

# Hybrid ist „in“



Energie aus  
Gasturbine und  
Hochtemperatur-  
brennstoffzelle

Von Axel Widenhorn

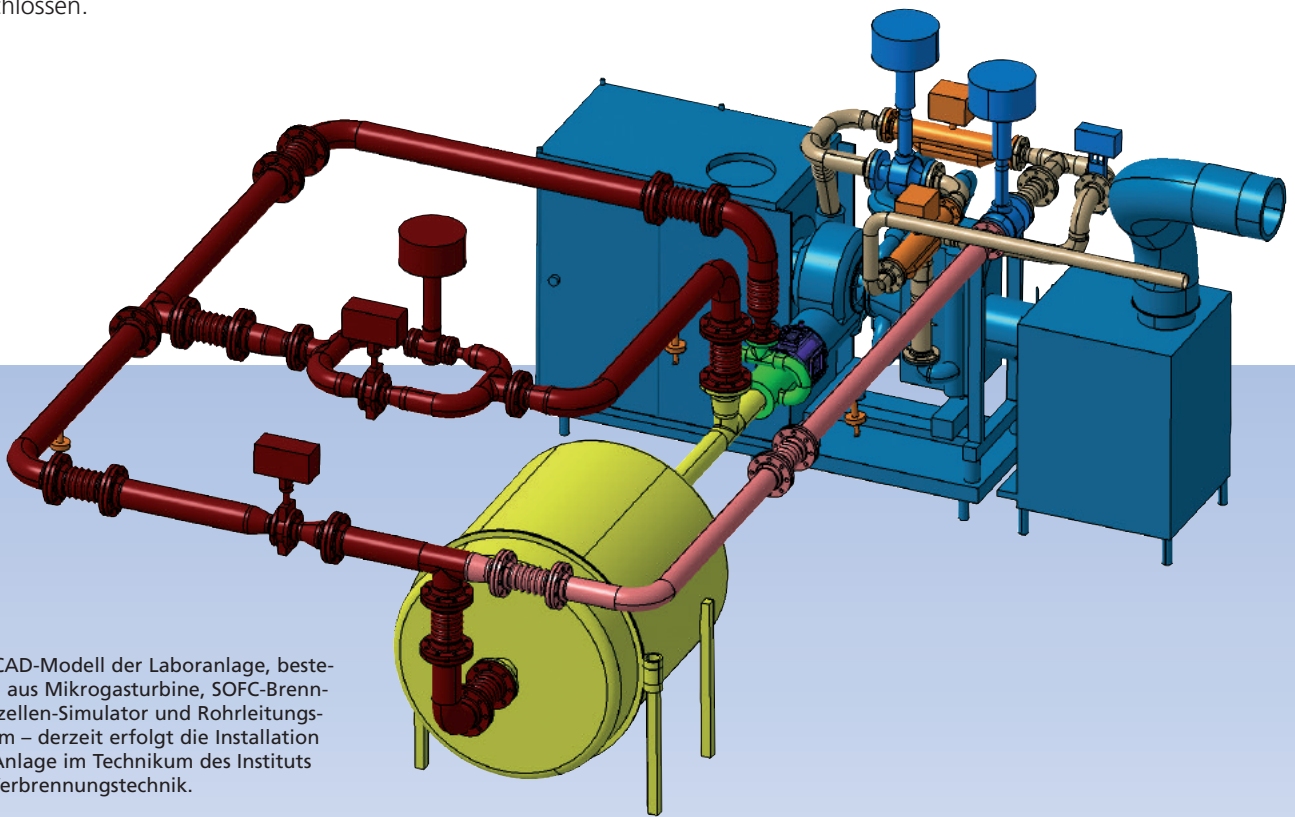
In den nächsten zwei Jahrzehnten erwarten Experten weltweit eine Steigerung des elektrischen Energiebedarfs um zirka 70 Prozent. Zur Deckung des wachsenden Strombedarfs werden daher zusätzliche Kraftwerkskapazitäten erforderlich. Darüber hinaus müssen in diesem Zeitraum allein in Deutschland Altanlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 40 Gigawatt erneuert werden. Gleichzeitig werden die verfügbaren Ressourcen an konventionellen fossilen flüssigen und gasförmigen Brennstoffen knapper. Dies sind Kernaussagen einer Einschätzung der Internationalen Energieagentur, die den Forschungs- und Innovationsbedarf auf dem Kraftwerkssektor nachhaltig unterstreichen. Im DLR wird an neuen effizienten Technologien gearbeitet. Eine davon ist das Hybrid-Kraftwerk.

