



# Energiediskussion Frankfurter Art

Forscher am Institut für Anorganische und Analytische Chemie entwickeln hocheffizientes Verfahren zur Herstellung von Photovoltaik-Silicium und von Wasserstoffträger-Materialien

Die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen dem Solarenergieunternehmen City Solar und der Arbeitsgruppe Hauptgruppenchemie (Prof. Norbert Auner) am Institut für Anorganische und Analytische Chemie (IAAC) führte Ende 2006 zur Unterzeichnung eines Vertrags zur Einrichtung einer neuen W3-Stiftungsprofessur über ein Gesamtvolumen von 4,5 Millionen Euro. Parallel zu laufenden Kooperationsprojekten mit verschiedenen Arbeitsgruppen am IAAC unterstützt City Solar mit dieser Stiftung die Forschungsaktivitäten des Instituts zunächst über einen Zeitraum von 10 Jahren. Der zukünftige Inhaber der Stiftungsprofessur soll sich Fragen der grundlegenden Materialforschung widmen. Eine wesentliche Rolle in der aktuellen Materialforschung am IAAC spielt das Thema Silizium-Technologie, vor allem im Hinblick auf die Rolle des Siliciums als Grundbaustein der Photovoltaik und als Wasserstoff-Speichersubstanz.

Die Endlichkeit fossiler Energieträger einerseits, aber auch die Forderung nach Reduktion des Kohlendioxid-Ausstoßes andererseits führen dazu, dass die Suche nach alternativen Energiequellen in den Mittelpunkt der politischen Diskussionen (Kyoto-Protokolle, UN-Klimaschutzberichte usw.) sowie zahlreicher Forschungsaktivitäten rückt. Dies zeigt sich unter anderem in der Energieinitiative »Potentiale der Chemie für mehr Energieeffizienz in der Zukunft der Gesellschaft Deutscher Chemiker. Als Alternativen zu fossilen Energieträgern werden die Erneuerbaren Energien diskutiert, die zwar in Form von Sonnenlicht, Wind, Wasserkraft und Biomasse in großem Umfang zur Verfügung stehen, aber meist nur an Orten mit mangelnder Infrastruktur zugänglich werden. Dies zeigt sich insbesondere in der Kraft der Sonne: Innerhalb einer Stunde erreicht mehr Sonnenenergie die Erdoberfläche, als der Mensch während eines ganzen Jahres verbraucht. Oder, mit anderen Worten, etwa 700 Quadratkilometer der Sahara mit Solarmodulen belegt, würde den weltweiten Gesamtenergiebedarf permanent decken! Vor diesem Hintergrund stellt sich deshalb zwingend die Frage nach einer effizienten Energieumwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität, die entweder in existierende Netze eingespeist wird oder für den Fall einer Überproduktion chemisch sicher und dauerhaft gespeichert an Orte des Bedarfs transportiert werden kann.

Mit diesen und ähnlichen Fragestellungen beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Hauptgruppenchemie (Auner) seit nunmehr etwa fünf Jahren. Ihre konzeptionelle Beantwortung sieht heute wie folgt aus: Sonnenenergie steht frei zur Verfügung, ihre Umwandlung in elektrische Energie, die in Photovoltaikmodulen (PV) erfolgt, ist dagegen teuer. Einer weitflächigen Nutzung von PV-Anlagen weltweit steht derzeit der noch zu hohe Preis von PV-Zellen auf Basis von polykristallinem Silicium entgegen. Die Forschungs- und Entwicklungserfolge zur Produktion von hocheffizienten Modulen sind äußerst vielversprechend: In den letzten 50 bis 60 Jahren stieg die Effizienz der Zellen von zunächst 6 auf heute etwa 15 Prozent, Fortschritte in ihrer Fertigung reduzierten die Kosten von etwa 200 US-Dollar/Watt um 1950 auf 2,7 US-Dollar/Watt in 2004. Für die nächsten drei bis acht Jahre erwarten Experten, dass Solarstrom mit dem Preis für Netzstrom herkömmlicher Erzeugung konkurrieren kann (grid-parity) – dies ist in Japan heute schon erreicht. In Deutschland werden die Erzeuger von Solarstrom großzügig über Einspeiseregulungen unterstützt, ein Modell, dass

