

Sie liegen den lieben langen Tag in der Sonne und sind dabei doch höchst produktiv! Die Rede ist von Purpurbakterien, die den Sommer in speziellen Versuchsreaktoren auf dem Dach der Aachener Verfahrenstechnik, kurz AVT, verbringen. Sie erzeugen Wasserstoff aus den Nebenprodukten anderer Bioprozesse und brauchen dazu Sonnenlicht. Und sie beantworten vielleicht die eine oder andere der wichtigen Fragen, an denen die Energieverfahrenstechniker in dem Gebäude unter ihnen arbeiten: Woher kommen in Zukunft Brennstoffe und chemische Rohmaterialien, wenn die fossilen Ressourcen Kohle, Erdöl und Erdgas nicht mehr im heutigen Umfang verfügbar sind? Kann man CO₂-Emissionen von Kohlekraftwerken mittelfristig wirksam reduzieren? Wie können fossile Rohstoffe heute schon effizient genutzt werden?

Im Bereich der effizienten Rohstoffnutzung werden vor allem industrielle Ofenanlagen betrachtet, in denen energieintensive Prozesse bei hohen Temperaturen durchgeführt werden. Diese existierenden Prozesse werden mathematisch beschrieben und anhand von Modellrechnungen optimiert. Zur Reduktion von CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung wird im Rahmen des Verbundprojektes OXYCOAL-AC ein Kraftwerksprozess in Teilen neu entwickelt. Hierbei wird Kohle mit reinem Sauerstoff verbrannt. Dabei entsteht reines CO₂, das unterirdisch eingelagert wird. Der Sauerstoff wird mit Hilfe keramischer Membranen aus der Luft abgetrennt. Die eingangs erwähnte Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse mit Hilfe von Bakterien und Sonnenlicht ist ein neuartiger Ansatz, der im EU-Projekt HYVOLUTION erstmals technisch umgesetzt werden soll.



Bild 1: Innenansicht eines Drehrohrrofens im Betrieb.

Energieintensive Prozesse effizient gestalten

In der chemischen und der Grundstoffindustrie werden Feststoffreaktionen bei hohen Temperaturen oft in so genannten Drehrohröfen durchgeführt. Zement und Kalk werden beispielsweise in solchen Anlagen hergestellt. Ein Drehrohrofen besteht aus einem Stahlrohr, das innen feuerfest ausgemauert und leicht gegen die Horizontale geneigt ist. Das Rohr rotiert um seine eigene Achse. Die festen Rohstoffe werden am oberen Ende aufgegeben und fließen durch Neigung und Rotation langsam abwärts. Am unteren Ofenende wird Wärme durch einen Kohle-, Öl- oder Erdgasbrenner zur Verfügung gestellt.

In Drehrohröfen läuft eine Vielzahl unterschiedlicher chemischer und physikalischer Vorgänge ab. Ausgangsstoffe werden getrocknet, Phasenumwandlungen treten auf, es bilden sich Schmelzen oder neue Kristalle. Alle diese Prozesse beeinflussen sich gegenseitig und bestimmen die Produktqualität. Gegenüber der Komplexität dieser Vorgänge erfolgt die Anlagensteuerung auf sehr einfache Weise, nämlich meist manuell. Vollautomatische Systeme zum sicheren und effizienten Betrieb existieren nicht. Erschwerend kommt hinzu, dass

dem Betriebspersonal nur sehr wenige Messdaten zur Verfügung stehen, um den aktuellen Anlagenzustand zu beurteilen. Temperaturen und Mengen von Stoffströmen werden zwar in Echtzeit erfasst, aber schon die Produktqualität kann in langwierigen Analyseverfahren nur etwa im Stundenabstand bestimmt werden. Die Verhältnisse im Ofeninnenraum jedoch, die die Produktqualität ja eigentlich bestimmen, können aufgrund der hohen Temperaturen praktisch gar nicht vermessen werden. Ungünstige Betriebszustände werden also erst erkannt, wenn minderwertiges Produkt den Ofen verlassen hat und analysiert wurde. Durch diese lange Totzeit wird es quasi unmöglich, die Anlage dauerhaft stabil im Bereich der höchsten Leistung zu betreiben. Stattdessen wird in der Praxis ein gewisser „Sicherheitsabstand“ zur optimalen Fahrweise eingehalten, um ungünstige Betriebszustände von vornherein zu vermeiden. Die damit verbundenen Einbußen wurden in der Vergangenheit in Kauf genommen. Heutzutage steigt jedoch die Nachfrage nach Werkzeugen, mit deren Hilfe die Ofenbetriebsweise effizienter gestaltet werden kann.

