

FHNW-Student Felipe Bolaños bei der Arbeit auf dem Prüfstand im Paul Scherrer Institut (Villigen). Dort hat er im Forscherteam von Prof. Timothy Griffin die Verbrennung von wasserstoffreichem Brennstoff in einem Glasbrenner untersucht.

Sauberes Gaskraftwerk dank wasserstoffreichem Brennstoff

Forscher verfolgen die Vision eines Gaskombikraftwerks, das weder Kohlendioxid noch andere Schadstoffe abgibt. Um dieses Ziel zu erreichen, möchten sie das CO₂ vor der Verbrennung aus dem Erdgas entfernen und den zurückbleibenden Wasserstoff als Brennstoff nutzen. Im Labor ist dies schon möglich, wie ein Projekt der Fachhochschule Nordwestschweiz in Windisch zur Verbrennung von Wasserstoff zeigt.

**von Benedikt Vogel, Fachjournalist
(im Auftrag des Bundesamts
für Energie)**

Im Mai 1937 ging die «Hindenburg», das grösste je gebaute Luftschiff, bei der Landung in Lakehurst (USA) in Flammen auf. Der Unfall mit 36 Toten war eine der spektakulärsten Technikkatastrophen des 20. Jahrhunderts. Das Inferno steht bis heute bildhaft für die Gefährlichkeit von Wasserstoff, ein Fanal für den Bau von Luftschiffen überhaupt. Dabei war für die «Hindenburg» ursprünglich das ungefährliche Helium als Traggas vorgesehen. Trotzdem wurde dann der leicht entflammbare Wasserstoff eingesetzt, da die USA kein Helium an Nazi-Deutschland liefern wollten.

Wasserstoff verbrennt zu schnell

Die sichere Nutzung von Wasserstoff ist für Ingenieure auch gut 75 Jahre später noch eine Herausforderung. «Das Gas ist extrem reaktiv, sagt Dieter Winkler. Der Diplomchemieingenieur (56) sitzt im gläsernen Laborgebäude der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in Windisch. Er ist Teil eines Forscherteams, das seit Jahren untersucht, wie sich die Verbrennung von Wasserstoff für die Erzeugung «sauberer» Energie nutzen lässt. Mit dem Beamer wirft Dieter Winkler das

Bild einer Versuchsbrennkammer an die Wand. Brennkammern dieser Art werden – in komplexer industrieller Ausführung – von Gaskraftwerken zur Verbrennung von Erdgas und anderen fossilen Brennstoffen eingesetzt. Winkler und seine Forscherkollegen haben versucht, die Brennkammer – statt mit Erdgas – mit Wasserstoff zu betreiben. Im Mischer vermengten sie den Wasserstoff mit Luft und verbrannten ihn in der dahinterliegenden Brennkammer. Doch der Wasserstoff entflammte so schnell, dass die Flamme aus der Brennkammer in den Mischer zurückschlug und diesen zu zerstören drohte. «Zu unsicher für die Anwendung in einem Kraftwerk», resümiert Winkler.

Die Forscher der FHNW haben einen Brenner aus Quarzglas konstruiert. Damit lässt sich die Verbrennung von Wasserstoff von Auge beobachten.

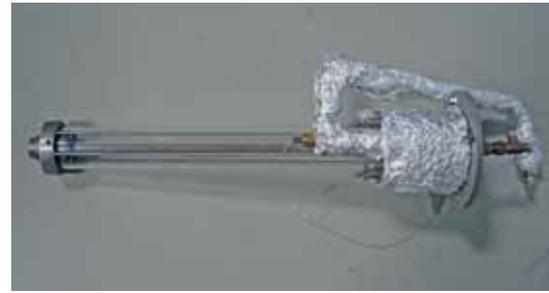
Drei Jahre lang haben die Forscher der FHNW die Verbrennung von Wasserstoff untersucht mit dem Ziel, einen Beitrag zur Schweizer Energiezukunft zu leisten. Das Fernziel des vom Bundesamt für Energie und der grossen Schweizer Stromkonzerne unterstützten Projekts: ein CO₂-freies Gaskraftwerk. Ein solches Kraftwerk ist auf dem Papier einfach zu konstruieren: Statt Erdgas zu verbrennen, würde das Erdgas vor der Verbrennung in Wasserstoff und CO₂ aufgetrennt. Nur der Wasserstoff würde dann durch Verbrennung zur Stromerzeugung genutzt. Die Forscher in Windisch wollten wissen, ob die Verbrennung des leicht entzündlichen Wasserstoffs gelingt – und zwar so sicher, dass eine industrielle Stromproduktion möglich ist, und so sauber, dass der Schadstoffausstoss unter den Grenzwerten liegt.