von vielen Staaten schrittweise übernommen wird – so wird Solarstrom attraktiv: Deutschland verfügt heute über die höchst entwickelte Solarstromindustrie weltweit, die Marktanteile steigerten sich um 40 Prozent/Jahr während der letzten fünf Jahre und erreichten ein globales Umsatzvolumen von 11 Milliarden US-Dollar in 2005. Die Solarbranche hat sich zum »big business« entwickelt. Nachdem die Photovoltaik in den Anfängen von den »Silicium-Abfällen« der Halbleitertechnologie lebte und die rasante, von einer anfänglichen Nutzung in der Raumfahrt ausgehende Entwicklung sich auch als für terrestrische Anwendungen einer dezentralen Energieversorgung an Orten mangelnder Infrastruktur geeignet erwies, führte dies etwa ab dem Jahr 2000 zur gezielten großtechnischen Darstellung von PV-Silicium nach dem Siemens- oder Degussa-Prozess. Während im ersten Fall flüssiges Trichlorsilan aus metallurgischem Silicium (Abb. 2e) mit Chlorwasserstoff erzeugt und destillativ aufgereinigt wird, wird Monosilan,  $\text{SiH}_4$ , die Ausgangsverbindung im Degussa-Prozess, durch eine katalytische Konvertierungsreaktion aus Trichlorsilan und Wasserstoff erzeugt. Durch thermische Zersetzung bei etwa 1.100 beziehungsweise 900 °C wird aus beiden Vorstufen Silicium in PV-Qualität generiert. Nach Aufschmelzen des pulvrigen bis körnigen Materials wird dieses Silicium nach unterschiedlichen Verfahren zunächst zu Wafern (winzige Scheiben, auf denen elektronische Bauelemente hergestelt werden), anschließend zu Modulen verarbeitet. In beiden technisch optimierten Prozessen werden dabei pro Kilogramm erzeugtem Silicium mehr als 18 Kilogramm Siliciumtetrachlorid (STC) gebildet, das wieder aufwändig hydriert oder zu pyrogener Kieselsäure oder in Glasfasermaterial umgearbeitet wird. Da eine erfolgreiche Prozessierung nach dem Siemens- oder Degussa-Prozess nur von wenigen Firmen weltweit verstanden wird, hat dies bei immer weiter steigender Nachfrage durch den boomenden Photovoltaikmarkt mehrere weitreichende Konsequenzen:

- das PV-Silicium wird immer knapper und damit auch teurer,
- die Entwicklungen neuer Dünnschichttechnologien wird verstärkt vorangetrieben und
- die Entwicklung neuer Prozesse zur Erzeugung von PV-Silicium wird zunehmend attraktiver.

Vor diesem Hintergrund wurden in Frankfurt zwei neue korrespondierende Syntheseverfahren zur Erzeugung von PV-Silicium entwickelt (Abb. 3a und 3b). Während die konventionelle Siliciumproduktion von teuren Quarzmaterialien ausgeht, starten die hier vorgestellten Prozesse beim Sand, zum Beispiel aus der Wüste, dem Meer oder auch von Reissche, die aus nahezu reinem Siliciumdioxid besteht (Abb. 2). Im Verfahren nach (3a) werden diese Sande mit Kohlenstoff beliebiger Quelle gemischt und in Gegenwart von Chlorwasserstoff bei etwa 1000 °C nahezu quantitativ direkt zu STC umgesetzt. Das während der Reaktion freigesetzte Wasser führt dabei nicht zur Hydrolyse des Produktes, das Wassergleichgewicht ist völlig in Richtung

