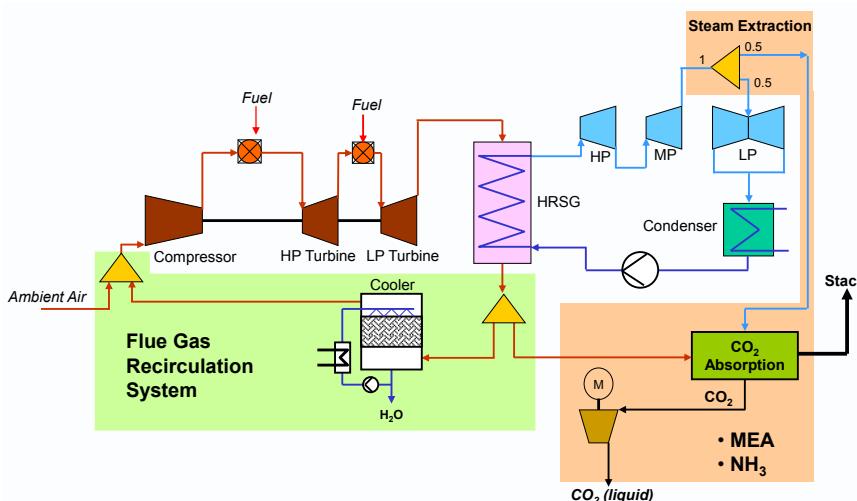
Operating Point	Output gain over Original	Flowrate gain over Original	Pressure rise over Original
A (9000 rpm)	-2.5 %	12.6 %	48.5 %
B (9000 rpm)	5 %	-2.7 %	117.3 %
C (7800 rpm)	<b>-35.9 %</b>	-1.7 %	14.9 %



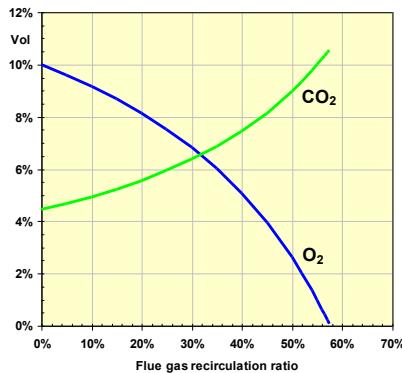
Figur 2: Leistungscharakteristik der optimierten Ventilatorgehäuse-Geometrie (im Vergleich mit der ursprünglichen Betriebslinie) basierend auf Messdaten am skalierten (1:3) Versuchsaufbau

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem akademischen Partner (Fachhochschule Nordwestschweiz) konnte die experimentelle Infrastruktur am FHNW-Standort Brugg-Windisch mit einem anspruchsvollen Ventilator-Prüfstand erweitert werden, welcher in der studentischen Ausbildung und in weiteren ähnlich gelagerten Forschungsprojekten in der Zukunft sicher noch weiterhin sehr gute Dienste erweisen wird. Die am Ventilator-Prüfstand er-

reichten Versuchsergebnisse dokumentieren eindrücklich die erreichten Verbesserungen in den aerodynamischen Eigenschaften, welche auf einem optimierten Zusammenspiel von Einlaufgehäuse-Geometrie und Ventilatorschaufel-Profilen beruhen. Je nach Abstimmung auf die Bedürfnisse der zu kühlenden elektrischen Maschine (im bisherigen Fall: des Generators) können entweder bei gleichem Leistungsaufwand ein höherer (Kühl-)Mas-



Figur 3: Gasturbinen-Prozess-Schema mit Abgasrezykulation und nachgeschalteter CO<sub>2</sub>-Abscheidung.



Figur 4: Auswirkungen der Abgasrezykulation auf Sauerstoff- und CO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas einer Gasturbine.

senstrom (+12.6 %; Betriebspunkt A) oder ein wesentlich erhöhter Vordruck (+117 %; Betriebspunkt B) realisiert werden, oder aber bei gleichen Druck-/Massenstrom-Bedingungen die Leistungsaufnahme des Ventilators um ein Drittel reduziert werden (-35.9 %; Betriebspunkt C).