Solche Werkzeuge werden bei der AVT entwickelt. Dabei wird das Ziel verfolgt, die nicht

messbaren Temperaturen und Zusammensetzungen im Ofeninnenraum zu berechnen. Hierzu werden mathematische Modelle erstellt, die das dynamische Verhalten der Ofenanlagen zuverlässig abbilden. Ein solches Modell soll gleichzeitig mit dem Ofen betrieben werden und dem Betriebspersonal einen Einblick in die Vorgänge im Ofeninnenraum ermöglichen. Dadurch können ungünstige Betriebszustände früher erkannt und der „Sicherheitsabstand“ zur energieoptimalen Fahrweise verringert werden.

CO₂-Emissionsarme Kohlekraftwerke

Bei der Stromerzeugung kommt zur optimalen Brennstoffnutzung noch eine weitere Herausforderung hinzu: Fossil befeuerte Kraftwerke, mit denen auch noch in der weiteren Zukunft ein Großteil unseres Strombedarfs gedeckt wird, verursachen zwei Drittel aller anthropogenen CO₂-Emissionen. Diese Kraftwerke wurden bisher vor allem auf hohe Wirkungsgrade hin optimiert, wodurch nebenbei auch der CO₂-Ausstoß vermindert wurde. Um diesen jedoch mittelfristig noch erheblich weiter zu reduzieren, müssen vollkommen neue Kraftwerksprozesse entwickelt werden. Mit deren Hilfe muss es möglich sein, das bei der Ver-

Öfen, Kohle und Bakterien – Energieverfahrenstechnik für die Zukunft

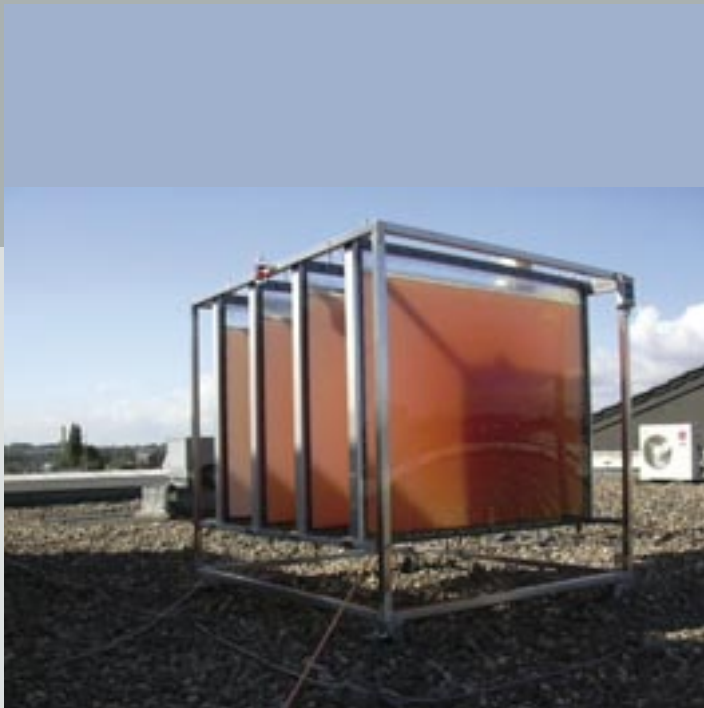


Bild 2: Fotobioreaktor im Freilandversuch auf dem Dach des AVT-Gebäudes.

brennung unweigerlich entstehende CO_2 aus dem Abgas abzutrennen und nicht in die Atmosphäre abzugeben. Dies ist umso einfacher zu realisieren, je höher der CO_2 -Gehalt im Abgas ist. Im einfachsten Fall besteht das Abgas aus reinem CO_2 . Dieser Fall tritt dann ein, wenn der Brennstoff nicht mit Luft, sondern mit reinem Sauerstoff umgesetzt wird. Die dabei entstehenden hohen Temperaturen können kontrolliert werden, indem ein Teil des Rauchgases zur Kühlung wieder in die Brennkammer zurückgeführt wird.