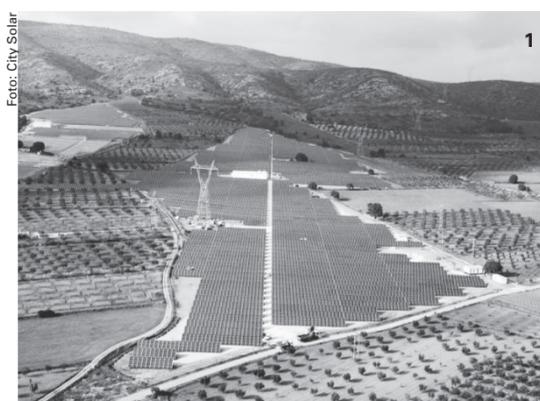


Foto: City Solar

Abb. 2. Sand ( $\text{SiO}_2$ ) in seinen natürlichen Erscheinungsformen und daraus generiertes Silicium: Vor dem Hintergrund einer Sandwüste ( $\text{SiO}_2$ -Gehalt über 85 Prozent) sind abgebildet a) der Bergkristall, b) Reispflanzen (die Verbrennung liefert Reissche mit über 90-prozentigem  $\text{SiO}_2$ -Anteil) c) Opal, d) Kieselalgen, e) metallurgisches Silicium

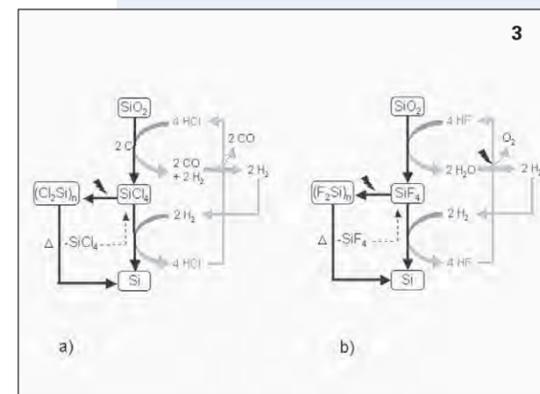


Abb. 4. Gesamtprozess: Perchlorierte Polysilane als Bindeglied zwischen Solarenergie und dezentraler Wasserstoffzeugung aus wasserstoffsubstituierten Polysilan (HPS)

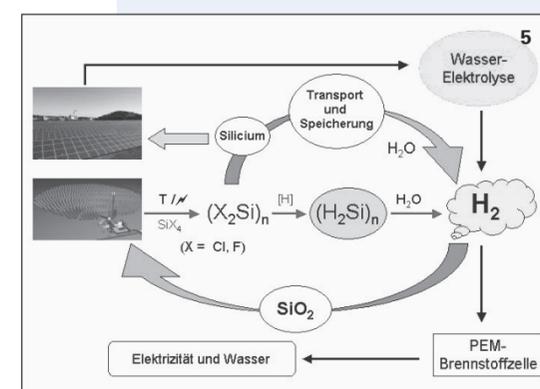
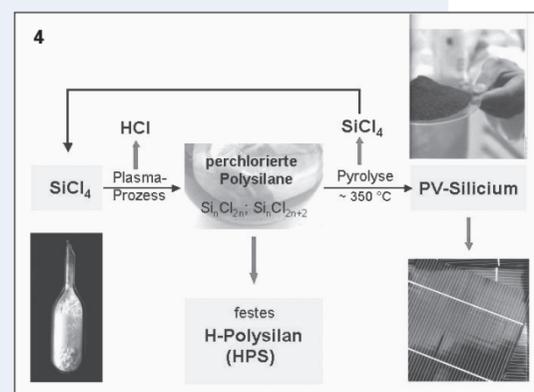


Abb. 5. Der mögliche Beitrag von Silicium und HPS für eine zukünftige Energiewirtschaft, schematische Darstellung

Kohlenmonoxid und Wasserstoff verschoben. Der Energieeintrag kann konventionell oder über Mikrowellen-Einstrahlung erfolgen. Dabei dient der Kohlenstoff als Reduktionsmittel und im letzteren Fall auch als Wärmeüberträger. Unter weiterem Mikrowelleneintrag wird das STC in Gegenwart von Wasserstoff zu elementarem Silicium reduziert, das dabei in PV-Qualität anfällt. Nachteilig ist, dass das Silicium die Reaktorinnenfläche belegt und sich diese stark erhitzt – um ein Aufschmelzen des Reaktors zu vermeiden, muß die Reaktion abge-

brochen werden. Reduziert man jedoch den Energieeintrag deutlich (im Laborexperiment von zirka 350 nach 50 Watt), belegt sich der Reaktor je nach Reaktionsbedingungen mit wachsartig festem oder hochviskosem, STC-löslichem perchloriertem Polysilan ( $\text{Cl}_2\text{Si}$ )<sub>n</sub>, das sich aus cyclischen und kettenförmigen Verbindungen zusammensetzt. In einer nachgeschalteten Pyrolyse wird das Polysilan oberhalb von 400 °C in Silicium und STC überführt, das anschließend wieder in die Polymerisation eingeschleust wird.