## Prozess-Modifikationen zur erleichterten CO<sub>2</sub>-Abscheidung

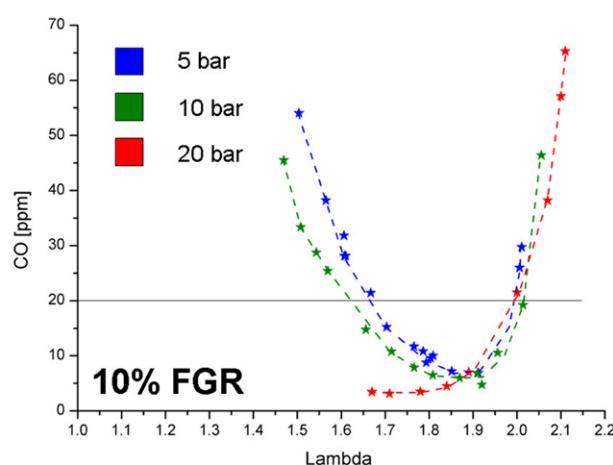
Im Projekt *Gasturbinen mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung* – finanziell gefördert durch Swissselectric Research – wird untersucht, inwiefern durch Abgas-Rezykulation eine erleichterte Abscheidung von CO<sub>2</sub> realisiert werden kann und welche Auswirkungen dies auf die Betriebsbedingungen des Gasturbinen-Verbrennungssystems hat.

Dieser Regenerationsaufwand für die CO<sub>2</sub>-Waschmittel stellt den grössten Teil der parasitären Leistungsverluste dar, die mit der CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Kraftwerksabgasen einhergehen. Da mit höheren CO<sub>2</sub>-Gehalten im Abgas der spezifische Bedarf an Absorptionsmitteln sinkt, stellt die (teilweise) Rezykulation von Abgasen, die zu einer Anreicherung von CO<sub>2</sub> im Abgas führt, eine wirksame Methode dar, um den spezifischen Energiebedarf der CO<sub>2</sub>-Abscheidung zu verringern und damit Wirkungsgradverluste von Kraftwerkssprozessen mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus dem Abgas zu minimieren.

Verbunden mit der CO<sub>2</sub>-Anreicherung im Abgas ist allerdings gleichzeitig eine Abreicherung von Sauerstoff O<sub>2</sub> in Kauf zu nehmen, wodurch sich entsprechende Auswirkungen auf die Verbrennungsprozesse in der Gasturbinenbrennkammer ergeben. Um einen vollständigen Ausbrand des Brennstoffs (Erdgas) sicherzustellen und die CO-Emissionen weiterhin niedrig zu halten (i.d.R. unter 25 ppm), sind minimale Sauerstoff-Gehalte im Abgas von ca. 2 Vol.% nicht zu unterschreiten. Damit ist der max. mögliche Abgasrezykulationsanteil auf unter 50 % limitiert.

Die Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess unter gasturbinen-typischen Betriebsbedingungen genauer zu ermitteln und maximal mögliche Abgasrezykulationsraten festzulegen, ist eine der Hauptzielrichtungen der bisher im Projekt durchgeföhrten theoretischen und experimentellen Untersuchungen.

Typische Emissions-Charakteristiken zeigen einen ausgeprägten Anstieg der



Figur 5: CO-Emissionen unter Gasturbinen-typischen Verbrennungsbedingungen (Brennkammerdruck: 5, 10, 20 bar; Abgasrezykulation: 10 %).