Brennertests im Forschungslabor der FHNW und am PSI

Auf diesem Weg mussten die Forscher der Fachhochschule auch Rückschläge hinnehmen. Doch unter dem Strich tönt das Ergebnis nach drei Jahren Forschung ermunternd: «Wir haben ein Verfahren

entwickelt, mit dem wir reinen Wasserstoff sicher verbrennen können, wobei nur sehr geringe Emissionen des Schadstoffs Stickoxid entstehen», fasst Dieter Winkler das Ergebnis des Forschungsprojekts zusammen, das im Frühjahr 2013 endet. Lassen sich die Ergebnisse aus dem Labor industriell umsetzen, könnte das am Ende zu einem mit Wasserstoff befeuerten Grosskraftwerk führen, auch wenn bis dahin noch zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen sind.

Um diesen Nachweis zu erbringen, konstruierten die Forscher gemeinsam mit den FHNW-Studenten verschiedene Typen von Brennern und testeten diese auf Prüfständen der FHNW im Alstom-Werk in Birr (Alstom selber war kein Projektpartner) und des Paul Scherrer Instituts (PSI) in Villigen. Da Wasserstoff so leicht entflammt und wegen seiner Reaktionsfähigkeit nicht auf die gleiche Weise verbrannt werden kann wie Erdgas, mussten sie neue Wege gehen. Ein Weg, um die leichte Entflammbarkeit von Wasserstoff zu beherrschen, besteht darin, den Zeitraum zwischen Luftbeimischung und Zündung zu verkürzen – dies aber führt



Der Bau eines Brenners zur Verbrennung von Wasserstoff war für die Forscher der FHNW eine Herausforderung. Bei der Konstruktion mussten sie den Umstand berücksichtigen, dass sich Quarzglas unter Hitzeeinfluss praktisch nicht ausdehnt, die Metallteile hingegen schon.



SIEMENS

Intelligente Gebäude steigern die Produktivität und sparen Ressourcen.

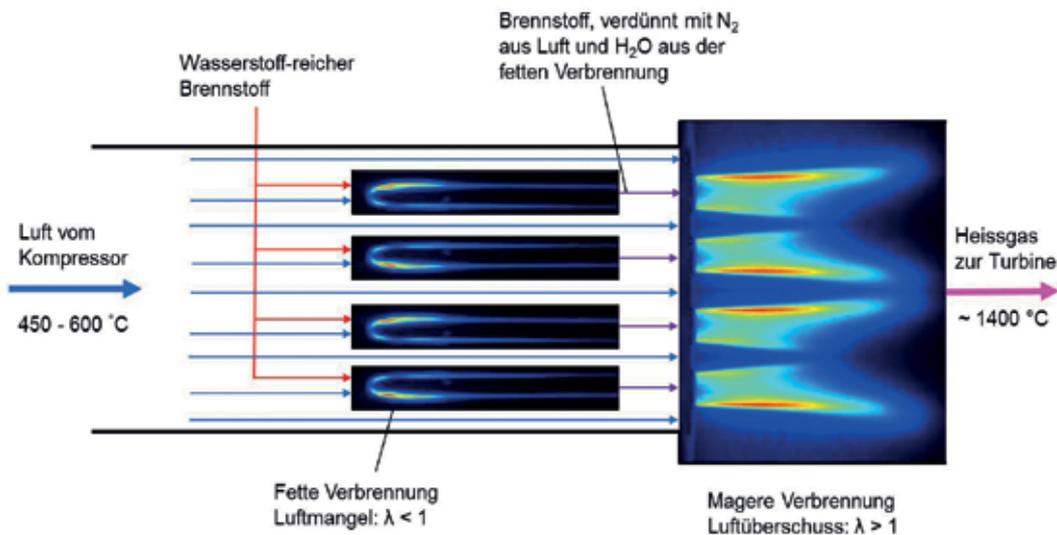
Effizienzgewinne sind Gewinne, die man immer wieder macht.

www.siemens.ch/buildingtechnologies

Unternehmer stehen auf unterschiedlichen Ebenen in der Verantwortung: sie sollen Mitarbeitende und Geschäftsprozesse schützen, Ressourcen schonen, Energiesparpotenziale ausschöpfen und ein nachhaltiges Energiemanagement betreiben. Intelligente Gebäudetechnik unterstützt diese Vorhaben, ermöglicht Energieeinsparungen von bis zu

50 Prozent und reduziert den CO₂-Ausstoss – ohne Abstriche beim Komfort. Die präzise Interaktion zwischen der Gebäudeautomation und den Sicherheitssystemen sorgt für mehr Sicherheit, Flexibilität und Effizienz der Immobilie, was sich täglich bezahlt macht. Damit bleibt Siemens der bevorzugte Partner von weitsichtigen Unternehmern.

