



# Zeitschrift für Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

17. Jahrgang 2010

## Editorial

Das Wissenschaftsjahr 2010 orientiert mit seinem Motto „Die Zukunft der Energie“ auf einen Kreis hochrelevanter Fragen, deren Beantwortung entscheidende Fortschritte für die Menschheit verheißt und nur durch interdisziplinäres und internationales Zusammenwirken zahlreicher Fachdisziplinen – nicht nur der natur- und ingenieurwissenschaftlichen – möglich sein wird. Mit ihrem wissenschaftlichen Profil und ihrem zum Leitbild erhobenen Selbstverständnis als Ressourcen-Universität ist dies für unsere TU Bergakademie eine strategietragende Herausforderung und Anlass zu einer Präsentation der auf diesem spannenden Bewährungsfeld bisher erzielten Ergebnisse.

Das vorliegende Heft der Zeitschrift – das gemeinsam vom Verein der Freunde und Förderer und der Universität herausgegeben wird – hat deshalb genau hier seinen Fokus. Das Gros der Forschungsvorhaben zur Profillinie Energie ist naturgemäß in der Fakultät 4 „Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik“ angesiedelt. Daher findet man Beiträge zu einschlägigen Forschungsleistungen aus den Instituten dieser Fakultät auf vorderen Plätzen, insbesondere zu den Themenbereichen

- Energie verantwortungsbewusst und effizient nutzen
- Energie und Forschung für den Klimaschutz
- Innovative Konzepte und Technologien für das Nach-Erdölzeitalter/alternative Energieformen erschließen
- Schlüsselprozesse der künftigen Energie- und Rohstoffversorgung
- Energetik global verstehen
- Deutsches EnergieRohstoffzentrum Freiberg – DER

Diese Themen (Artikel Meyer, Kuchling, Gutte, Hasse, Trimis, Groß, Kuna, Hessenkemper, Lampe) werden durch komplementäre Beiträge von Kooperationspartnern der TU Bergakademie Freiberg (Solar World, VNG, Wacker Chemie AG) sowie Gast-Beiträge namhafter Wissenschaftler auf relevanten Fachgebieten flankiert (Klimadebatte, CO<sub>2</sub>-Speicherung, Elektroauto). Hinzu kommen Gedanken zu Erfahrungen und Konzepten für die Ausbildung von Ingenieuren an der Fakultät 4 (Sichone). Das Ganze

fügt sich zu einem Block, der für den Leser neue interessante Einsichten in den anzustrebenden Energie- und Rohstoff-Mix der Zukunft vermittelt.

Energie- und Rohstoffwirtschaft sind untrennbar verbunden („Alles kommt vom Bergwerk her“). Im Rahmen des 2006 gegründeten Deutsch-Russischen Rohstoffforums wurde vom 17. bis 19. März 2010 unsere Montanuniversität – eine der ältesten der Welt – für ein paar Tage zum Mekka für deutsche und russische Rohstoffexperten (s. Artikel Wirth).

Die Bergakademie leistet seit zweieinhalb Jahrhunderten herausragende Beiträge sowohl für die Analyse und Nutzung der Rohstoffpotenziale als auch für die Aus- und Weiterbildung von namentlich ausländischen Fachkräften und den Transfer von Spezialisten in wichtige Rohstoffländer (Artikel Goedecke, Polanski). Die aktuellen Aktivitäten an der TU in Freiberg selbst und in Potosi/Bolivien zur Gewinnung des für die Energetik von morgen strategisch wichtigen Elements Lithium sind hierfür ein besonders instruktives Beispiel (Beitrag Voigt).

Das Erinnern an den 300. Jahrestag des Bestehens der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meissen scheint uns ein passender Anlass dafür zu sein, den Stellenwert von Freiburger Beiträgen zur Technologie- und Materialentwicklung auf diesem Feld zu würdigen (Artikel Schulle/Ullrich).

Erstmals werden die Lehr- und Forschungsaktivitäten im seit kurzem an der TU Freiberg etablierten interdisziplinären Komplex Biologie/Biotechnologie/Lebensmitteltechnologie vorgestellt (Artikel Schlömann, Schüürmann, EBlinger, z. Lippe).

Mit der Gründung eines hochschuleigenen Karrierezentrens reagiert unsere Universität auf aktuelle Notwendigkeiten einer gezielten Vermittlung hochqualifizierter Fachkräfte und praxisnah ausgebildeter Absolventen (Artikel Nippa/Schlömann).

*Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer*  
Redaktionsleiter

**Aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technik**

Das Leitbild der TU Bergakademie Freiberg . . . . . 3  
 Der solare Einfluss auf den Klimawandel – Kritisches zur Klimadebatte / **Horst Malberg** . . . . . 4  
 Vom Wärmewirtschaftlichen Laboratorium zum Institut für Energieverfahrenstechnik  
 und Chemieingenieurwesen /  
**Steffen Krzack, Thomas Kuchling, Manfred Hahn, Bernd Meyer** . . . . . 11  
 Thermochemische Vergasung – Schlüsselprozess der zukünftigen Energie- und Rohstoffver-  
 sorgung / **Bernd Meyer, Steffen Krzack, Robert Pardemann, Wolfgang Heschel** . . . . . 20  
 Deutsches EnergieRohstoff-Zentrum Freiberg (DER) / **Heiner Gutte, Andreas Klossek** . . . . . 25  
 Virtualisierung von Hochtemperatur-Konversionsprozessen als Werkzeug zur  
 Prozessoptimierung / **Christian Hasse, Petr Nikiryuk, Patrick Masset** . . . . . 27  
 CO<sub>2</sub>-Speicherung Untertage / **Hans-Jürgen Kretzschmar, Volker Köckritz** . . . . . 33  
 Hochtemperatur-Brennstoffzellen für die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung –  
 Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen am Beispiel des EU-Projekts  
 FlameSOFC / **Dimosthenis Trimis, Stefan Voss und Alexandra Loukou** . . . . . 40  
 Solare Welt / **Frank Asbeck** . . . . . 45  
 Elektromobilität und Li-Batterien / **Jürgen Garche** . . . . . 49  
 Messung der Wärmeleitfähigkeit als Beitrag zur Energieeinsparung / **Ulrich Groß** . . . . . 50  
 Neue Entwicklung von Gläsern für die solare Energienutzung / **Heiko Hessenkemper** . . . . . 55  
 Untersuchung des Festigkeitsverhaltens beim Schweißen druckbelasteter  
 Gashochdruckleitungen / **Marco Enderlein, Meinhard Kuna** . . . . . 56  
 Energieeffizienz bei Zerkleinerungsprozessen / **Jan Lampke, Thomas Folgner** . . . . . 59  
 Expertendialog im Jahr 1 nach der Weltfinanzkrise: „Rohstoffe gegen Entwicklung“  
 als neuer Weg der Versorgungssicherheit / **Alexander Wirp** . . . . . 60  
 Freiburger Innovationen 2010 „Rohstoffe und Energie“ am 22./23. April 2010 /  
**Jörg Matschullat, Martin Bertau, Jens Gutzmer, Peter Kausch** . . . . . 62  
 Die wachsenden Herausforderungen der internationalen Rohstoffwirtschaft und der  
 Freistaat Sachsen – Betroffenheit, Chancen, Aktivitäten / **Manfred Goedecke** . . . . . 64  
 Lithium: Salar de Uyuni – der neue Silberschatz Boliviens – Universitäre Partnerschaft  
 für weltweite Elektromobilität und soziale Entwicklung / **Wolfgang Voigt** . . . . . 71  
 Die Hydrierung von Pflanzenölen zur Herstellung von hochwertigen Dieselmotorkraftstoff-  
 komponenten / **Thomas Kuchling, Beate Nitz, Matthias Endisch, Jan Roscher** . . . . . 75  
 Firmenbörse Wacker Chemie AG – Polysilicium-Produktion im Chemiewerk Nünchritz /  
**Florian Degenhart** . . . . . 80  
 Die künftige Entwicklung der Erdgasmärkte / **Klaus-Dieter Barbknecht** . . . . . 82  
 Der Beitrag von Ingenieurökonomie und Wirtschaftswissenschaften zur Braunkohlen-  
 forschung an der Bergakademie in den Jahren 1956–2006 / **Dieter Slaby** . . . . . 88