Die plasmachemische Herstellung von perchloriertem Polysilan in Gegenwart von Wasserstoff wurde inzwischen von City Solar optimiert und auch für die Darstellung von Silicium hoher Reinheit in den Technikumsmaßstab übertragen. Anstelle des Mikrowelleneintrages kommen großvolumige Plasmaanregungsmethoden zum Einsatz, die bereits nahe Raumtemperatur zur Polysilanbildung führen. Überträgt man dieses Reaktionskonzept auf die plasmachemische Erzeugung von perchloriertem Polysilan mit anschließender Pyrolyse zum Silicium (Abb. 3b, Temperatur: etwa 500 bis 600 °C), steht damit ein absolut kohle-/kohlendioxidfreier Zugang zu diesem Material – auch hier in PV-Qualität – zur Verfügung. Aus perchloriertem Polysilan erzeugtes, kristallines Silicium kann problemlos aufgeschmolzen und zu Wafern und Modulen verarbeitet werden. Damit wird dieses Verfahren zu einer echten Konkurrenz zur thermischen Zersetzung von Trichlorsilan oder von Silan im Siemens- oder Degussa-Prozess. Darüber hinaus kann das in diesen Prozessen in großen Mengen anfallende STC quantitativ in PV-Silicium überführt werden, die technisch realisierten Prozesse werden damit deutlich effizienter. Das neue Verfahren, das zur Erzeugung des Silicium deutlich weniger Energie verbraucht und STC letztendlich vollständig in PV-Silicium umwandelt, bietet weitere Möglichkeiten, gerade auch vor dem Hintergrund einer direkten STC-Synthese aus Sand.

In perhalogenierte Polysilane ( $\text{X}_2\text{Si}$ )<sub>n</sub> (X = Chlor, Fluor) läßt sich glatt Wasserstoff einführen, weitgehend unter Erhaltung des Polymergerüsts. So führt die Hydrierung in nahezu quantitativer Ausbeute zu einem weißgelblichen, festen Pulver, dem H-substituierten Polysilan ( $\text{H}_2\text{Si}$ )<sub>n</sub> (HPS), einer stabilen Verbindung ausschließlich aus Silicium und Wasserstoff.

Dieses Polymer überzieht sich an Luft nur langsam mit einer  $\text{SiO}_2$ -Schicht, entzündet sich als angehäuftes Pulver mit großer Oberfläche bei Temperaturen erst oberhalb 80 °C spontan und zersetzt sich unter Inertgas bei etwa 300 °C ohne zu schmelzen; dabei bilden sich Silicium und

Wasserstoff. Damit kann HPS zur Niedertemperatur- und Normaldruckdarstellung von PV-Silicium dienen. Die prozess-basierten Zusammenhänge sind schematisch in Abbildung 4 dargestellt, die Möglichkeiten zur technischen Nutzung von HPS sind vielfältig. So berichtete 2006 ein japanisches Team über die Herstellung von Siliciumfilmen und -transistoren aus Lösungen von Cyclopentasilan, ( $\text{H}_2\text{Si}$ )<sub>5</sub>. Dieses wird dabei siebenstufig dargestellt und nur in Gramm- oder Milliliter-Mengen erhalten. HPS dagegen ist aus  $\text{SiO}_2$  3-stufig in Kilogramm-Mengen zugänglich [ $\text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiX}_4 \rightarrow (\text{X}_2\text{Si})_n \rightarrow (\text{H}_2\text{Si})_n$ ] und sollte, ebenso wie die flüssige perchlorierte Vorstufe, als Ausgangsmaterial für »druckbare Elektronik« Verwendung finden können. Erste Versuche zur Darstellung von dünnen Siliciumschichten auf unterschiedlichen Trägermaterialien verliefen vielversprechend.