Answers for infrastructure.



Schematische Darstellung für die zweistufige Verbrennung von wasserstoffreichem Brennstoff: In der ersten, «fetten» Verbrennungsstufe (Mitte) wird dem Brennstoff (H_2) Luft (N_2/O_2) zugefügt, allerdings weniger, als zur vollständigen Verbrennung nötig wäre. Ein Teil des Wasserstoffs verbrennt zu Wasserdampf (H_2O , Verbrennungsprodukt) und verdünnt zusammen mit dem Stickstoff (N_2 , «Restprodukt» der verbrannten Luft) den restlichen Wasserstoff. In der zweiten, «mageren» Stufe wird dem Brennstoff wieder Luft zugefügt, diesmal mehr, als zur vollständigen Verbrennung nötig wäre. Jetzt verbrennt der verbliebene Wasserstoff vollständig zu einem Heissgas (bestehend aus Wasserdampf, Stickstoff und Luft), das in einer Turbine genutzt werden kann. Die in der ersten Verbrennungsstufe entstandenen Stoffe Wasserdampf und Stickstoff sind sehr willkommen. Sie reduzieren die Reaktivität des Wasserstoffs und bändigen damit den Brennstoff-Umsatz in der zweiten Verbrennungsstufe.

zu schlechterer Mischungsqualität von Brennstoff/Luft und damit zu extremen Verbrennungstemperaturspitzen und zu hohen Emissionen an unerwünschten, weil giftigen Stickoxiden (NO_x). Alternativ kann man die Reaktivität des Wasserstoffs durch Beimischung grosser Anteile Stickstoff oder Wasserdampf reduzieren – das vermindert zwar die Schadstoffemissionen, zugleich aber auch den Wirkungsgrad des Kraftwerks.

Verbrennung nach dem Fett/Mager-Konzept

Der Ausweg aus dieser Zwickmühle ist die Verbrennung in zwei Stufen: In der ersten Stufe wird nur die Hälfte des Wasserstoffs verbrannt, indem nur die Hälfte der Luftmenge zugeführt wird, die für eine vollständige Verbrennung des gesamten Wasserstoffs nötig wäre. In der zweiten Stufe wird dann sogar mehr Luft zugeführt, als zur vollständigen Verbrennung erforderlich wäre. Die erste Stufe wird «Fett-Stufe» genannt, die zweite «Mager-Stufe», das gesamte Konzept entsprechend «Fett/Mager-Konzept». Dieses Verfahren hat das Potenzial für ähnlich hohe Wirkungsgrade, wie sie derzeit bei modernsten Gaskraftwerken erzielt werden (ca. 60 Prozent). Und es ist vergleichsweise schadstoffarm: Bisher konnten die Forscher die Emission von Stickoxiden auf 40 ppm (normiert auf 15% O_2) reduzieren (bei einer typischen Verbrennungstemperatur von 1750 Grad Kelvin). Das ist zwar noch doppelt soviel, wie der Grenzwert in den meisten europäischen Ländern zu-

lässt. Die Forscher sind aber zuversichtlich, den Schadstoffausstoss mit weiteren Optimierungen unter den Grenzwert drücken zu können. Insbesondere dürfte dies durch eine bessere Reaktionsführung gelingen, bei der die Verbrennung nicht lokal konzentriert, sondern besser verteilt erfolgt. Eine andere wichtige Verbesserung haben die Forscher schon im Projekt erzielt: Sie konnten die Fett-Stufe so bauen, dass trotz des Sauerstoffmangels kein Katalysator für die Umsetzung des Brennstoffs (H_2) erforderlich ist. Das ist bedeutsam für eine spätere industrielle Nutzung eines Wasserstoff-Brenners, weil es dessen Baukosten senkt.

Technik mit längerfristigem Potenzial

Die Ergebnisse aus Windisch zeigen neue Wege bei der künftigen Energieumwandlung auf. Doch sind sie auch der Schlüssel zum Bau moderner Gaskombikraftwerke, die nach Auffassung mancher Energiepolitiker ab 2020 an die Stelle stillgelegter Kernkraftwerke treten sollen? «Unsere Forschung zeigt: Es gibt das Potenzial, Wasserstoff in Gaskraftwerken sicher und sauber zu verbrennen», sagt Professor Timothy Griffin, Leiter der Verbrennungsgruppe des Instituts für Thermo- und Fluid-Engineering an der FHNW. Doch Griffin will keine falschen Hoffnungen wecken. Zwar funktioniert die Technik im Labor, sagt er, doch sei noch ein erheblicher Entwicklungsaufwand nötig, bis Gaskraftwerke mit reinem Wasserstoff ohne CO_2 -Ausstoss auf den Markt kommen.