**Aus dem Vereinsleben**

Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 20. November 2009 . . . . . 94  
 Ehrenmitgliedschaft für Frau Erika Krüger . . . . . 95  
 Neue Alumni-Koordinatorin im Büro des Fördervereins . . . . . 95  
 Bernhard-von-Cotta-Preise 2009:  
 – Partialoxidation von o-Xylen zu Phthalsäure und Phthalsäureanhydrid in der Gas- und  
 Flüssigphase / **Babett Fiebig** . . . . . 96  
 – Goldlagerstättenforschung in Nordkalifornien / **Lutz Geißler** . . . . . 97  
 Zwei Gedenktafeln aufpoliert . . . . . 99  
 Erinnerung an M. W. Lomonossow – Werdegang eines Denkmals / **Bernhard Maier** . . . . . 100  
 Exkursion der Freiburger Bohrtechnikstudenten 2009 / **Caroline Kannwischer** . . . . . 101  
 Lagerstätten von Peru – 2009 / **Thomas Seifert** . . . . . 102  
 EGU 2010 Wien / **Karsten Reiter** . . . . . 106  
 Forschungsarbeit in Brasilien / **Veraldo Liesenberg** . . . . . 106  
 Thermo 2010 / **Christian Quas** . . . . . 107  
 Freiburger Studenten vertiefen Roboterprogrammierung / **Steffen Dach** . . . . . 108  
 Exkursion nach Irland / **Iris Wunderlich, Martin Baldauf, Tobias Brehm** . . . . . 108  
 StyA1/StyA2B, eine neuartige multi-funktionelle Flavoprotein-Monooxygenase /  
**Dirk Tischler** . . . . . 110  
 Grabstätte von Professor Hieronymus Theodor Richter / **Karl-Heinz Eulenberger** . . . . . 111

**Universität aktuell**

Biowissenschaften an der Bergakademie: Vom Gen zur Landschaft / **Michael Schlämann** . . . . . 112  
 Alternativmethoden zur toxikologischen Bewertung chemischer Stoffe / **Alexander  
 Böhme, Franziska Schramm, Dominik Wondrousch, Gerrit Schüürmann** . . . . . 117  
 Bier ist Genuss, Lebensfreude und Energie / **Michael EBlinger** . . . . . 122  
 Von den Göttern geschenkt, von den Menschen gemacht / **Georg Prinz zur Lippe** . . . . . 123  
 Erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Keramik, Glas- und Baustoff-  
 technik der TU Bergakademie Freiberg und der Staatlichen Porzellanmanufaktur  
 Meissen besonders nach 1980 / **Wolfgang Schulle, Bernd Ullrich** . . . . . 124  
 Das Großschgergerät GS 1000 / **Heinz Konietzky** . . . . . 129  
 Magnesium-Zentrum in Freiberg gegründet / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 132  
 Technologie-Roadmapping zu Magnesiumwerkstoffen durch Wirtschaftswissenschaftler  
 der TU Bergakademie Freiberg / **Jens Grigoleit, Michael Höck, Anne Stoermer** . . . . . 132  
 TU Bergakademie präsentierte synthetisches Benzin / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 133

Kolloquium bündelt Forschungsergebnisse von ADDE / **Christian Möls, Uta Rensch** . . . . . 133  
 Das Internationale Universitätszentrum wird 10 Jahre alt / **Katja Polanski** . . . . . 134  
 SR Vietnam als Partner / **Christoph Breitzkreuz** . . . . . 138  
 Studiengang Technomathematik – und was kommt danach? / **Michael Reissig** . . . . . 138  
 DAAD fördert die Ausbildung mongolischer Studenten / **Carsten Drebenstedt** . . . . . 139  
 Die TU Freiberg unterwegs nach China / **Huojin Xiong, Katja Polanski** . . . . . 140  
 Von Freiberg nach China / **Stefan Schafföner** . . . . . 140  
 Von China nach Freiberg / **Dong Liang** . . . . . 141  
 Sprachtutorenprogramm / **Kirsten Hutte, Manuela Junghans** . . . . . 141  
 Steigerlied zum Kurs / **Manuela Junghans, Torsten Mayer** . . . . . 141  
 Klausurtagung der Arbeitsgruppe Photovoltaik der TU Bergakademie Freiberg  
 mit der Silizium-Arbeitsgruppe der NTNU Trondheim / **Thomas Kaden** . . . . . 142  
 Als Student der Werkstoffwissenschaften ein Semester in den USA / **William Förster** . . . . . 142  
 Studium und Lehre an der Fakultät 4 / **Karin Sichone** . . . . . 144  
 Lehre & Lernen verbessern / **Michael Nippa, Lesya Zalenska** . . . . . 148  
 Hochschuleigenes Karrierezentrum / **Michael Nippa, Michael Schlämann, Linda Clauß** . . . . . 149  
 Internationale Doppelabschlüsse – ein Markenzeichen / **Horst Brezinski** . . . . . 151  
 Szenario Planning – The International Financial Architecture 2030 /  
**Horst Brezinski, Jacob Kleinow** . . . . . 151  
 Zeit für neue Pioniere – Kommunikationskampagne der TU Bergakademie Freiberg  
 in den alten Bundesländern / **Sabine Schellbach** . . . . . 152  
 Online- und Webaktivitäten / **Bastian Fermer** . . . . . 154  
 Abitur, Studium, Beruf: Schüler an der Bergakademie / **Marcus Lippold** . . . . . 155  
 Geht es noch besser? Eine aktuelle Betrachtung zur Studienwerbung / **Jan Heimfarth** . . . . . 156  
 2.500 Besucher zum Tag der offenen Tür . . . . . 157  
 Wissenschaftspreis für Studenten des Instituts für Bergbau und Spezialtiefbau /  
**Carsten Drebenstedt** . . . . . 157  
 Innovationspreis Weiterbildung . . . . . 157  
 Freiburger Forschungsforum: 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag . . . . . 158  
 BHT: Fachkolloquium 1 + 5 / **Carsten Drebenstedt** . . . . . 159  
 Internationale Kambrium-Tagung am Geologischen Institut / **Olaf Elicki** . . . . . 160  
 Deutsch-marokkanisches Forscherteam auf den Spuren früherer Saurier / **Sebastian Voigt** . . . . . 161  
 Das Krügerhaus / **Christel-Maria Höppner, Uwe Richter** . . . . . 161  
 Vereinbarung zum Schlossplatzquartier unterschrieben / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 162  
 Nur was sich ändert, bleibt – Die Weiterentwicklung der Universitätsbibliothek  
 „Georgius Agricola“ / **Katrin Stump** . . . . . 163  
 Unisport ist (k)eine Einheitsgröße / **Bernd Eulitz** . . . . . 166  
 2. Unifest . . . . . 167  
 Dialog mit Pinsel und Farbe / **Christoph Wetzel** . . . . . 168  
 Premiere von „Die Vermessung der Welt“ im Senatssaal . . . . . 170