CO<sub>2</sub>-Emissionen ausserhalb eines recht engen Bereichs an Brennstoff-/Luft-Mischungsverhältnissen (ausgedrückt durch den Parameter Lambda, der auf das stöchiometrische Brennstoff-/Luftverhältnis bezogen ist). Besonders im Teillastbetrieb (d.h. bei moderaten Brennkammerdrücken unter 20 bar) sind niedrige CO<sub>2</sub>-Emissionen nur in einem engen Betriebsfenster zu erreichen, wobei sich bei hohen Abgasrezyklikationsraten die Situation zunehmend verschärft.

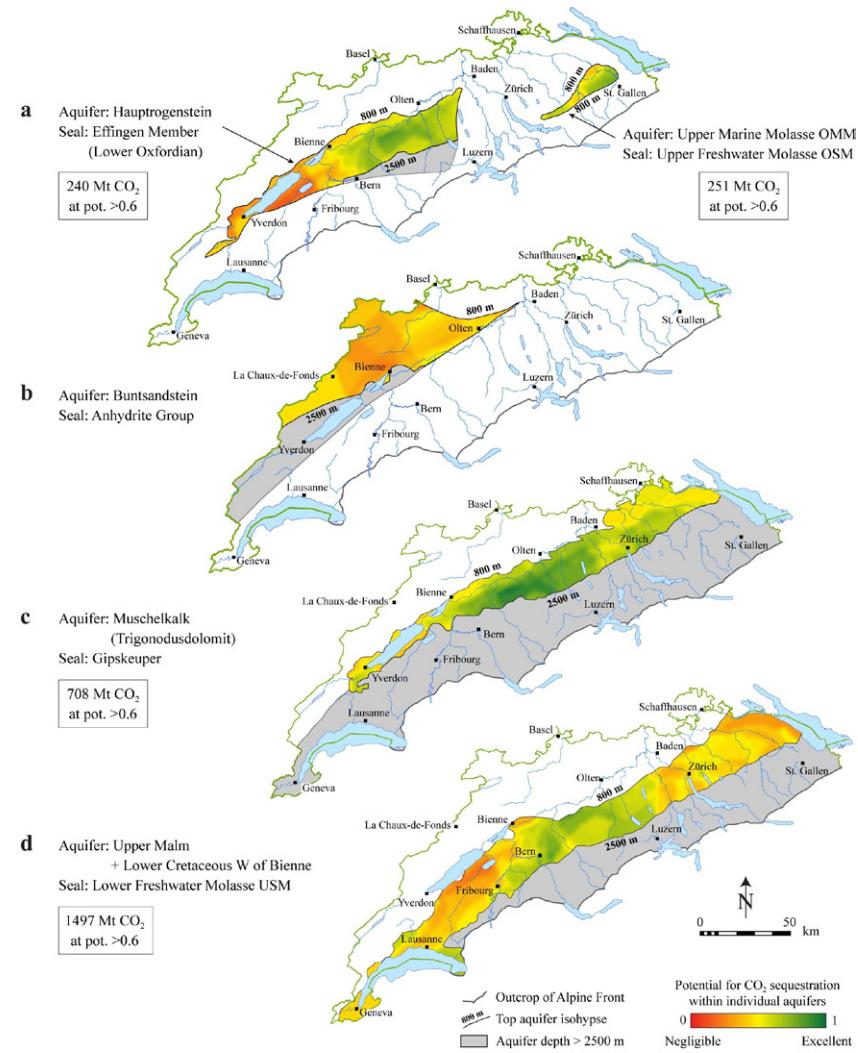
## CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung (Carbon Capture and Storage, CCS)

Im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung für die Schweiz stellt sich die Frage, ob und in wie weit Gaskraftwerke in der Schweiz ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoss durch CO<sub>2</sub>-Abscheidung und geologischer Einlagerung (CCS) innerhalb der Schweizer Landesgrenzen kompensieren können. Um diese Frage näher zu klären, wurde eine Studie zur Abschätzung des Potenzials für die CO<sub>2</sub>-Lagerung in der Schweiz in Auftrag gegeben.