Griffin kann sich aber vorstellen, dass mit Erdgas betriebene Gaskraftwerke in der Schweiz so konstruiert werden, dass sie später auf den Brennstoff Wasserstoff umgerüstet werden können. Doch diese Perspektive ist zur Zeit eher ein Gedankenspiel. Denn ein mit Wasserstoff betriebenes Kraftwerk wäre erst rentabel, wenn der CO₂-Ausstoss durch die Politik deutlich verteuert würde. Zudem ist die Gewinnung von Wasserstoff aus Erdgas (oder Erdöl, Kohle) erst denkbar, wenn die Speicherung des abgeschiedenen CO₂ im Untergrund technisch problemlos möglich ist und von der Bevölkerung akzeptiert wird.

Bestandteil zukünftiger Energiesysteme

Das FHNW-Projekt ist Teil eines grösseren Forschungsvorhabens zu CO₂-freien Gaskraftwerken. In diesem Rahmen untersucht die ETH Lausanne (EPFL) die Stoffflüsse und Energiebilanzen in einem Kraftwerkssystem, das Wasserstoff als Brennstoff nutzt. Das PSI in Villigen wiederum will mit kinetischen Berechnungen von Verbrennungsreaktionen das theore-

tische Verständnis der Verbrennungsprozesse verbessern. «Auch in zukünftigen Energiesystemen mit stark reduzierten CO₂-Emissionen haben Gaskraftwerke eine wichtige Rolle zu spielen», sagt Dr.-

Ing. Peter Jansohn, der am PSI eine Abteilung zur Verbrennungsforschung leitet und die Forschungsprojekte von FHNW, EPFL und PSI im Auftrag des Bundesamts für Energie koordiniert. ●

Wasserstoff aus fossiler oder erneuerbarer Quelle

Wasserstoff kann aus unterschiedlichen Quellen stammen, beispielsweise aus Kohle, Erdöl oder Erdgas. Zur Herstellung von Wasserstoff wird einer dieser drei Ausgangsstoffe «reformiert», also in ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid (CO) umgewandelt. Dieses sogenannte Synthesegas kann in katalytischen Reaktoren durch Zugabe von Wasser in Wasserstoff und CO₂ transformiert werden («Wassergas-Shift-Reaktion»). Jetzt kann das CO₂ abgeschieden werden; der Wasserstoff steht dann der Energieerzeugung zur Verfügung.

Mit diesem Verfahren kann ein Brennstoff hergestellt werden, der zu 99 Prozent aus

Wasserstoff besteht. In einem wasserstoff-befeuerten Gaskraftwerk würde der Wasserstoff-Anteil aber nicht ganz so hoch liegen, sondern bei gut 80 Prozent (der Rest: Stickstoff und andere Begleitstoffe). Man spricht hier von «wasserstoffreichem Brennstoff».

Wasserstoffreicher Brennstoff lässt sich nicht nur aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas herstellen. Wasserstoff kann auch ein erneuerbarer Energieträger sein, dann nämlich, wenn er aus Biogas, aus vergastem Holz oder mit erneuerbarem Strom mittels Elektrolyse aus Wasser gewonnen wird. BV



www.isource.ch

OUTSOURCING SERVICES CONSULTING ENGINEERING IT SERVICE CENTER

Zahlreiche Kunden aus den unterschiedlichsten Branchen verlassen sich täglich auf die langjährige Erfahrung und die ausgewiesenen Spezialisten von iSource. Ein Höchstmass an Sicherheit und Verfügbarkeit ist für iSource deshalb eine Selbstverständlichkeit. Einige wichtige Leistungen im Überblick:

- ICT Outsourcing für KMU mit über 40 Services nach Mass
- Integration von Cloud-Angeboten – Desktop as a Service / DaaS
- Infrastructure and Platform as a Service / IaaS und PaaS
- Transparente Abrechnung der effektiv bezogenen Leistungen
- Betrieb von drei Hochverfügbarkeits-Rechenzentren
- Konzeption, Realisierung und Betrieb von hochverfügbaren und Disaster-Recovery-fähigen Lösungen
- IT-Koordination – der perfekte VIP-Service und kompetentes Bindeglied zwischen Ihrem Business und der ICT

iSource AG | Sägereistr. 24 | 8152 Glattbrugg | Tel. 044 809 97 00

IT Outsourcing für erfolgreiche KMU