**Historie**

Die Freiburger Münzstätte / **Hans Friebe** . . . . . 171  
 Unsere Berghauptleute in Freiberg – eine kleine Schönbergsche Familiengeschichte /  
**Rüdiger Frhr. v. Schönberg** . . . . . 174  
 Chronik 2011 / **Norman Pohl, Roland Volkmer** . . . . . 179  
 Ein Hauch von Alt-Freiberg in New York . . . . . / **Ernst Menzel** . . . . . 180  
 . . . diese Smith! / **Birgit Seidel** . . . . . 181  
 Zum 175. Todestag von Friedrich Gottlieb von Busse / **Gerd Grabow** . . . . . 182  
 Sächsisches Bergmannsliedgut / **Wilfried Heibel** . . . . . 183  
 Stollenbacken in einer sächsischen Kleinstadt / **Erika Krüger** . . . . . 184

**Personalia**

Hochschulrat der TU Bergakademie tritt erstmals zusammen / **Christian Möls** . . . . . 185  
 Prof. Bernd Meyer als Rektor wiedergewählt . . . . . 185  
 Fakultäten mit neuen Dekanen / Neue Prorektoren gewählt / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 186  
 TU Bergakademie ehrt Dietrich von Dobeneck / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 187  
 Ehrendoktorwürde für Gennadij Pivnjak / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 187  
 Ehrenbürgerwürde für Manfred Goedecke / **Christel-Maria Höppner** . . . . . 188  
 Prof. Dr. Hans Jürgen Rösler / **Dieter Wolf, Werner Pälchen** . . . . . 188  
 75. Geburtstag von Altrektor Horst Gerhardt / **Carsten Drebenstedt, Gerhard Roewer** . . . . . 190  
 Gerhard Pusch – 70 Jahre / **Peter Hübner** . . . . . 192  
 Heinrich Oettel – 70 Jahre / **Hans Jürgen Seifert, Peter Klimanek, Ulrich Martin** . . . . . 193  
 Hanspeter Jordan (23.7.1935–19.7.2010) / **Harald Walter, Jürgen Schneider**,  
**Joachim Hofmann, Torsten Abraham** . . . . . 194  
 † Prof. Manfred Wolf / **Dieter Wolf** . . . . . 195  
 Zum Tode von Prof. Dr. Eberhard Wächtler / **Helmuth Albrecht** . . . . . 195  
 Promotionen, Habilitationen . . . . . 196  
 Geburtstage unserer Vereinsmitglieder . . . . . 197  
 Markscheider Beyer 90 Jahre alt / **Georg Dittrich** . . . . . 198  
 Autorenverzeichnis . . . . . 199  
 Beitrittserklärung . . . . . 200

**Appendix:** Der Verein hält Rückschau / **Gerd Rütger**

# Das Leitbild der TU Bergakademie Freiberg

## Vorwort

Mit dem Leitbild haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der TU Bergakademie Freiberg das Selbstverständnis ihrer Arbeit dargelegt. Es ist das Ergebnis einer offenen und engagierten Diskussion aller Bereiche aus Forschung, Lehre und Verwaltung. Im Leitbild fließen die reiche Tradition der Universität und Ziele für eine verantwortungsvolle Gestaltung der Zukunft zusammen. Es bietet uns Orientierung und Motivation für die gemeinsame Arbeit. Ein wichtiger Bestandteil unseres Leitbildes ist das Bekenntnis zu Werthaltungen, wie Offenheit, Dialogfähigkeit und gegenseitiger Wertschätzung. Mit dem Leitbild haben wir uns ein Fundament geschaffen, um gemeinsam den Erfolg der TU Bergakademie Freiberg als die deutsche Ressourcenuniversität nachhaltig zu gestalten.

*Rektor Prof. Bernd Meyer*

**1 Profil:** In den vernetzten Profillinien Geo, Material, Energie und Umwelt verstehen wir uns als die Ressourcenuniversität. Forschung und Lehre der TU Bergakademie Freiberg richten sich aus an den globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts – der nachhaltigen, si-

cheren und wirtschaftlichen Gewinnung, Bereitstellung und Nutzung knapper Ressourcen. Wir forschen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, gestützt auf eine fachübergreifende Vernetzung zwischen Mathematik, Informatik, Natur-, Technik- und Wirtschaftswissenschaften sowie auf weltweite Partnerschaften in Wissenschaft und Praxis.

**2 Nachhaltigkeit:** Wissenschaftliche Erkenntnis und verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen sind Maximen unseres Wirkens. Mit Spitzenleistungen in Forschung und Lehre übernehmen wir Verantwortung für eine nachhaltige Ressourcenwirtschaft. Durch exzellente Forschung und Lehre erzielen wir gemeinsam mit Partnern zukunftsweisende Ergebnisse, bilden hochqualifizierte Nachwuchskräfte aus und beteiligen uns aktiv am Wissenstransfer mit der Praxis.

**3 Werte:** Motivation, Wertschätzung und Dialogfähigkeit über Fächergrenzen hinweg bestimmen unser Miteinander. Transparenz, Dialog- und Kooperationsfähigkeit ermöglichen uns, eine enge fachliche Vernetzung innerhalb der Profillinien zu realisieren. Mit hervorragender Infrastruktur, kreativer Arbeitsatmosphäre und gestalterischen Freiräumen

bieten wir Forschenden, Lehrenden und Studierenden in dieser Vernetzung ein optimales Umfeld.

**4 Tradition:** Im Bewusstsein unserer traditionsreichen Geschichte widmen wir uns den Fragestellungen der Zukunft. An der weltweit ältesten montanwissenschaftlichen Universität stehen wir in der Tradition der Leistungen bedeutender wissenschaftlicher Persönlichkeiten. Wir sind unserer Geschichte und unserem Standort verpflichtet. Zugleich bewahren wir Werte und Traditionen als eine Grundlage für die kontinuierliche Weiterentwicklung unserer Universität.

**5 Leidenschaft:** Wir begeistern Menschen für Wissenschaft. Wir wecken Begeisterung für unser spezifisches Forschungs- und Lehrprofil und fördern das akademische Leben in Freiberg. Hier schaffen wir Angebote für lebenslanges Lernen.

**6 Miteinander:** Soziale und interkulturelle Kompetenz sind unsere besonderen Stärken. Menschen, Kulturen und Ideen begegnen wir mit Offenheit. Wir verwirklichen Chancengleichheit. Die familiäre Atmosphäre unserer Universität ist einer unserer Vorteile.