Eine zukunftsorientierte und zudem finanzierbare Stromerzeugung unter den aktuellen Rahmenbedingungen erfordert die Entwicklung von hoch-effizienten Energie-Technologien und Anlagenkonzepten, mit denen der elektrische Wirkungsgrad von fossil befeuerten Kraftwerken erhöht und der Schadstoffausstoß zugleich minimiert werden kann. Ein mögliches Anlagenkonzept, welches diese Forderungen erfüllt, ist das Hybrid-Kraftwerk. Hierbei wird eine Gasturbine mit einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) gekoppelt, was langfristig den höchsten erreichbaren elektrischen Wirkungsgrad bei der Stromproduktion verspricht. Zur Umsetzung eines solchen Kraftwerktyps haben sich die DLR-Institute für Verbrennungstechnik und Technische Thermodynamik sowie das Institut für Luftfahrtantriebe der Universität Stuttgart und Industriepartner zu einem virtuellen Institut zusammengeschlossen.

Große zentrale Gas- und Dampfkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von mehreren hundert Megawatt wandeln bereits über 60 Prozent der eingesetzten Energie in Strom um. Der Rest wird dabei ineffizient als Abwärme zum größten Teil ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Im Vergleich hierzu nutzen die dezentralen Kraftwerke im unteren Kilo- und Megawatt-Bereich deutlich weniger als die Hälfte der eingesetzten Energie zur Stromproduktion. Allerdings erlauben sie es, die Abwärme zum Heizen von Wohnungen zu verwenden. Hybrid-Kraftwerke erreichen indes bereits im unteren Kilowatt-Bereich einen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 53 Prozent. Im Vergleich zur Brennstoffzelle als beste Einzelkomponente und mit einem Wirkungsgrad von 46 Prozent bedeutet dies eine Steigerung um

sieben Prozentpunkte. Für eine Anlage mit fünf Megawatt elektrischer Leistung, welche zur Stromversorgung einer Kleinstadt mit 5.000 Einwohnern genügt, ist ein elektrischer Wirkungsgrad von bis zu 60 Prozent realistisch. Abhängig von der Anlagengröße und den verwendeten Komponenten sind sogar grundsätzlich Wirkungsgrade von bis zu 70 Prozent denkbar. Das dezentrale Anlagenkonzept beim Hybrid-Kraftwerk bietet also neben der Stromproduktion auch eine effiziente Ausnutzung der erzeugten Wärme.

Das Geheimnis dieses innovativen Kraftwerkkonzepts liegt im Zusammenwirken von Hochtemperaturbrennstoffzelle und Gasturbine. Die Betriebstemperatur der mit Überdruck betriebenen Brennstoffzelle liegt bei zirka 1.000 Grad Celsius (°C).



3-D-CAD-Modell der Laboranlage, bestehend aus Mikrogasturbine, SOFC-Brennstoffzellen-Simulator und Rohrleitungssystem – derzeit erfolgt die Installation der Anlage im Technikum des Instituts für Verbrennungstechnik.

Neben Strom entstehen über 850 °C heiße Abgase. Diese werden dann der Gasturbinenbrennkammer zugeführt. Durch die beim Eintritt in die Brennkammer erhöhte Temperatur der zuvor verdichteten Prozessluft benötigt die Gasturbine im Vergleich zum klassischen Gasturbinenkreislauf bedeutend weniger Brennstoff. Durch die Entspannung der Prozessluft in der nachgeschalteten Turbine auf annähernden Umgebungsdruck wird elektrischer Strom produziert. Die Druckaufladung dient dazu, die elektrische Leistung bei gleichem Brennstoffeinsatz in der Brennstoffzelle zu erhöhen.