Reiner Sauerstoff kann auf zwei verschiedene Arten hergestellt werden. Im Oxyfuel-Verfahren wird dem Kraftwerk eine kryogene Luftzerlegungsanlage vorgeschaltet, die den Sauerstoff mittels Tieftemperaturdestillation aus der Luft abtrennt. Dieses Verfahren ist großtechnisch verfügbar, aber mit hohem Energieaufwand verbunden. Eine innovative, energieeffizientere Alternative ist das OXYCOAL-AC-Verfahren, das bei der AVT mit entwickelt wird. Dabei erfolgt die Sauerstoffabtrennung mit Hilfe von Membranen, die aus gemischtleitenden oxidkeramischen Werkstoffen bestehen. Diese Materialien sind zwischen 800 und 900 °C für Sauerstoff in Form von Oxid-Ionen durchlässig,

während andere Gase vollständig zurückgehalten werden. Zur Beheizung der Membranen wird das heiße Verbrennungsgas benutzt. Um zuverlässig einen hohen Sauerstofffluss zu erzielen, müssen die Membranen sehr dünn und dabei mechanisch so stabil sein, dass sie den hohen Temperaturen und Druckunterschieden von bis zu 20 bar über lange Zeit standhalten. Außerdem dürfen die Membranen nicht durch Schadstoffe im Verbrennungsgas zerstört werden.

Bei der AVT werden daher Membranwerkstoffe unter Kraftwerksbedingungen getestet. Dabei werden in Langzeitversuchen Temperaturen von bis zu 1000°C und Druckunterschiede von bis zu 20 bar realisiert. Gleichzeitig werden die Membranen mit typischen Schadgasen wie SO_2 , CO , NO_x beaufschlagt. Bei den Experimenten werden vor allem die Sauerstoff-Permeabilität sowie die chemische Beständigkeit der Werkstoffe untersucht. Anhand der Messergebnisse werden die Werkstoffeigenschaften mathematisch modelliert. Mit Hilfe von Strömungssimulationen werden dann Membranmodule für den Einsatz im Kraftwerk entwickelt und optimiert. Diese Module sollen im Jahr 2010 in einer Demonstrationsanlage zum Einsatz