*Das Leitbild wurde vom Senat der TU Bergakademie Freiberg in den Sitzungen am 23. Juni 2009 (Beschluss B 33/3) sowie am 22. September 2009 (Beschluss 35/3) einstimmig verabschiedet.*

## Warum ist ein Leitbild wichtig?

**Margit Enke, Professorin für AWBL, Marketing und internationalen Handel, antwortet:**

Das Leitbild kann als das Selbstverständnis bzw. die grundlegende Verfassung eines Unternehmens oder einer Organisation verstanden werden. Es bildet die Basis für alle Entscheidungen und hat zwei Wirkungsrichtungen: nach innen und außen. Die Festlegung eines Leitbildes mit Grundsätzen, Werthaltungen und Richtlinien dient einer besseren Orientierung, klaren Bewusstmachung und Motivation. Es erhöht darüber hinaus die Identifikation der eigenen Mitarbeiter mit dem Unternehmen bzw. der Institution und erfüllt somit eine Integrationsfunktion. Ein Leitbild schärft das Profil gegenüber verschiedenen Anspruchsgruppen, wie z. B. Mitarbeitern, Medien, der Öffentlichkeit und Wettbewerbern und schafft so einen verbindlichen Hand-

lungsrahmen. Auch öffentliche Institutionen und Organisationen müssen Leitbilder erarbeiten und verabschieden, um damit ihr Selbstverständnis gegenüber verschiedenen Anspruchsgruppen zu artikulieren.

### Was sollte ein Leitbild enthalten?

Hinsichtlich der genauen Bestandteile existieren verschiedene Ansätze und Meinungen. Das Gemeinsame ist, dass zunächst die grundlegenden Werthaltungen, die ein Unternehmen bzw. eine Organisation vertritt, zum Ausdruck kommen sollen. Die Inhalte und Bestandteile eines Leitbildes resultieren aus der Beantwortung grundlegender Fragestellungen, wie zum Beispiel „Wer sind wir?“, „Was bieten wir an?“, „Wie sind wir?“, „Wo wollen wir hin?“ Obwohl diese Fragen zunächst einfach erscheinen, erfordert ihre Beantwortung jedoch gründliche Überlegungen und oftmals große Anstrengungen. Die Erarbeitung, Formulierung und Verabschiedung eines Leitbildes ist daher eine anspruchsvolle Aufgabe.

### Wo sehen Sie die Vorzüge am Leitbild der TU Bergakademie?

Das Leitbild spiegelt Tradition und Ursprünge unserer Universität wider und verknüpft diese mit richtungweisenden und zukunftsgerichteten Gedanken. Der Nachhaltigkeitsgedanke, der heute und in Zukunft von enormer Bedeutung ist, wird klar zum Ausdruck gebracht. Das Thema Ressourcen wird ebenso aufgegriffen.

Das Leitbild trägt darüber hinaus zur Profilbildung unserer Universität bei und erfüllt somit eine sehr wichtige Aufgabe im Wettbewerb um Studierende sowie um qualifizierten wissenschaftlichen Nachwuchs. Durch den Verweis auf wichtige Alleinstellungsmerkmale der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und den Bezug zur Region gelingt es, eine klare Abgrenzung vom Wettbewerb zu erzeugen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil unseres Leitbildes ist die Artikulierung zentraler Werthaltungen, wie Dialogfähigkeit, gegenseitige Wertschätzung und Offenheit.

# Der solare Einfluss auf den Klimawandel

## Kritische Anmerkungen zur Klimadebatte

Horst Malberg

Das Klimasystem der Erde ist ein dynamisches, nicht-lineares System, das permanent sowohl von langperiodischen als auch von kurzperiodischen und unsystematischen Einflussfaktoren angetrieben wird. Längerfristige Antriebe sind vor allem die Veränderungen des solaren Energieflusses, der „Solarkonstanten“. In welchem Ausmaß auch der anthropogene Treibhauseffekt eine Rolle beim längerfristigen Klimawandel spielt, soll in dieser Untersuchung nach dem Residuumprinzip überprüft werden.

Zu den kurzperiodischen Klimafaktoren zählen die Veränderungen der Meeresoberflächentemperatur, wie sie u.a. im Pazifik als ENSO-Kalt- und Warmphasen und im Atlantik als meridionale Temperaturschaukel (H. Malberg, G. Bökens 1993) auftreten. Auch der vulkanische Einfluss wirkt sich kurzzeitig auf das Klima aus. So kommt es nach Vulkanausbrüchen durch den Feinstaub zu einer erhöhten atmosphärischen Trübung und damit infolge einer verstärkten Absorption von Solarstrahlung zu einer Erwärmung in der oberen Stratosphäre bei gleichzeitiger Abkühlung in den bodennahen Schichten.

Als Beispiel für klimarelevante Wechselwirkungen/Rückkopplungen seien die gekoppelten Änderungen von Temperatur und Schnee-/Eisbedeckung beschrieben. Eine Erhöhung der Temperatur führt zu einem Rückgang der Schnee-/Eisbedeckung. Die Erdbalbedo verringert sich, und die Temperaturerhöhung wird verstärkt. Analoges gilt, wenn sich Abkühlungen bei zunehmender Schnee-/Eisbedeckung (erhöhte Albedo) verstärken. Starke Klimaeffekte haben auch Änderungen der Wolkenbedeckung zur Folge.

Eine Vielzahl von Prozessen ist somit zu jedem Zeitpunkt in unserem Klimasystem wirksam. Was wir als Klimaverhalten beobachten, ist das Gesamtergebn aller Antriebe, welche auf der kurz- und langfristigen Zeitskala ablaufen. In *Abb. 1* sind die in Mitteleuropa seit der Endphase der Kleinen Eiszeit beobachteten Temperaturänderungen eines Jahrzehnts im Vergleich zum Vorjahrzehnt wiedergegeben. Dabei sind positive wie negative Temperatursprünge von 0,4 K bis 0,5 K keine Seltenheit. Im Einzelfall werden sogar +/-0,9 K erreicht.

Die Konsequenz aus diesem Temperaturverhalten ist, dass es nicht möglich ist, langfristige Klimaänderungen auf der Basis von einzelnen dekadischen (oder etwa jährlichen) Temperaturänderungen zuverlässig zu beurteilen. Aufgrund dieses Sachverhalts haben unsere Klimatologie-Lehrer als Klimaperioden 30-jährige Mittelwerte eingeführt. Auf solche Weise wird erreicht, dass die kurzzeitig wirkenden Klimaeinflüsse herausgefiltert werden und allein die langfristige, nachhaltige Klimaänderung sichtbar wird.

In *Abb. 2* sind anhand der 30-jährig gleitenden Mitteltemperaturen die langfristigen Klimaänderungen von Mitteleuropa seit der Kleinen Eiszeit wiedergegeben. Der permanente Klimawandel ist ein Faktum. Ferner wird in der Abbildung (relativ zum Mittelwert) deutlich, wann unternormale, also kalte, und

wann übernormale, also warme Klimabedingungen geherrscht haben. Der Kleinen Eiszeit des 17. Jahrhunderts folgte eine Wärmeperiode im 18. Jahrhundert. An diese schloss sich die Kälteperiode des 19. Jahrhunderts an. Ihr folgte die Erwärmung im 20. Jahrhundert. Fazit: Der Klimawandel ist ein systemimmanenter Prozess. Alle unsere Vorfahren mussten sich auf veränderte Klimaverhältnisse einstellen. Auch die heutigen und nachfolgenden Generationen werden dieses tun müssen – egal, welche CO<sub>2</sub>-Maßnahmen ergriffen werden.