Auf Basis von Literaturdaten, die seit 2005 im Zusammenhang mit der Abschätzung geothermischer Ressourcen erarbeitet wurden, ergibt sich, dass die Schweiz mit hoher Wahrscheinlichkeit über regionale (saline) Tiefenaquifere innerhalb des Molassebeckens verfügt. Diese Schichten dehnen sich über weite Teile des Unter- und Mittelland aus und können viel- und mehrfach genutzt werden. Saline Tiefenaquifere werden allerdings nicht für die Trinkwasser-Gewinnung genutzt, und auch die geothermische Nutzung und die CO<sub>2</sub>-Einlagerung schliessen sich nicht gegenseitig aus.

Die verfügbaren Daten wurden gemäss einer international vergleichbaren «best-practice» Methodik geologischen Kriterien unterworfen (insgesamt 21, welche die notwendige Paarung von Wasser-führenden mit geologisch undurchlässigen Deckenschichten und deren jeweiligen geologischen Eigenschaften beschreiben) und das Speicherpotenzial von 0 (vernachlässigbares Potenzial) bis 1 (ausgezeichnetes Potenzial) abgeschätzt.

Das Kristallin der Alpen und die Sedimente der Walliser, Tessiner und Graubündner Täler sind nach heutiger Einschätzung nicht geeignet für eine



Figur 6: CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial der 4 bedeutendsten Aquifere (Wasser leitende geologische Formationen) im Schweizer Voralpenland.

CO<sub>2</sub>-Speicherung. Aber, die Sedimente des Schweizer Zentralplateau (und zu einem geringeren Massen unter dem Jura) zeigen örtlich ein aus geologischer Sicht bescheidenes bis sehr gutes Potenzial. Mindestens 4 Gesteinsformationen aus Sand- und Kalkstein (salzhaltige Wasser führende Schichten) sind Bestandteil des Plateaus und kommen im bevorzugten Tiefenintervall von 800–2'500 m Tiefe unter der Oberfläche vor. Ungefähr 5'000 km<sup>2</sup> des Plateau (hauptsächlich im Sektor Fribourg–Olten–Luzern) haben ein Speicherpotenzial über 0,6, und ein theoretisches Speichervermögen für insgesamt ungefähr 2'700 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> (zum Vergleich: die gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz betragen ca. 40 Mio. Tonnen; der jährliche CO<sub>2</sub>-Austoss eines 500-MW-Gaskraftwerks im Grundlast-Betrieb beträgt ca. 1 Mio. Tonnen).

Ein hohes geologisch geschätztes Potenzial ist nicht mit einer grundsätzlichen Aussage zur Machbarkeit einer CO<sub>2</sub>-Speicherung gleichzusetzen. Vielmehr soll die Potenzialschätzung dazu dienen, weiterführende Untersuchungen möglichst effektiv an den vielversprechendsten Orten einzusetzen. Damit CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Schweiz in eine Phase der Umsetzung kommen kann, müssten zuerst weit- und tiefgehende zusätzliche Untersuchungen vorgenommen werden, die dann in einer nächsten Phase in einem Pilotprojekt resultieren könnten. Eine Vielzahl weiterer Faktoren und Kriterien müssen dabei in Betracht gezogen werden, wie zum Beispiel die Entfernung zu CO<sub>2</sub>-Punktquellen, andere Nutzungskonzepte und -Pläne für den Untergrund, ein Mess- und Monitoring-Programm und rechtliche Grundlagen.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Programmziele sind anwendungs- und umsetzungsorientiert ausgerichtet, weswegen eine starke Integration und Beteiligung der im angesprochenen Kraftwerksbereich tätigen Herstellerfirmen und Zulieferbetriebe unabdingbar notwendig ist. Ein zentrales Element stellen dabei die Hersteller von Turbomaschinen und Kraftwerkseinlagen dar (z. B. 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.