Das Arbeitsprogramm zur Umsetzung des Hybrid-Kraftwerks umfasst sowohl intensive Grundlagenforschung als auch den Technologietransfer der zunächst im Labor gewonnenen Erkenntnisse. Hierbei betreten die Wissenschaftler in etlichen Bereichen Neuland. Zunächst analysieren sie das Betriebsverhalten der einzelnen Komponenten der Gesamtanlage experimentell, parallel dazu werden entsprechende numerische Modelle

implementiert und validiert. Darüber hinaus ist es erforderlich, die Brennkammer der Gasturbine neu zu entwickeln, um unter den veränderten Randbedingungen, wie der deutlich erhöhten Brennkammereintrittstemperatur, zuverlässige Ergebnisse zu erzielen.

Die Verbrennungsprozesse der Luft-Brennstoff-Gemische sowohl in der Brennstoffzelle als auch in der Gasturbinenbrennkammer sind bislang noch nicht detailliert erforscht. Eine besondere Herausforderung stellt die Regelung des Gesamtsystems dar, denn die Subsysteme Gasturbine und Hochtemperaturbrennstoffzelle verhalten sich höchst unterschiedlich. Beispielsweise benötigt die Brennstoffzelle mehrere Stunden, um die Nennleistung zu erbringen, während die Gasturbine dies innerhalb weniger Minuten erreicht. Daher entwickeln die Wissenschaftler zur Validierung der komplexen Regelung entsprechende Computer-Modelle. Erst im folgenden Schritt wird die Regelung an der Laboranlage, welche derzeit im Technikum des DLR-Insti-

tuts für Verbrennungstechnik aufgebaut wird, getestet.

Hierbei ersetzt zunächst ein Simulator die Hochtemperaturbrennstoffzelle. Dieser bildet die thermodynamischen und strömungsmechanischen Größen einer Brennstoffzelle realitätsnah ab. Damit wird bei der Validierung der unterschiedlichen Regelungsstrategien einer Beschädigung der auf schnelle transiente, also sich zeitlich ändernde, Vorgänge sensibel reagierenden Brennstoffzelle vorgebeugt. Die Experten untersuchen dabei Konzepte für das Hochfahren, Ausschalten, den Lastwechsel sowie die Not-Abschaltung. Darüber hinaus analysieren sie neben der Regelung anhand dieser Anlage auch den Einfluss des Rohrleitungssystems inklusive der Brennstoffzelle auf das Betriebsverhalten der Gasturbine. Zusätzlich dient die Anlage zur Untersuchung und Optimierung der neu entwickelten Brennkammer-Komponenten. Im Anschluss soll der Simulator durch eine kommerziell erhältliche Hochtemperaturbrennstoffzelle ersetzt werden. Dieses Pilotkraftwerk mit



Mikrogasturbinen-Prüfstand im Technikum des Instituts für Verbrennungstechnik – die Mikrogasturbine ist neben der SOFC-Brennstoffzelle die Kernkomponente eines Hybrid-Kraftwerks.

einer elektrischen Leistung im unteren Kilowatt-Bereich soll ab 2010 auf dem Areal des DLR Stuttgart installiert und zunächst mit Erdgas betrieben werden. Die hier gewonnenen Erfahrungen sollen dann ab 2012 in die Umsetzung eines Demonstrationskraftwerks fließen.