### Ursachen der langfristigen Klimaänderungen

Bei der Frage nach der primären Ursache des langfristigen Klimawandels ist die Klimawissenschaft unverändert in zwei grundsätzliche Lager gespalten. Das eine Lager ist sich mit Politik und Medien

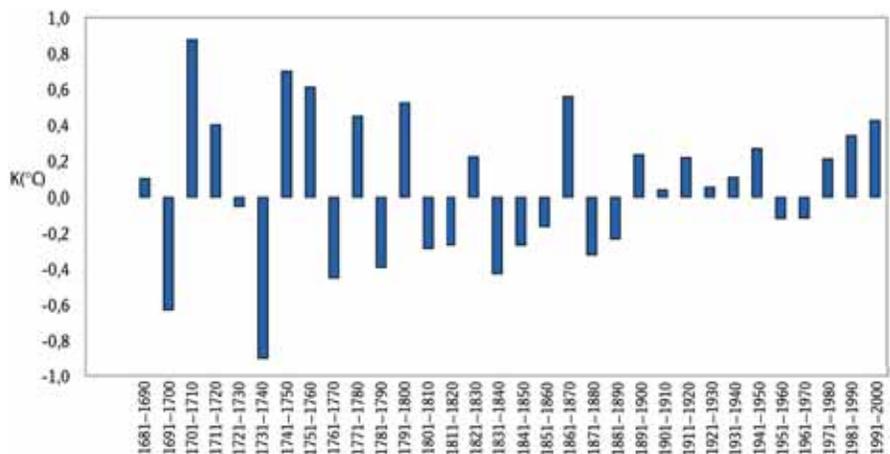


Abb. 1 Temperaturänderungen pro Jahrzehnt im Vergleich zum Vorjahrzehnt, Mitteleuropa 1671–2000

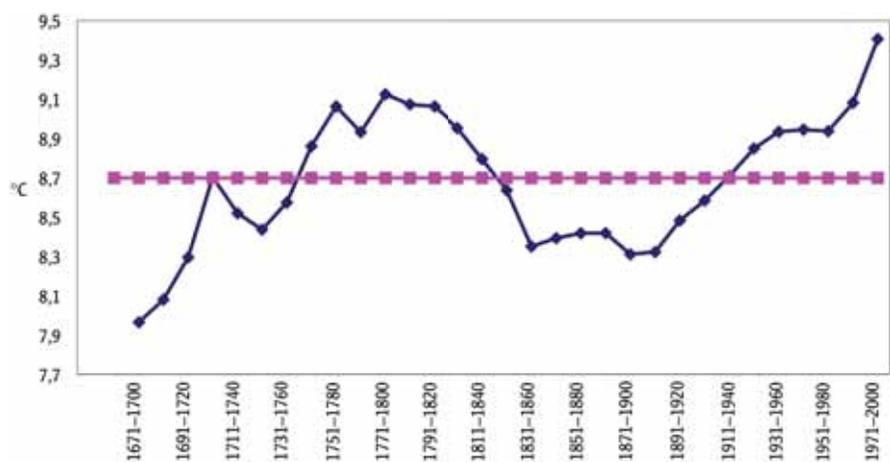


Abb. 2: 30-jährig geltende Mitteltemperatur von Mitteleuropa und ihr Mittelwert 1671–2000

in der Annahme einig, dass der anthropogene Treibhauseffekt den langfristigen Klimawandel primär verursacht, auch wenn es dafür keinen schlüssigen Beweis gibt. Vor allem empirische Klimatologen und Astrophysiker gehen dagegen davon aus, dass der solare Einfluss auf das Klima, wie zu allen Zeiten, der dominierende langfristige Klimaantrieb ist. Zur Klärung dieses Dissenses sollen nachfolgend unterschiedliche räumliche und zeitliche Klimaskalen analysiert werden. Dabei bleibt der methodische Ansatz gegenüber den früheren Untersuchungen grundsätzlich unverändert, jedoch werden entsprechend den über drei Dekaden bemessenen Klimaperioden Untersuchungsintervalle von drei Sonnenfleckenzyklen definiert.

Die rotierende Sonne ist wie unser Klimasystem ein dynamisches, nicht-lineares System. In ihr wirken nukleare, elektrische, magnetische, thermische Kräfte sowie die Gravitation. Die Folge der damit verbundenen Prozesse sind kurz- und langzeitliche Schwankungen des solaren Energieflusses. In Bezug auf die längerfristigen klimarelevanten Auswirkungen ist es daher auch beim solaren Antrieb sinnvoll, die kurzperiodischen/unsystematischen Aktivitätsschwankungen herauszufiltern. Dieses erfolgt durch die Mittelwertbildung der Sonnenfleckenanzahl über drei Sonnenfleckenzyklen, im Mittel über 33 Jahre.

### Die globale Klimaskala

Von den untersuchten Klimaskalen umfasst die globale/hemisphärische Skala (mangels weltweiter Beobachtungsdaten) mit rund 150 Jahren den kürzesten Zeitraum der jüngeren Klimageschichte. In *Abb. 3* ist die globale Mitteltemperatur, in *Abb. 4* die mittlere Sonnenfleckenanzahl jeweils über drei Sonnenfleckenzyklen gleitend für die Zeit 1860–1999 dargestellt.

Aus dem Vergleich von *Abb. 3* und *Abb. 4* ist erkennbar, dass die längerfristige globale Erwärmung unverkennbar mit einem Anstieg der Sonnenfleckenanzahl, also mit einer langfristigen Zunahme der Sonnenaktivität, zusammenfällt. Temperatur und Sonnenaktivität verlaufen grundsätzlich synchron. Analoges gilt für die Temperaturentwicklung auf der Nord- und auf der Südhalbkugel.

Um den quantitativen Zusammenhang zwischen den langfristigen solaren Antriebsänderungen und den effektiven (direkten und indirekten) Auswirkungen

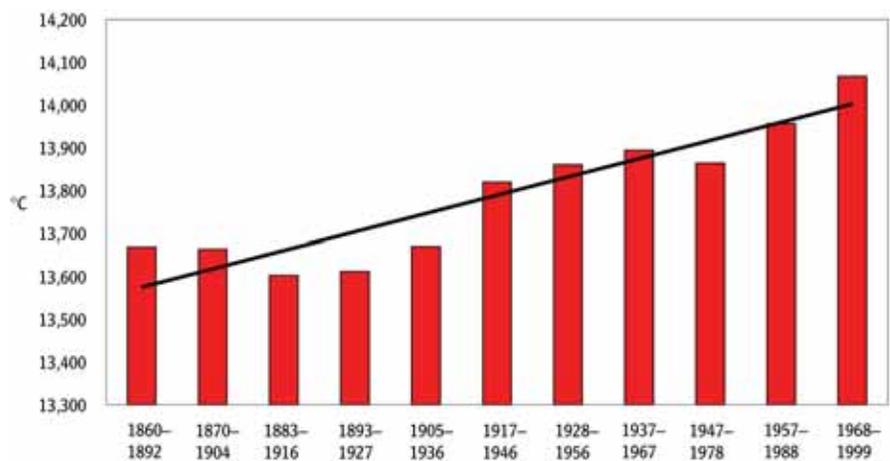


Abb. 3: Globale Mitteltemperatur über je 3 Sonnenfleckenzyklen (gleitend)