Besonders attraktiv erscheint HPS als Wasserstoffträger, der verlustfrei transportiert und uneingeschränkt gelagert werden kann. Mit einer Wasserstofffreisetzung von mehr als 20 Gewichtsprozent bezogen auf einge-

Fortsetzung auf Seite 4



# Enzyme im Labor nachgebaut

## Katalysatorforschung nach dem Vorbild der Natur

**Katalysatoren säubern nicht nur Autoabgase – sie ermöglichen auch viele biochemische Reaktionen in Lebewesen. Die während Millionen von Jahren entstandenen Enzyme sind Biokatalysatoren, die weitaus effizienter arbeiten als alle bisher vom Menschen erdachten synthetischen Katalysatoren. Ohne die raffiniert gebauten Proteine (Eiweiße) würden viele Lebensvorgänge im Körper überhaupt nicht ablaufen, denn die Körpertemperatur ist vergleichsweise niedrig und die Umgebung zumeist wässrig.**

Dabei liefern Enzyme die benötigten Stoffe zeitlich und mengenmäßig genau auf den Bedarf des Organismus abgestimmt, ohne dabei selbst »verbraucht« zu werden. Dank moderner Strukturaufklärungsmethoden kann man die Funktionsweise der Enzyme inzwischen entschlüsseln. Den Frankfurter Chemikern um Prof. Magnus Rueping ist es in einem weiteren Schritt gelungen, Katalysatoren nach dem Vorbild der Natur zu synthetisieren. Die robusten und gut zugänglichen Verbindungen vereinfachen die industrielle Synthese von Aminen, das sind wich-

tige Bausteine für Naturstoffe und Pharmazeutika.

Als Modell diente die Glutamat-Dehydrogenase (GDH), ein wichtiges Enzym im Stickstoffzyklus. Es katalysiert die Reaktion von Ammonium-alpha-Ketoglutarat und NADH zur Aminosäure Glutamat und NAD<sup>+</sup>. Beide lagern sich nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an das aktive Zentrum des Katalysators an. Eine Besonderheit ist in diesem Fall, dass das Reaktionsprodukt auch noch eine bestimmte Händigkeit (Chiralität) besitzt. Grundsätzlich ist eine links- und eine rechtshändige Variante des Moleküls möglich. Da beide Varianten (Enantiomere) aber unterschiedliche chemische Eigenschaften besitzen – was bei vielen Natur- und Wirkstoffen der Fall ist – ist es wichtig, dass nur eine Sorte Enantiomer entsteht. (Die Reaktion muss enantiomerenselektiv sein.) Die dazu notwendige asymmetrische Synthese im Labor nachzuahmen ist außerordentlich schwierig, aber von großer technischer Bedeutung.

Inspiziert vom natürlichen Vorbild der Glutamat-Dehydrogenase (GDH) wählte Rueping beim Nachbau des Katalysators als Grundstruktur ein



chirales Molekül – das BINOL-Phosphat – und versah es mit vier verschiedenen Seitenketten. An Stelle des in Lebewesen vorkommenden Protonenspenders NADH setzte er das im Labor gebräuchliche Hantzsch-Dihydropyridin ein. Auf diesem Weg entstanden Amine, die man bisher im Labor nur unter hohem Wasserstoffdruck und der Verwendung metall-

haltiger Katalysatoren hatte synthetisieren können. Für die Wirkstoffsynthese, in der Amine eine wichtige Rolle spielen, war die Verwendung solcher Katalysatoren aufgrund ihrer toxischen Eigenschaften bedenklich erschienen.

Anders als sein biologisches Vorbild kann der synthetische Katalysator ein breiteres Reaktionsspektrum katalysieren und ist auch robuster – das heißt, er arbeitet nicht ausschließlich bei 37 °C und in wässriger Umgebung.