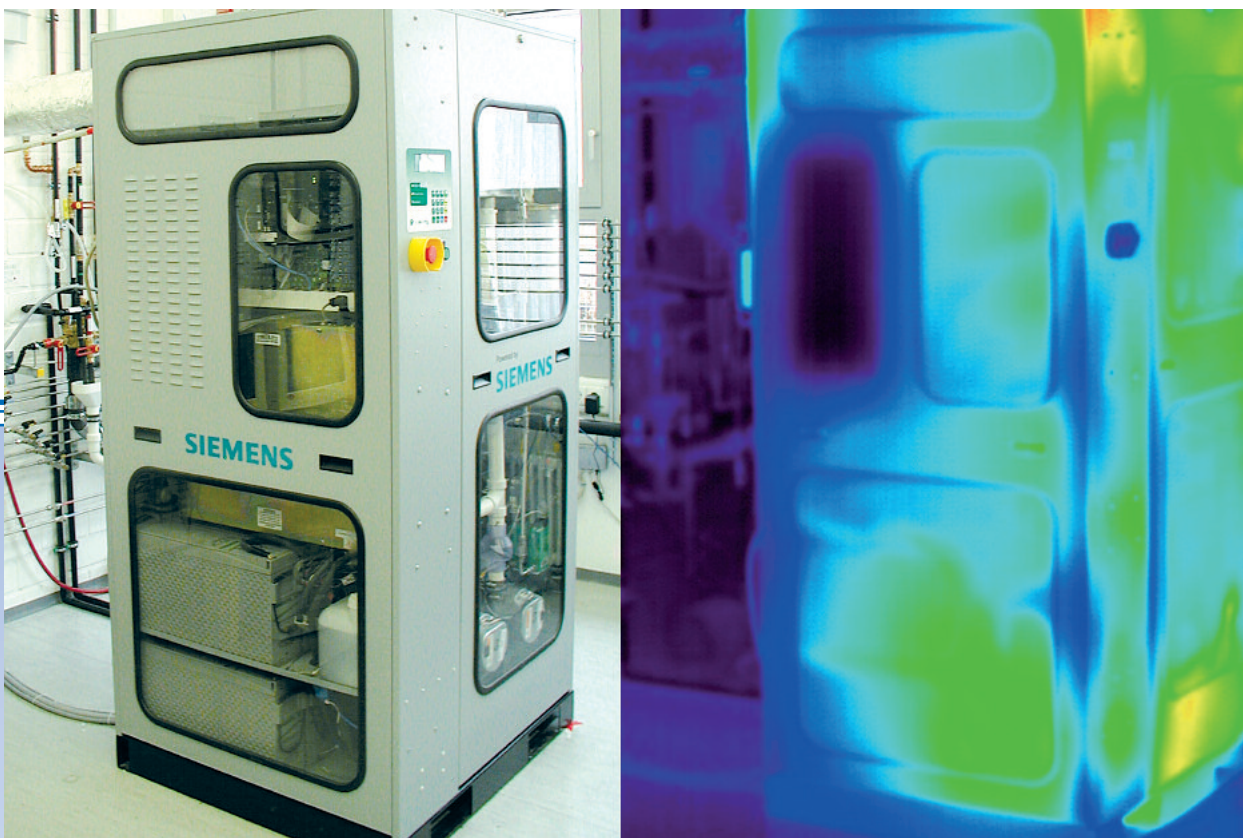
Zur Analyse des Subsystems Gasturbine installierte das DLR-Institut für Verbrennungstechnik eine kommerziell erhältliche Mikrogasturbine des Typs Turbec T100. Dieser weltweit am besten instrumentierte Prüfstand für diesen Gasturbinentyp erlaubt eine detaillierte Analyse des kom-

pletten Kreislaufs. Eine – ebenso weltweit einmalige – optisch zugängliche Brennkammer rundet die Instrumentierung ab. Diese „gläserne“ Brennkammer ermöglicht die optische Untersuchung der Verbrennungsvorgänge mittels laserbasierter Messmethoden. Über eine Synthesegasanlage können alle relevanten Brenngaszusammensetzungen bereitgestellt werden. Zur Analyse des Subsystems Brennstoffzelle installierte das DLR-Institut für Technische Thermodynamik ein atmosphärisches tubulares 5 kW-Hochtemperaturbrennstoffzellensystem von Siemens. Damit verfügt das DLR als erste Forschungs-

einrichtung in Deutschland über einen derartigen Brennstoffzellen-Teststand in diesem Leistungsbereich.

**Autor:**

Axel Widenhorn leitet am Institut für Verbrennungstechnik die Gruppe „Gasturbine“.



Die neue Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Anlage „Siemens SFC-5“ im Labor des Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart.

Das Thermobild (rechts) wurde mit einer NEC TH9260 Infrarot-Kamera aufgenommen. Der Farbübergang ist von Rot (41 °C) bis Violett (28 °C). Die Infrarot-Aufnahme wurde im Rahmen der Arbeiten zur Minimierung der Abstrahlungsverluste gemacht.