

# *Wissen, was in der Turbine passiert*



Energieversorgung durch kohlendioxidneutrale Brennstoffe – was taugt die Alternative?

Von Dr. Marina Braun-Unkhoff und Dr. Peter Kutne

**H**awaii: Insel-Paradies im Pazifik, Urlaubstraum unzähliger Menschen weltweit. Nur wenige wissen, dass sich dort die älteste Beobachtungsstation für das Messen der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre befindet, im Mauna-Loa-Observatorium, 3.500 Meter hoch über dem Meer. Erschreckend belegt die Messkurve den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration um fast 40 Prozent seit 1800, also vom Beginn der Industrialisierung bis heute. In den 1.000 Jahren zuvor – das weiß die Wissenschaft inzwischen – schwankte die CO<sub>2</sub>-Konzentration nur unwesentlich. Derzeit beträgt der vom Menschen verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Jahr etwa ein Prozent der sich in der Atmosphäre befindlichen Gesamtmenge. Ohne den Versuch, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, würde der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre bis 2050 weiter steigen, um mehr als 30 Prozent. Die Freisetzung von Treibhausgasen wie Kohlendioxid wird als Hauptverursacher für die globale Erwärmung angesehen. Maßnahmen zur Einsparung und Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind also dringend erforderlich.

Stromerzeugung in einem modernen Kraftwerk: Dieses Kombikraftwerk mit integrierter Kohlevergasung von Siemens steht im spanischen Puertollano.

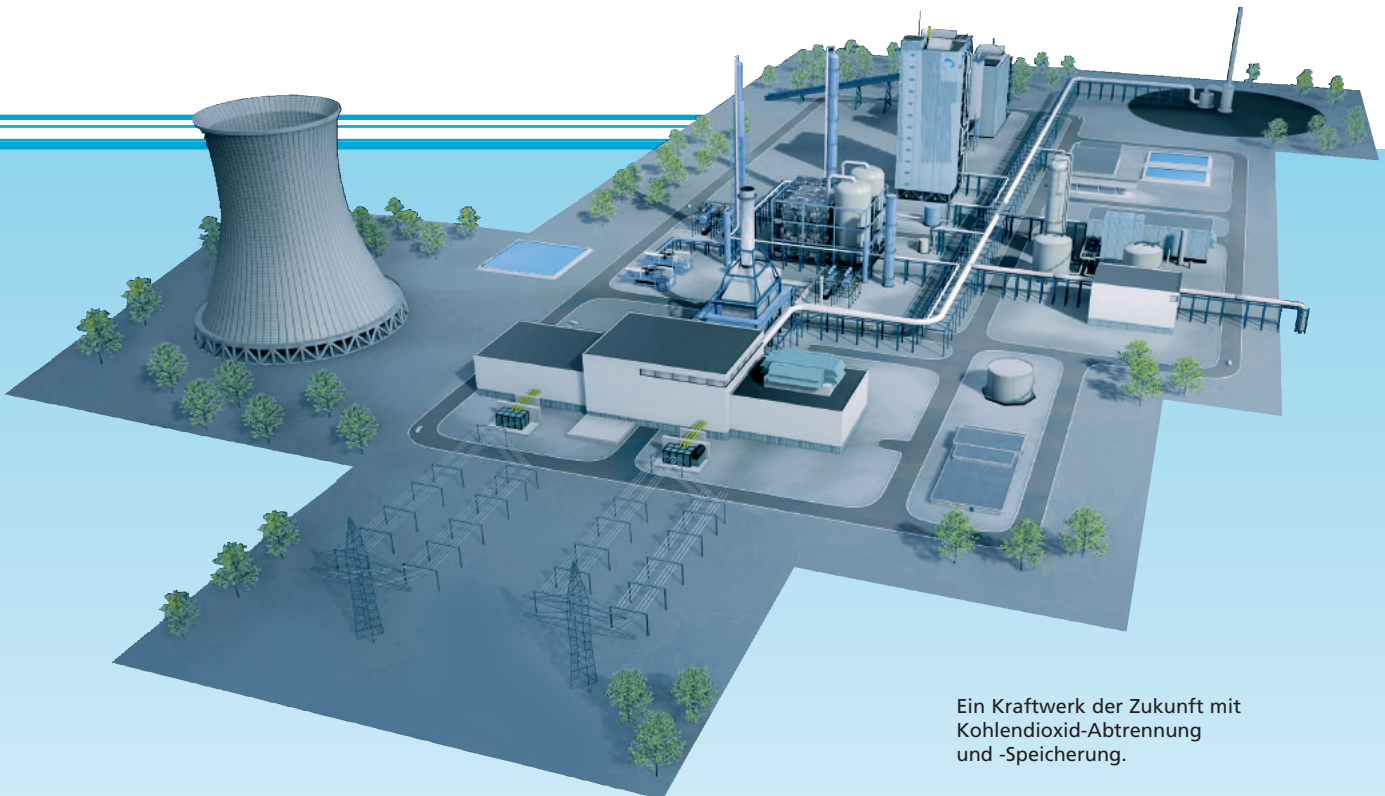
In Deutschland werden etwa 40 Prozent des Primärenergieaufkommens in Kraftwerken „verstromt“. Um den weiter wachsenden Bedarf an elektrischer Energie effizient und umweltschonend zu decken, ist eine Energieumwandlung unter Einsparung und Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen unerlässlich. Techniken zur Nutzung regenerativer Energien, wie Wind, Wasserkraft oder Sonne, sind schon heute verfügbar und finden bereits in vielen Ländern Einsatz. Diese Entwicklung erhielt nicht zuletzt starke Impulse durch die DLR-Forschung zu konzentrierenden Solar-Systemen. Doch der Einsatz regenerativer Energieträger ist nicht überall sinnvoll möglich; die erzeugte Energiemenge ist zudem wetterabhängig und kann nur unter bestimmten Bedingungen bedarfsorientiert gesteuert werden. Deshalb werden „klassische“ Techniken auf absehbare Zeit für die Stromerzeugung erforderlich sein. Die Nutzung alternativer Brenn-