Während der Programmjahrestagung am 9. Juni 2010 in Bern wurden die Kontakte zwischen den verschiedenen Programtteilnehmern wieder aufgefrischt bzw. neue Verbindungen geknüpft. Die Jahrestagung gab allen Interessierten wieder die Möglichkeit, sich über die Zielsetzungen und den Stand des Programms im

Detail zu informieren und mit potenziellen Projektpartnern in Kontakt zu kommen. Schwerpunktthemen der Jahrestagung 2010 waren die Forschungsprojekte, die sich mit Themen der Effizienzsteigerung/Wirkungsgrad-Verbesserung befassen, sei es durch fortschrittlichere Prozess-Parameter (höherer Druck, höhere Temperaturen), oder durch effizientere Maschinenkomponenten (Brenngasverdichter, elektrische Generatoren). Neue, innovative Kühltechniken und Materialien spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Das nationale Netzwerk des Programms Kraftwerk 2020 wird regelmässig in der Jahresveranstaltung gepflegt (nächster Termin: voraussichtlich August 2011), 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.

Enge Verbindungen werden zum Competence Center Energy & Mobility (CCEM) [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 sind hier die Projekte *Gasturbinenprozess optimiert für CO<sub>2</sub>-Minderung (GT-CO<sub>2</sub>)* und *Carbon dioxide management in Swiss power generation (CARMA)*, die direkt im CCEM eingebunden sind und eine finanzielle Förderung aus ETH-Bereichsmitteln erhalten. Sowohl das Projekt CARMA, als auch GT-CO<sub>2</sub>, welche einen breiten Bereich von Fragestellungen im Bereich der CO<sub>2</sub>-Problematik bearbeiten (Gesamtsystemanalysen, Pre-Combustion Decarbonization, CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechniken, CO<sub>2</sub>-Lagerung, 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.

## Internationale Zusammenarbeit

Weltweit werden sehr grosse Anstrengungen unternommen, um den Wirkungsgrad von gasbefeuerten Kombikraftwerken zu verbessern und um auf Systemebene die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken resp. durch Abscheiden und Lagern ganz zu vermeiden. Deshalb existieren inzwischen in mehreren 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 jährlichen

Programmkonferenzen wird ein regelmässiger Informationsaustausch 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 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 Einsatz 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 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 erfolgen).

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.

### **Schweizer Beteiligung in den IEA Implementing Agreements for Energy Conservation and Emission Reduction in Combustion und Greenhouse Gas R&D Programme**

[www.ieacombustion.net](http://www.ieacombustion.net), [www.ieaghg.org](http://www.ieaghg.org)

## **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).

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

[5] European Turbine Network ([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)

### ● ENTWICKLUNG VON VERDICHTERN FÜR DIE ERZEUGUNG VON BRENNGAS AUS BIOMASSE

2.3\*

Lead:	MAN Turbo AG	Funding:	BFE
Contact:	Lauber Uwe	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 %

2.3

Lead:	Alstom (Schweiz) AG, Baden	Funding:	BFE
Contact:	Keller Stefan	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

2.3

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Mazzotti Marco	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 technico-ökonomischen Bewertungen unter länderspezifischen Bedingungen und Akzeptanzstudien zur Einführung von CCS, werden auch eine Vielzahl von technisch-wissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet.		

### ● WANDINTEGRIERTE KÜHLUNGSSYSTEME: PRALLKÜHLUNG MIT KOMPLEXEN GEOMETRIEN

2.3

Lead:	EPFL/STI/ISE/LTT	Funding:	BFE
Contact:	Ott Peter	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

2.3

Lead:	ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding:	BFE
Contact:	Diestel-Feddersen Lennart	Period:	2009–2013
Abstract:	Turbogeneratoren, Synchronmaschinen die im 50/60-Hz-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 BRENNGAS AUS BIOMASSE, TEIL 2

2.3

Lead:	MAN Turbo AG	Funding:	BFE
Contact:	Lauber Uwe	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.		