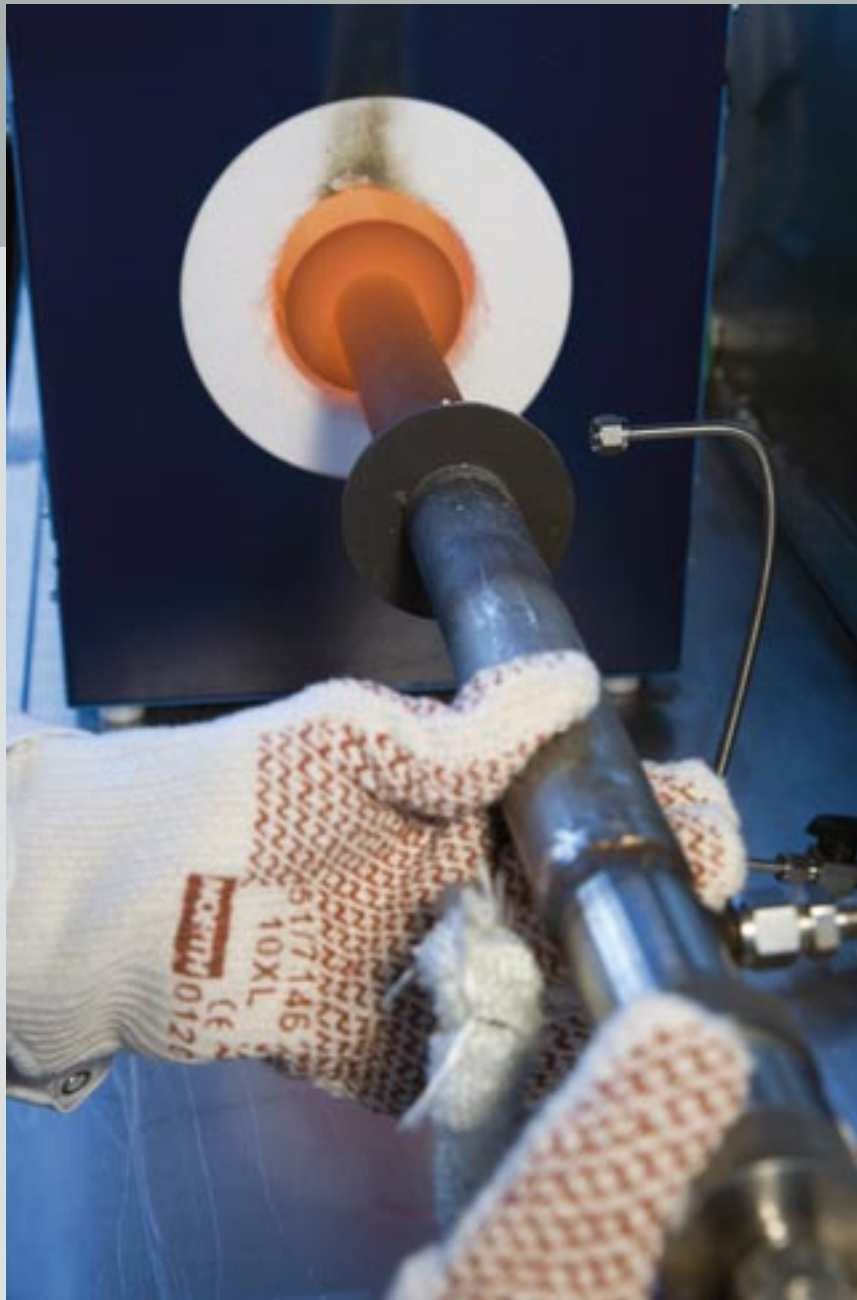


Bild 3: Untersuchung von Membranwerkstoffen am AVT-Teststand.



20 **Bild 4: Dipl.-Ing. Jakub Gebicki untersucht die fotobiologische Wasserstoffproduktion von Purpurbakterien.**
Foto: Peter Winandy

kommen, die zurzeit unter Federführung des Lehrstuhls für Wärme- und Stoffübertragung entsteht. Anhand dieser Anlage soll die Machbarkeit des OXY-COAL-AC-Prozesses im Pilotmaßstab gezeigt werden.

Wasserstoff aus Biomasse und Sonnenlicht

Um auf lange Sicht unabhängig von fossilen Brennstoffen zu werden, sind in den vergangenen Jahren Verfahren entwickelt worden, in denen der Energieträger Wasserstoff aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt wird. Hierbei hat sich gezeigt, dass extrem wasserhaltige Biomasse, für die eine thermische Behandlung nicht in Frage kommt, in biologischen Prozessen verwertet werden kann. Diese Verfahren sind kosten- und energie günstig, da

keine aufwändigen Anlagen nötig sind. In biologischen Prozessen werden Mikroorganismen genutzt, die Biomasse unter anaeroben Bedingungen in Essigsäure und Wasserstoff zerlegen. Bestimmte Purpurbakterien sind darüber hinaus in der Lage, mit Hilfe von Sonnenlicht auch den Wasserstoff in der Essigsäure noch durch Photosynthese freizusetzen. Im Projekt HYVOLUTION arbeiten daher seit Januar 2006 22 internationale Partner daran, diese beiden mikrobiologischen Prozesse miteinander zu koppeln. In diesem zweistufigen Verfahren wird der Wasserstoff in der Biomasse vollständig freigesetzt und damit technisch nutzbar.

Damit eine Demonstrationsanlage in Betrieb gehen kann, müssen die im Labor gewonnenen Kenntnisse über die Biolo-

gie der Wasserstoffgärung vertieft und diejenigen Parameter ermittelt werden, die die Wasserstoffproduktionsrate maßgeblich beeinflussen. Während diese Aufgabe von Mikrobiologen übernommen wird, arbeiten gleichzeitig Verfahrenstechniker daran, den Schritt vom Reagenzglas zur technischen Anlage zu ermöglichen. Dazu werden bei der AVT Reaktoren im vergrößerten Maßstab entwickelt und getestet. Diese Reaktoren müssen einerseits den Anforderungen der Mikroorganismen zum Beispiel bezüglich der Lichtversorgung Rechnung tragen und andererseits so konzipiert sein, dass sie auch von Laien bedient werden können. Eine weitere Aufgabe besteht darin, das überschüssige und unvermeidlich freigesetzte Kohlendioxid effizient aus dem Produktgasstrom abzutrennen. Daher wird gemeinsam mit Chemikern ein Verfahren entwickelt, das wenig energieaufwändig und unempfindlich gegen die starken Schwankungen in der Menge und Zusammensetzung des Gases ist. Parallel zu den genannten Arbeiten werden Prozessmodelle der zukünftigen Anlage erstellt und Simulationen durchgeführt, um erstens ökonomisch oder ökologisch nicht sinnvolle Konzepte frühzeitig ausschließen zu können und zweitens kritische Parameter zu identifizieren, die dann entsprechend verbessert werden können. Es sieht also danach aus, dass in der näheren Zukunft Wasserstoff auch umweltfreundlich gewonnen werden kann.

Autoren:

Dipl.-Ing. Franz Beggel, Dipl.-Ing. Stefan Engels, Dipl.-Ing. Jakub Gebicki, Dipl.-Ing. Tobias Ginsberg und Dipl.-Ing. Isabella Nowik sind Wissenschaftliche Mitarbeiter des Lehr- und Forschungsgebiets AVT-Mechanische Verfahrenstechnik. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Modigell leitet das Lehr- und Forschungsgebiet AVT-Mechanische Verfahrenstechnik.