stoffe wird als ein vielversprechender Ansatz für die nachhaltige Energieversorgung gesehen und steht daher im Fokus von Forschung und Industrie.

Als alternative Brennstoffe gelten „CO<sub>2</sub>-neutrale“ Brennstoffe, also solche, die bei ihrer Verbrennung genau so viel CO<sub>2</sub> freisetzen, wie die Pflanze zuvor beim Wachstum gebunden hat. Feste Brennstoffe können direkt zum Antrieb von Dampfturbinen dienen oder durch chemische Umwandlungsverfahren in gasförmige (Synthesegase) oder flüssige Brennstoffe umgewandelt werden; letztere sind auch direkt verwendbar (Kraft- und Treibstoffe). Zu alternativen Brennstoffen zählen feste Brennstoffe wie Holz und biogene Abfall- und Reststoffe, flüssige wie Bioalkohol aus BtL-Prozessen (biomass to liquid) und gasförmige Brennstoffe wie biogenes Methan und Synthesegase. Das Methan

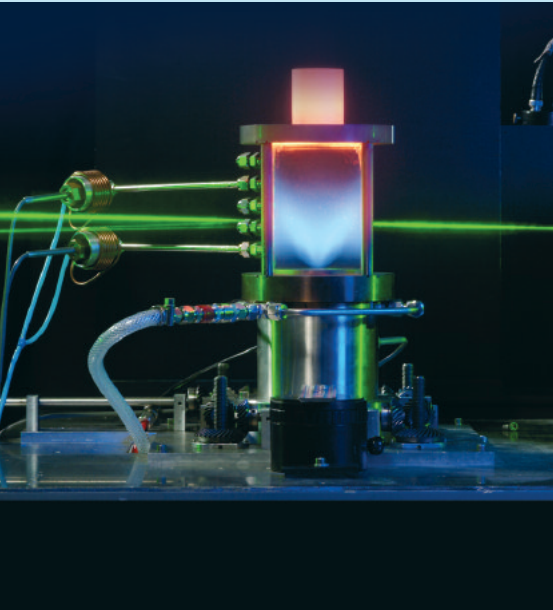
gewinnt man unter anderem aus Vergärungsprozessen von Pflanzenmaterial, die Synthesegase aus der Vergasung von Biomasse oder Wasserstoff, CO<sub>2</sub>-frei mittels Solarenergie aus Wasser produziert.