Die Glutamatdehydrogenase (GDH) ist ein Enzym des Stickstoff-Stoffwechsels und kommt in zahlreichen Organismen vor. In diesen ist es von zentraler Bedeutung für die Fixierung beziehungsweise Freisetzung von Ammonium

Ermöglicht durch diese Erfolge hat der Frankfurter Degussa-Stiftungsprofessor das Prinzip der Säure-katalysierten Transferhydrierung, wie es nach dem Vorbild der GDH realisiert wurde, inzwischen auch auf die Synthese von Chinolin-Derivaten angewendet. Diese Stoffklasse ist von großem Interesse für die Chemie, Pharmazie und die Materialwissenschaften. Bisher konnten solche Systeme nur durch lange Syntheserouten enantiomerenrein erhalten werden. Die Ergebnisse sind außerordentlich vielversprechend: Bereits die geringe Menge von einem Katalysatormolekül auf 10.000 Substratmoleküle reicht aus, um eine enantiomerenselektive Reduktion zu katalysieren – das ist die bis heute niedrigste Katalysatormenge, die jemals für eine solche Reaktion eingesetzt wurde. Daraus lässt sich das große Potential der chiralen BINOL-Phosphate für industrielle Anwendungen erschließen.

Anne Hardy

Informationen:  
Prof. Magnus Rueping, Degussa Stiftungsprofessur für Organische Synthetik  
Tel: 798-29223, Fax: 798-29248  
rueping@chemie.uni-frankfurt.de, web.uni-frankfurt.de/fb14/rueping/

# Einblicke in die Zeit vor unserem Sonnensystem

## Frankfurter Geowissenschaftler beim Start der neuen Nano-Röntgenstrahlung in Grenoble dabei

**Die Vorzüge und Anwendungen von Röntgenstrahlung sind im täglichen Leben Jedem vertraut. Nun wurden von Wissenschaftlern am europäischen Supermikroskop ESRF in Grenoble neue Maßstäbe gesetzt.**

Nach aufwendigen Umbaumaßnahmen steht dort seit kurzem nach sechs Monaten Bauzeit die erste echte Nano-Röntgenstrahlquelle zur Verfügung. Mit Strahlendmessern von weniger als 100 Nanometern (ein Nanometer ist ein 10.000-stel Millimeter) lassen sich Objekte mit unvorstellbarer Präzision strukturell und chemisch exakt vermessen. Und das ohne die Probe auch nur zu berühren. Die ersten ausgewählten Spitzenwissenschaftler durften nun

mit zwei Projekten die neue Quelle testen. Mit dabei die Frankfurter Diplom-Mineralogin Sylvia Schmitz aus der Arbeitsgruppe des neu an die Universität Frankfurt berufenen Heisenberg-Professors Frank E. Brenker. Zusammen mit einem Team der Technischen Universität Dresden (Prof. Christian Schroer) konnten die ersten Schritte des internationalen Teams erfolgreich durchgeführt werden. Mit Hilfe der neuen Methode konnten die Wissenschaftler zum ersten Mal die Spurenelement-Zusammensetzung und -Verteilung eines nur 400 Nanometer großen so genannten »pre-solaren Korns« messen. Pre-solare Körner sind Festkörper, die sich vor weit über 4,5 Milliarden Jahren rund um andere Sterne bildeten und später als Start-

material für unser eigenes Sonnensystem dienten. Identifiziert werden diese Körner zurzeit in einem gemeinsamen Projekt der Universität Frankfurt und des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz (Prof. Peter Hoppe, Christian Vollmer), Sie fallen durch ihre ungewöhnliche chemische Isotopie auf, die so in unserem gesamten Sonnensystem sonst nicht zu finden ist. Mit dieser Messung wurden so detaillierte Einblicke in die Zeit vor der Existenz unseres Sonnensystems möglich.

Frank E. Brenker

Informationen:  
Prof. Frank E. Brenker  
Fachinheit Mineralogie, Tel: 798-40134,  
Fax: 798-40121  
f.brenker@em.uni-frankfurt.de  
www.mineralogie.uni-frankfurt.de/petrologie-geochemie/mitarbeiter/brenker/