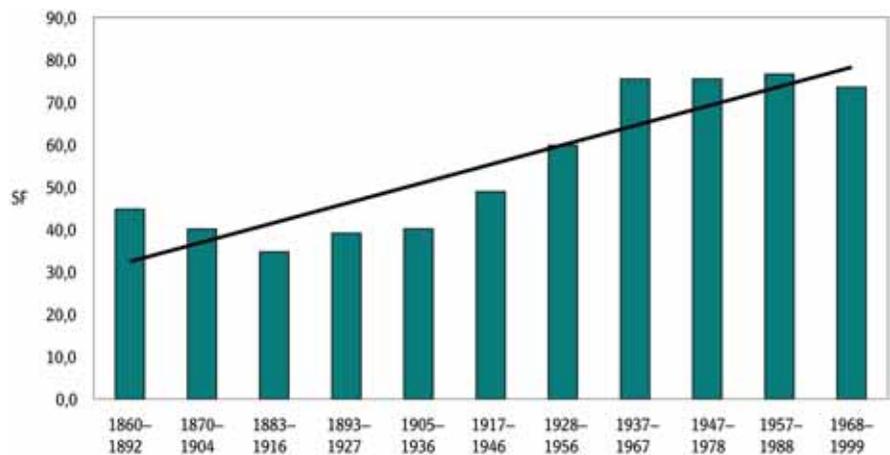


Abb. 4: Mittlere Sonnenfleckenanzahl über je 3 Sonnenfleckenzyklen (gleitend)

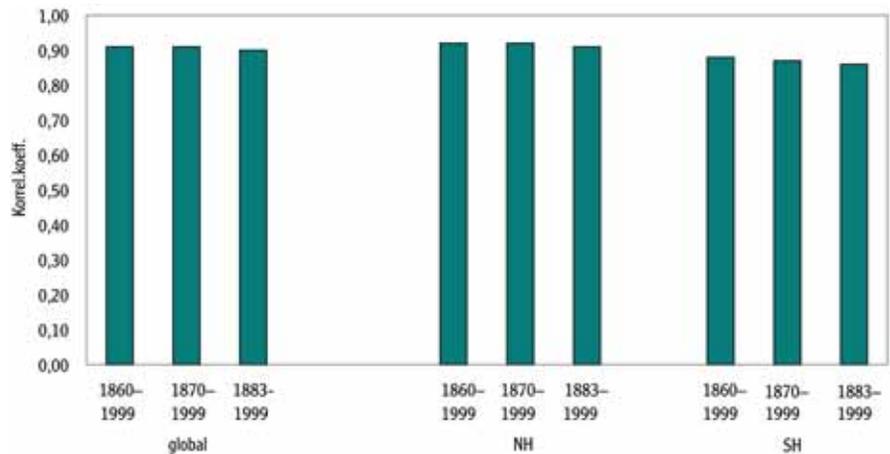


Abb. 5: Korrelation von globaler, nord- und südhemisphärischer Mitteltemperatur über je 3 Sonnenfleckenzyklen

auf die globale/hemisphärische Temperatur zu bestimmen, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse sind für die zeitlichen Intervalle 1860/1999, 1870/1999 und 1883/1999 in *Abb. 5* wiedergegeben. Wie sich zeigt, ergibt sich für die von kurzperiodischen Einflüssen befreite langfristige Temperaturentwicklung ein globaler Koeffizient

von +0,90 für die Korrelation mit dem solaren Antrieb. Mit +0,92 liegt der Korrelationskoeffizient für die Nordhalbkugel leicht höher als der Wert der Südhalbkugel von +0,87 – vermutlich ein Effekt der unterschiedlichen Land-See-Verteilung. Ferner zeigt der Blick auf *Abb. 5*, dass die Korrelationskoeffizienten eine hohe zeitliche Stabilität aufweisen.

### Die lokale Klimaskala (Deutschland)

Während die globale Klimareihe den Klimawandel erst seit der Mitte des 19. Jahrhunderts erfasst, geben die Klimabeobachtungen von Hohenpeißenberg (60 km südwestlich von München gelegen) Aufschluss über die Klimaentwicklung in Deutschland seit 1780. Der Analyse liegt die von P. Winkler überarbeitete Messreihe zu Grunde. Durch die über drei Sonnenfleckenzyklen erstreckte Berechnung der Mitteltemperaturen wurden die vielfältigen zirkulationsbedingten kurzfristigen kontinentalen und maritimen Einflüsse grundsätzlich eliminiert, so dass im Ergebnis primär das langfristige Klimaverhalten in Deutschland erkennbar wird.

In Abb. 6 ist die Klimaentwicklung anhand der Temperaturbeobachtungen von Hohenpeißenberg für den Zeitraum 1778–1999 dargestellt. (Die zwei Jahrestemperaturen 1778/1779 wurden zur Vervollständigung des entsprechenden Sonnenfleckenzyklus aus der Berliner Klimareihe abgeleitet).

Wie Abb. 6 zeigt, ist der Temperaturverlauf während der 220 Jahre U-förmig. Einer Wärmeperiode um 1800 folgte ein deutlicher Temperaturrückgang im 19. Jahrhundert. Ihm folgte dann der Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert.

Die über jeweils drei Sonnenfleckenzyklen gleitend mittleren Sonnenfleckenanzahlen sind in Abb. 7 dargestellt. Wie sich zeigt, weist die solare Aktivität in diesen 220 Jahren einen grundsätzlich zur Temperaturentwicklung analogen Verlauf in Deutschland auf.

Der verstärkten Sonnenaktivität am Ende des 18. Jahrhunderts mit einem Mittelwert von rund 45 Sonnenflecken folgten im 19. Jahrhundert zeitweise Werte zwischen 30 und 35 und zum Ende des 20. Jahrhunderts von über 70, was einer Zunahme der mittleren Sonnenfleckenanzahl um 100% während der jüngsten Erwärmungsperiode entspricht.

Den engen Zusammenhang zwischen den langfristigen Änderungen der Sonnenaktivität seit 1778 und dem gleichzeitigen langfristigen Temperaturgang in Deutschland demonstriert die statistische Korrelationsanalyse.

Der rapide Temperatursturz zu Beginn des 19. Jahrhunderts fällt mit einer ebenfalls kurzen, aber deutlichen Abnahme der Sonnenfleckenanzahl zusammen (Dalton-Minimum der solaren Aktivität). Entsprechend hoch ist mit +1,0 die Korrelation für die Klimaperioden im Zeit-



Abb. 6: Mitteltemperatur von Hohenpeißenberg für Klimaperioden von je 3 Sonnenfleckenzyklen, 1778–1999

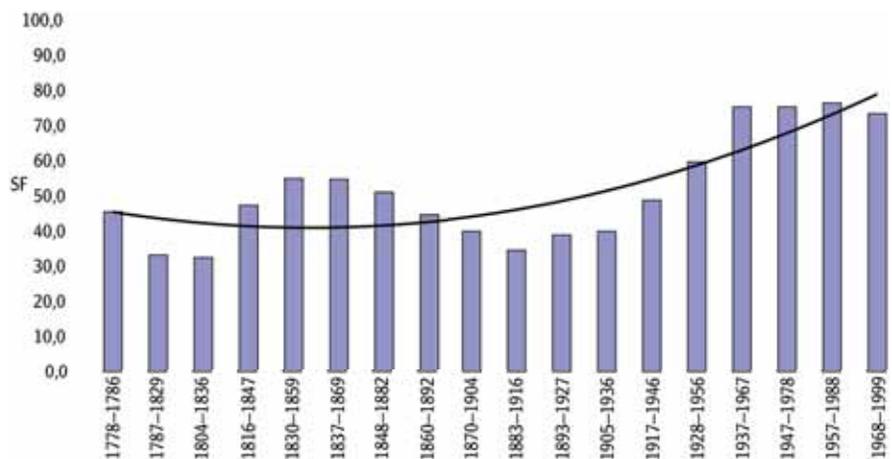


Abb. 7: Mittlere Sonnenfleckenanzahl von je drei Sonnenfleckenzyklen (gleitend), 1778–1999

raum 1778–1836. Auch wenn wegen der geringen Zeitspanne der Koeffizient statistisch nicht signifikant ist, so ist dennoch der Zusammenhang zwischen solarem Aktivitätseinbruch und Temperatursturz eindeutig.