Beim Vergasungsprozess kann praktisch jeder Brennstoff (Holz, biogene Abfall- und Reststoffe, Kohle, aber auch feuchte Ausgangsmaterialien) zu Synthesegas umgewandelt werden. Dieses Produktgas ist ein brennbares Gasgemisch, das hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid (CO) besteht. Neben der klassischen Nutzung in chemischen Prozessen ist auch die Nutzung zur Stromgewinnung möglich. Die Vergasungstechnik ist auch bei der Verwendung von fossilen oder feuchten Ausgangsstoffen interessant, weil Kohlendioxid vor der Verbrennung abtrennbar ist und so ein besonders wasserstoffreiches Gasgemisch entsteht. Wird dieses Produktgas beispielsweise in



Ein Kraftwerk der Zukunft mit Kohlendioxid-Abtrennung und -Speicherung.

Lasermessung an einer Gasturbinen-Modellbrennkammer.



Visualisierung einer Flamme, betrieben mit Synthesegas.

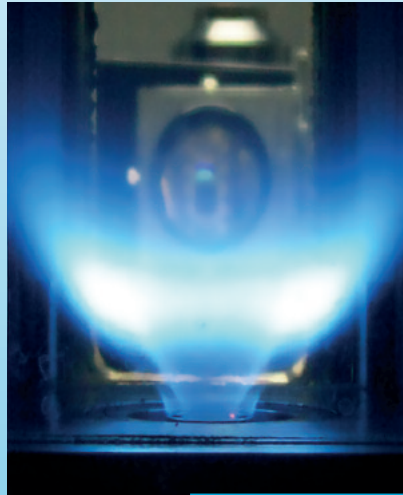


Bild rechts: Charakterisierung des Zündverhaltens von Synthesegasen in einer Stoßwellenrohranlage.

einer Gasturbine zur Stromerzeugung genutzt, so gelingt es, die hohe Brennstoffflexibilität mit der hohen Effizienz des Gas- und Dampfturbinen-Prozesses zu koppeln, und dies unter Reduzierung des Treibhausgas Kohlendioxid. Die Anpassung der Gasturbinen an diese Synthesegase und die Optimierung der Vergasungsverfahren ist derzeit Gegenstand der Forschung.

Eine Möglichkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen mittelfristig zu reduzieren, ist die Abtrennung des bei der Verbrennung frei werdenden Kohlendioxids und seine dauerhafte Einbringung in geeignete Lagerstätten. Die Abscheidung oder Sequestrierung ist Teil des CCS-Prozesses (Carbon Dioxide Capture and Storage) und gestattet eine CO<sub>2</sub>-arme Nutzung fossiler Rohstoffe wie Kohle. Der Energieaufwand für diese Technik ist jedoch hoch. Deshalb werden verstärkt Anstrengungen unternommen, um die bereits vorhandenen Techniken weiterzuentwickeln und zu optimieren.