**Nur auf die schönen Künste wollen die Frankfurter Kulturwissenschaftler ihren Forschungsgegenstand nicht reduziert sehen; sie haben die Hochkultur, wie sie sich in Kunst, Musik und Literatur manifestiert, ebenso im Blick wie die Alltagskultur. »Wir untersuchen, wie sich soziale Energie in diesen – früher als getrennt empfundenen – Sphären kristallisiert«, ergänzt Dr. Gisela Engel vom Zentrum zur Erforschung der Frühen Neuzeit, die gemeinsam mit Prof. Susanne Scholz mit einer neuen Buchreihe ein innovatives Forum für die kulturwissenschaftlichen Aktivitäten an der Universität Frankfurt geschaffen hat.**

Sie sind davon überzeugt, »dass sich in unterschiedlichen kulturellen Äußerungen eine gemeinsame kulturelle Logik manifestiert«, so Scholz, die am Institut für England- und Amerikastudien lehrt. Diese Aspekte werden im Jahr der Geisteswissenschaften auch mit der Buchreihe »Frankfurter Kulturwissenschaftliche Beiträge« aufgegriffen (www.trafobberlin.de/katalog.html; UniReport berichtete). Dabei stehen fächerübergreifende Perspektiven im Vordergrund, um innerhalb der Geisteswissenschaften die kulturwissenschaftliche Position zu betonen.

Zwei weitere Projekte von WissenschaftlerInnen, die sich an der Universität Frankfurt zu interdisziplinären kulturwissenschaftlichen Forschungsprojekten zusammengetan haben, verdeutlichen, worum es bei diesen Forschungen geht: Am Zentrum zur Erforschung der Frühen Neuzeit hat sich unter dem Vorsitz des Kunsthistorikers Prof. Thomas Kirchner eine Forschergruppe gebildet, die »Frühneuzeitliche Repräsentationen von Welten in Künsten und Wissenschaften« erforschen will. Dabei geht es auch um die Frage, warum und wie die Vorstellung einer Pluralität von Welten in der Frühen Neuzeit entstand. Diese erörterten in der Frühen Neuzeit Theologen, Philosophen und Naturforscher; Schriftsteller und bildende Künstler ließen sich von ihr inspirieren. Gleichzeitig erschlossen sich völlig neue Horizonte

im Erleben der Menschen, die fremden Kulturen bei Eroberungen begegneten, die aber auch als Folge der Entwicklung von Ferngläsern und Mikroskopen ganz ungeahnte Einblicke nehmen konnten. »Die Pluralität der Welten wurde zu einem in vieler Hinsicht erlebbaren, gestaltbaren und denkbaren Raum, und das Erleben, Gestalten und Denken trug zu einer Weiterführung und Lebenspraxis bei, in der Pluralität – im Umkehrschluss: Individualität – denk- und machbar wurde«, umschreibt Kirchner das Forschungsinteresse der interdisziplinären Gruppe. Kenntnisse über die Prozesse, die sich am Beginn der europäischen Moderne abgespielt haben, öffnen zudem den Blick für alternative Denk- und Praxismodelle in unserer Gegenwart.

Das zweite Projekt: Ein interdisziplinäres Team um die Erziehungswissenschaftlerin Prof. Brita Rang erforscht Formen und Funktionen von Höflichkeit am Beginn der Moderne. Höflichkeit ist ein tägliches Thema, aber worin besteht sie eigentlich? Dazu Rang: »Höflichkeit kann verstanden werden als Gegenstand der gegenwärtig viel diskutierten »Kulturgeschichte des Politischen«. Sie stellt eine tendenziell universalistische Verkehrsform für den Umgang mit unterschiedlichen Menschen, Sprachen und sozialen Kulturen dar. Höflichkeit zielt auf Vermittlung, Kommunikation, aber auch auf Selbstrepräsentation. Dies bezog und bezieht die Geschlechter in unterschiedlicher Weise ein.« Wie verändern sich Sprache, Bildung und Unterricht? In welchen Schriften, Manieren- und Anstandsbüchern wird Höflichkeit auf welche Weise zum Thema? Und was besagen mögliche Einsichten im Blick auf die heutige Zeit? Diesen und ähnlichen Fragen wird das Team unter kulturwissenschaftlicher Perspektive auch bei einer Internationalen Konferenz im März 2008 nachgehen.