Für die Temperaturentwicklung in Deutschland seit 1860, also für die aktuelle Erwärmung, berechnen sich Koeffizienten für die Korrelation mit der Sonnenaktivität – je nach Zeitintervall – zwischen +0,80 und +0,84 (Abb. 8).

Damit dürfte es keinen Zweifel geben, dass sich der integrale (direkte und indirekte) solare Einfluss auf den langfristigen Klimawandel selbst auf der lokalen Klimaskala von Deutschland eindeutig nachweisen lässt. Weiterhin zeigt sich, dass zwischen der jüngsten Erwärmung und der Zunahme der Sonnenaktivität ein enger kausaler Zusammenhang besteht. Je nach Zeitraum vermag der solare Antrieb 65–70% der Temperaturvarianz, d.h. des Temperaturverhaltens der letzten 220 Jahre, signifikant zu erklären.

### Die regionale Klimaskala (Mitteleuropa)

Die Untersuchung der Klimaentwicklung von Mitteleuropa basiert auf den Klimareihen von Berlin-Dahlem (J. Pelz), Prag sowie der beiden Stationen Basel und Wien (F. Baur). Den drei Dekaden 1671–1700 liegen die auf Mitteleuropa reduzierten Beobachtungen der Zentralenglandreihe (G. Manley) zugrunde. Damit stehen für die langfristige Klimadiagnose geprüfte Beobachtungsdaten für die Zeit seit dem letzten Höhepunkt der Kleinen Eiszeit zur Verfügung. (Nicht einbezogen wurden die Klimabeobachtungen von Hohenpeißenberg, da sonst die lokalen und die regionalen Ergebnisse nicht unabhängig voneinander gewesen wären).

In Abb. 9 ist anhand der über drei Sonnenfleckenzyklen gemittelten Temperaturen die langfristige Klimaentwicklung von Mitteleuropa wiedergegeben (vgl. Abb. 2). Nach der Endphase der Kleinen Eiszeit im 17. Jahrhundert stieg die Temperatur bis zum Wärmemaximum um

1800 an. Dieser Wärmeperiode folgte die Kälteperiode des 19. Jahrhunderts. Ihr schloss sich die Erwärmung des 20. Jahrhunderts an. Die beiden Kälteperioden waren dabei mit einer maximalen Ausdehnung der Alpengletscher verbunden. Mit Gebeten, mit Bittprozessionen und dem Versprechen, in Zukunft tugendhafter zu leben, hofften die Menschen damals, dass eine höhere Macht einen weiteren Vorstoß der Gletscher verhindern (Der Tagesspiegel, 7.8.2009) und damit der Kälte Einhalt gebieten möge.

Fragt man nach dem dominierenden Klimaantrieb, nach der primären Ursache des wiederholten Wechsels der ausgedehnten Kälte- und Wärmeperioden in den letzten drei Jahrhunderten, so liefert der Vergleich des Klimawandels seit der Kleinen Eiszeit (Abb. 9) mit der Veränderung der Sonnenfleckenanzahl (Abb. 10) eine schlüssige Antwort. Das synchrone langfristige Verhalten von Temperatur und Sonnenaktivität über die gesamte Zeitspanne ist so eindeutig, dass jeder Zufall ausgeschlossen werden kann.

Der ruhigen Sonne des Maunder-Minimums Ende des 17. Jahrhunderts folgte die Zunahme der Sonnenaktivität im 18. Jahrhundert. Dieser folgten das solare Dalton-Aktivitätsminimum im 19. und der Anstieg der solaren Aktivität im 20. Jahrhundert auf die höchsten Werte der letzten Jahrhunderte.

Ferner kommt in beiden Zeitreihen deutlich ein periodisches, sinusartiges Schwankungsverhalten zum Ausdruck. Der Vergleich von Abb. 9 und Abb. 10 zeigt: Sonnenaktivität und Temperaturverlauf weisen beide eine rund 200-jährige Schwingungsperiode auf. In der Astrophysik wird dieser 200-jährige Schwingungszyklus der Sonnenaktivität als De-Vries-Zyklus bezeichnet.

Die enge Verknüpfung von Klimaentwicklung und Sonnenaktivität seit der Kleinen Eiszeit kommt auch im Vergleich von Abb. 11 und Abb. 12 zum Ausdruck. Dort sind die Abweichungen vom Mittelwert der Temperatur bzw. der Sonnenfleckenanzahl für die je drei Sonnenfleckenzyklen umfassenden Klimaperioden dargestellt.

Die negativen Anomalien der Temperatur des 17. und des 19. Jahrhunderts sind gekoppelt mit den negativen Anomalien der solaren Aktivität. Den positiven Temperaturabweichungen des 18. und des 20. Jahrhunderts entsprechen die zeitgleich positiven Abweichungen der solaren Aktivität. Anders ausgedrückt:

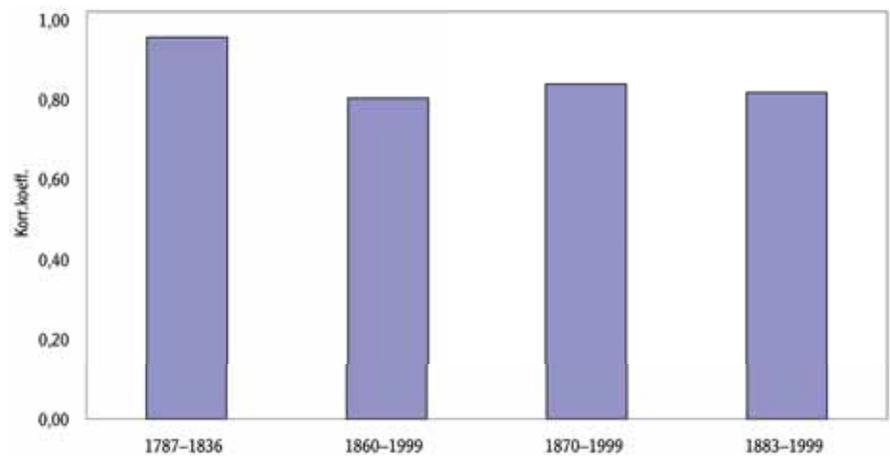


Abb. 8: Korrelation von Temperatur Hohenpeißenberg und mittlerer Sonnenfleckenanzahl für Klimaperioden über je drei Sonnenflecken-Zyklen (gleitend), 1778-1999