### Im Wesentlichen gibt es drei unterschiedliche Verfahren:

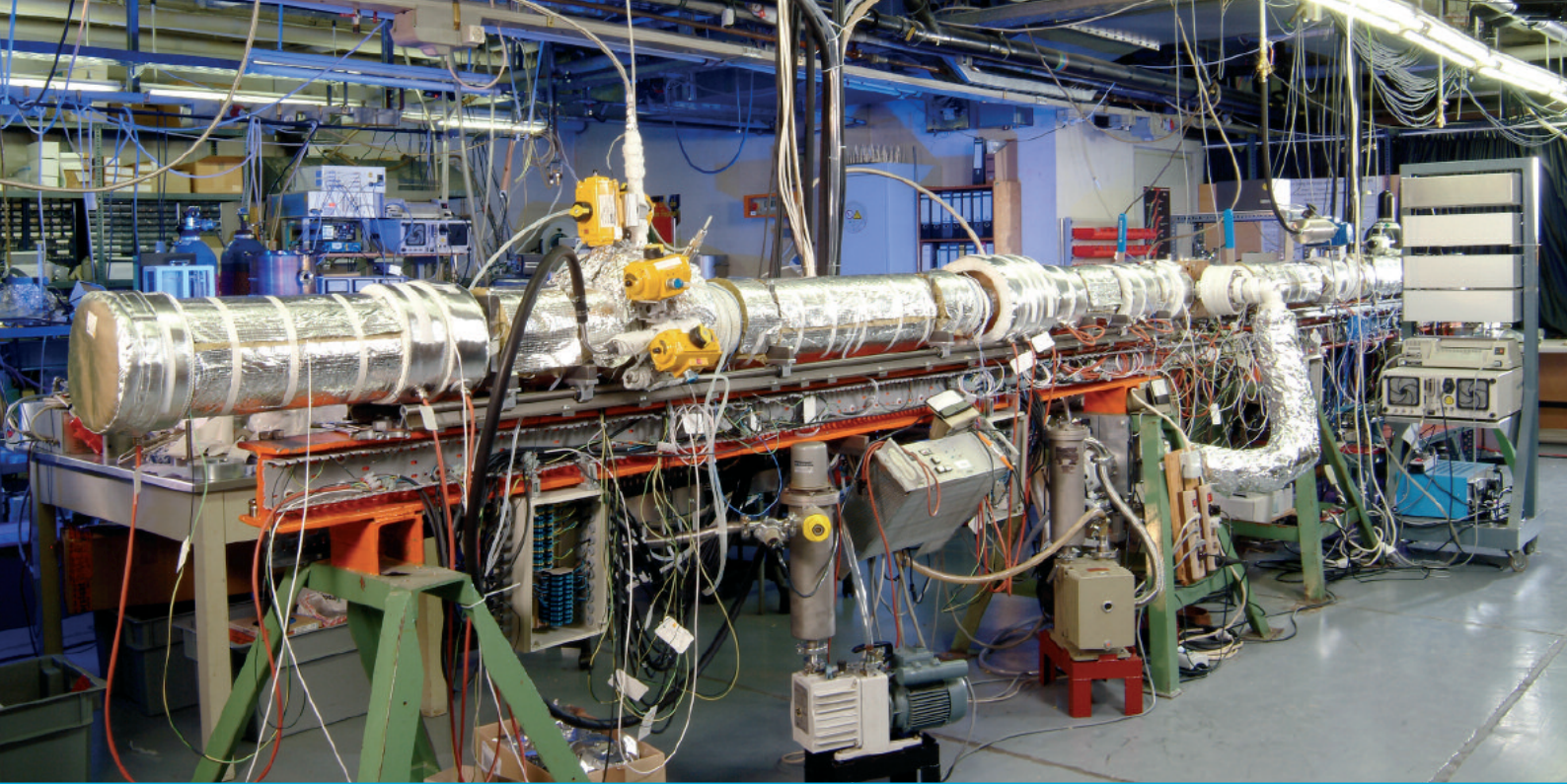
Das so genannte „post-Combustion“ Verfahren trennt das im Rauchgas enthaltene Kohlendioxid nach dem Verbrennungsprozess ab. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass praktisch jedes bestehende Kraftwerk nachrüstbar ist; nachteilig ist der hohe apparative Aufwand.

Beim Oxyfuel-Verfahren wird der Brennstoff nicht in Luft, sondern in Sauerstoffatmosphäre umgesetzt. Dadurch entstehen praktisch nur CO<sub>2</sub> und Wasserdampf, die Bildung von Stickoxiden ist nahezu ausgeschlossen. Der Wasserdampf ist leicht auskondensierbar, sodass reines CO<sub>2</sub> übrig bleibt. Eine Pilotanlage mit einer Leistung von 30 Megawatt<sup>thermisch</sup> soll im Industriepark Schwarze Pumpe Ende 2008 in Betrieb gehen. Nachteil des Oxyfuel-Verfahrens ist, dass der Sauerstoff durch die energetisch aufwändige Zerlegung von Luft gewonnen wird. Effektivere Verfah-

ren, bei denen die Luft beispielsweise durch eine semipermeable Membran zerlegt wird, sind derzeit in der Entwicklung.