Ulrike Jaspers

Informationen:  
Dr. Gisela Engel, Zentrum zur Erforschung der Frühen Neuzeit  
Tel: 798-32382, Fax: 798-32375  
g.engel@em.uni-frankfurt.de  
www.uni-frankfurt.de/org/we/ri/index.html

Fortsetzung von Seite 3 · Energiediskussion Frankfurter Art

setztes HPS überschreitet dieses in einer Reaktion mit Wasserdampf bei Temperaturen um 300 °C bei weitem die DOE-Norm (Anforderungsprofil des Departments of Energy, Washington, für Systemwerte: 6,5 Prozent. Der Wert für HPS (20,35 Prozent) muss je nach verwendetem System angepasst reduziert werden). Mit verdünnten Laugen läuft die Wasserstoffherzeugung bereits bei Raumtemperatur und unter Normaldruck ab. Damit wird HPS zum exzellenten Wasserstofflieferanten für sowohl stationäre als auch mobile Anwendungen, zum Beispiel in Kombination mit PEM-Brennstoffzellen.

Mit diesen Ergebnissen könnte die eingangs zitierte Vorstellung von der chemischen Nutzbarmachung der Sonnenenergie Wirklichkeit werden: Solarthermische oder photovoltaische Erzeugung von Siliciumtetrachlorid oder -fluorid aus natürlichem Sandvorkommen, beispielsweise im »Sundbelt« unserer Erde, mit anschließender plasmachemischer Überführung in die korrespondierenden perhalogenierten Polysilane (Cl<sub>2</sub>Si)<sub>n</sub> beziehungsweise (F<sub>2</sub>Si)<sub>n</sub> führt zu den Schlüsselverbindungen einer kostengünstigen Erzeu-

gung von PV-Silicium, das, zu Wafern und Modulen verarbeitet, am Ort seiner Produktion elektrischen Strom zur Einspeisung in Versorgungsnetze zur Verfügung stellt.

Überschüssige elektrische Energie könnte beispielsweise zur Wasserelektrolyse dienen, um mit derart erzeugtem und kurzfristig gelagertem Wasserstoff einen solarenergetischen 24 Stunden-Kraftwerksbetrieb aufrecht zu erhalten. Zusätzliche kostengünstige Hydrierung der Polysilane führt zum Wasserstoff-substituierten Polysilan, (HPS), das als permanenter Wasserstoffträger gefahrlos an solche Orte transportiert und dort gelagert werden kann, an denen der daraus bedarfsgemäß erzeugte Wasserstoff durch konventionelle Verbrennung oder durch Kombination mit Brennstoffzellen in elektrische Energie umgewandelt wird. Auch Silicium selbst kann als Wasserstoffgenerator dienen, wenn auch im Vergleich zu HPS mit verminderter Effizienz. Durch Umsetzung mit wässriger Lauge bildet sich Silikat und Wasserstoff; die eingesetzte Lauge kann zurück gewonnen werden. Der unter Wasserstoffgewinnung produzierte »Sand« kann wieder rezy-

klert werden. Nach diesem Konzept wird erneuerbare Energie an den Ort des Verbrauchers transportiert. Diese konzeptionellen Zusammenhänge sind in Abb. 5 dargestellt.

Weitere Forschungs-, Entwicklungs- und Optimierungsarbeiten werden derzeit am IAAC von einer Forschergruppe und von City Solar vorangetrieben. Konzeptionelle Umsetzungen der Arbeiten in Ländern hoher Sonneneinstrahlung, mit weiträumig ungenutzten Flächen und großem Sandvorkommen sind im Gange und könnten zukünftig dafür sorgen, dass eine Energieproduktion ohne fossile Energieträger attraktiv wird. Frankfurt wird hierfür seinen Beitrag leisten.

Norbert Auner

Typ: Eine detaillierte Beschreibung der hier vorgestellten Ergebnisse findet sich in der Juni-Ausgabe des GDCh-Fachjournals »Nachrichten aus der Chemie« (www.gdch.de/taetigkeiten/nch.htm).

Informationen:  
Prof. Norbert Auner, Institut für Anorganische und Analytische Chemie  
Tel: 798-29591, Fax: 798-29188  
auner@chemie.uni-frankfurt.de, web.uni-frankfurt.de/fb14/Anorg\_Chem/AK\_Auner/