Beim „pre-Combustion“-Verfahren wird das CO<sub>2</sub> bereits nach der Vergasung abgetrennt, vor der eigentlichen Nutzung des Produktgases. Da das Volumen dieses Produktgases viel geringer ist als das des Rauchgases, kann die Abtrennung kostengünstiger erfolgen als bei der post-Combustion-Abtrennung.

Im DLR-Institut für Verbrennungstechnik befasst man sich mit experimentellen und numerischen Fragestellungen bei der Verwendung von alternativen Brennstoffen, wie biogener Vergasungsgase oder stark wasserstoffhaltiger Synthesegase. Insbesondere interessieren die Schadstoffbildung sowie die Verbrennungsstabilität, denn genaues Wissen über Prozesse wie Selbstzündung, Wärmefreisetzung und Flammenlöschung sind Voraussetzung für die Nutzung alternativer



Brennstoffe in modernen Gasturbinen. Deshalb werden systematische Validierungsexperimente für verschiedene Parameter (Luftzahl, Vorwärmtemperatur, Brenngaszusammensetzung, Druck) durchgeführt. Mit den experimentellen Daten lassen sich Reaktionsmechanismen für Synthesegase und biogene Gasgemische validieren und optimieren.

So wird eine zuverlässige und umfassende numerische Simulation realer Verbrennungssysteme in komplexen Geometrien ermöglicht, unter Einbeziehung der Wechselwirkung von turbulenter Strömung und Chemie.

Die Arbeiten, die im Rahmen von Industriaufträgen und EU-Projekten erfolgen, erlauben somit eine bessere und zuverlässigere Vorhersage für den Betrieb von Brennern und Gasturbinen sowie zur Auslegung schadstoffarmer und zuverlässiger Brennkammern bei Einsatz von alternativen Brennstoffen. Beispielsweise wurde im Rahmen eines EU-Projektes der

Einsatz von niederkalorischen, wasserstoffreichen Synthesegasen in modernen Gasturbinen untersucht. Das Institut erstellte einen validierten Reaktionsmechanismus zur Implementierung in kommerziellen CFD-Codes für die Beschreibung der Synthesegasverbrennung bei hohen Drücken und Temperaturen. Die heutigen Gasturbinen sind nicht in der Lage, Wasserstoff unverdünnt zu verbrennen. Deshalb entwickelt das Institut zusammen mit Industriepartnern innovative Verbrennungskonzepte, die später von den Gasturbinenherstellern genutzt werden können.

Die Nutzung der Oxyfuel-Verbrennung in Gasturbinen ist besonders reizvoll, da viele der bei anderen CO<sub>2</sub>-Abtrennungsverfahren notwendigen Prozessschritte wegfallen. Bisher gibt es zu diesem Thema nur sehr wenig Erfahrung. Das DLR arbeitet im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Schaffung der entsprechenden Grundlagen, um herauszufinden,

ob eine Gasturbine unter Nutzung des Oxyfuel-Prozesses sinnvoll betrieben werden kann.

Die zukünftige Energieversorgung wird auf einem Energiemix beruhen. Die Forschungsaktivitäten des Instituts für Verbrennungstechnik tragen mit dazu bei, dass eine verlässliche Energie- und Stromversorgung auf Basis einer Vielzahl von einsetzbaren Brennstoffen und unter Gewährleistung von CO<sub>2</sub>-armen oder gar CO<sub>2</sub>-freien Verfahren verwirklicht werden kann. Und wer weiß, vielleicht lassen sich diese Bemühungen auch bald ablesen von den Aufzeichnungen im Mauna-Loa-Observatorium auf Hawaii ...

**Autoren:**

Dr. rer. nat. Marina Braun-Unkhoff und Dr. rer. nat. Peter Kutne aus dem Institut für Verbrennungstechnik des DLR in Stuttgart beschäftigen sich mit Fragestellungen zu einer nachhaltigen Energieversorgung.