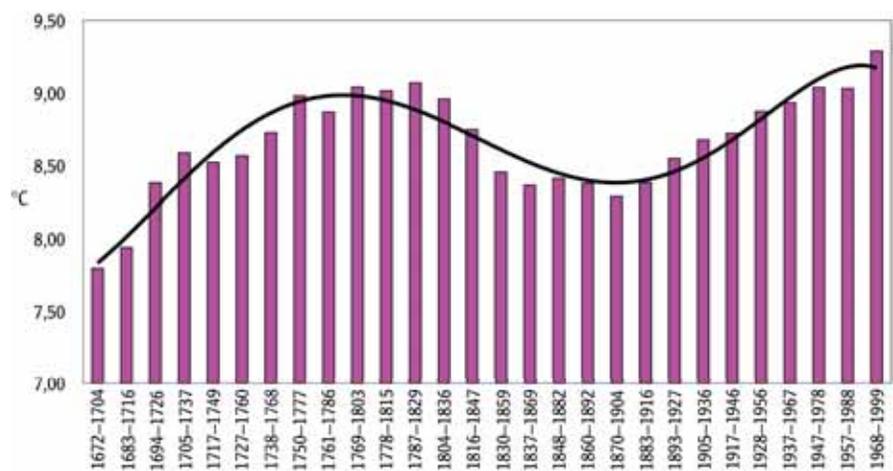


Abb. 9: Mitteltemperatur Mitteleuropas über je drei Sonnenfleckenzyklen (gleitend), 1672-1999

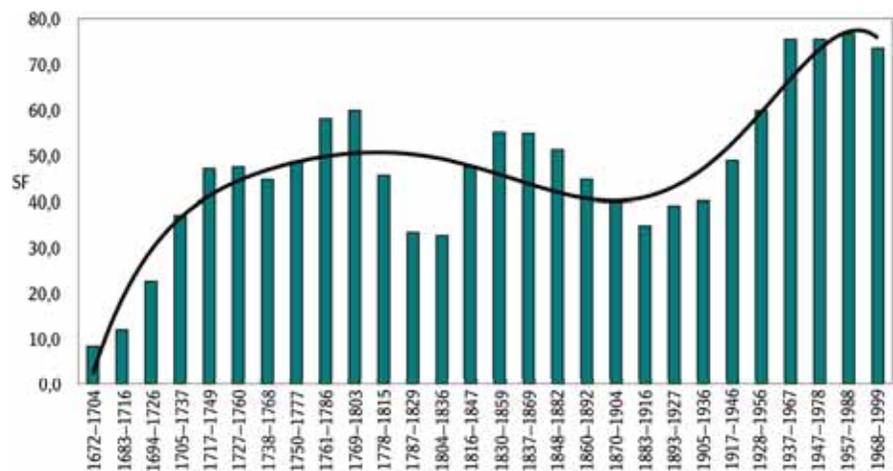


Abb. 10: Mittlere Sonnenfleckenanzahl über je 3 Zyklen (gleitend), 1672-1999

Perioden mit übernormaler Sonnenaktivität entsprechen einer aktiven Sonne und gehen mit Wärmeperioden einher. In Zeiten mit einer unternormalen Sonnenaktivität, einer ruhigen Sonne, kommt es zu Kälteperioden. Grundsätzlich lässt sich somit über den Zusammenhang von Sonnenaktivität und Klimaverhalten fest-

stellen: Zeiten mit langfristig zunehmender Sonnenaktivität fallen langfristig mit Erwärmungen zusammen. In Perioden mit einer langfristigen Abnahme der solaren Aktivität kommt es langfristig zur Abkühlung.

Dieser qualitative Zusammenhang wird durch die Ergebnisse der Korrela-

tionsanalyse in vollem Umfang bestätigt. Korreliert wurden wiederum die über drei Sonnenfleckenzyklen gleitend berechneten Mitteltemperaturen mit den entsprechenden mittleren Sonnenfleckenanzahlen. Die Ergebnisse sind in Abb. 13 dargestellt. Wie zu erkennen ist, berechnen sich für den Zusammenhang zwischen dem langfristigen Verhalten der solaren Aktivität und dem langfristigen Temperaturanstieg nach der Kleinen Eiszeit bis zum Ende des 18. Jahrhunderts Korrelationskoeffizienten von +0,90 bis +0,94. Analoges gilt für die kurze, intensive Abkühlungsphase zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Für die heute diskutierte Erwärmung von der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zum Ende des 20. Jahrhunderts ergeben sich Korrelationskoeffizienten mit der Sonnenaktivität von +0,83 bis +0,87, und für die Periode vom Ende des 19. Jahrhunderts bis 1999 solche von +0,90 bis +0,92. Bedenkt man, dass ein Korrelationskoeffizient (per Definition) maximal den Wert 1,0 annehmen kann, so ist der dominierende solare Einfluss auf den langfristigen Klimawandel nicht länger wegzudiskutieren.

**Zusammenfassende Betrachtungen**

In dieser klimadiagnostischen Untersuchung wurde der Klimawandel der letzten Jahrhunderte auf drei räumlichen Klimaskalen analysiert: auf der globalen, der lokalen und der regionalen Klimaskala. Damit verbunden sind drei zeitliche Klimaskalen.

Die globale/hemisphärische Untersuchung basiert auf den CRU-Klimareihen (Hadley-Center, UK) seit 1850. Der lokalen Klimaskala liegen die homogenen Klimabeobachtungen von Hohenpeißenberg seit 1780 zugrunde. Die regionale Klimaskala wird durch die „Klimareihe Mitteleuropa“ erfasst. Sie reicht bis 1671 zurück und damit bis zum letzten Höhepunkt der Kleinen Eiszeit.

Als erster Sachverhalt ist festzustellen: Die globale IPCC-Klimareihe ist mit rund 150 Jahren die kürzeste. Sie erfasst nur ein sehr begrenztes Zeitfenster und die durch sie dokumentierte Erwärmung ist ohne Bezug zur Klimavorgeschichte.

Der zweite wichtige Tatbestand ist: Die globale Klimareihe beginnt, wie die Klimareihe Mitteleuropa beweist, zu einer Zeit mit den lebensfeindlichsten Klimaverhältnissen nach der Kleinen Eiszeit. In der Mitte des 19. Jahrhunderts waren die Klimabedingungen so ungünstig, dass als Folge der Kältepe-

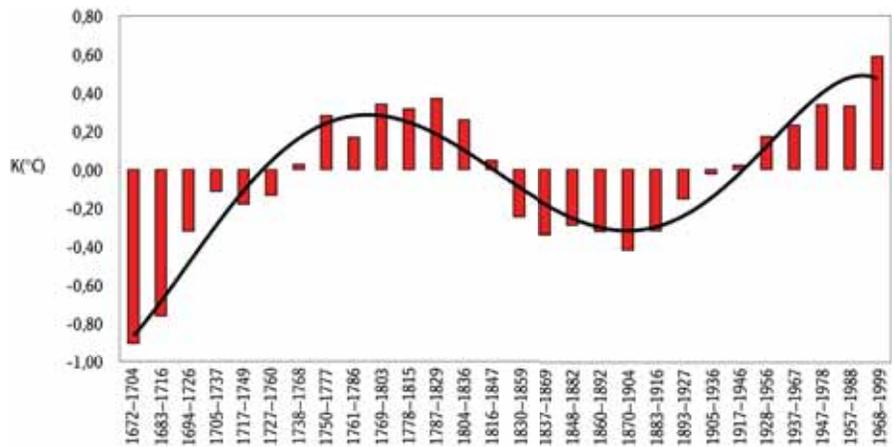


Abb. 11: Abweichungen von der Mitteltemperatur in Mitteleuropa über je 3 Sonnenfleckenzyklen (gleitend), 1672–1999

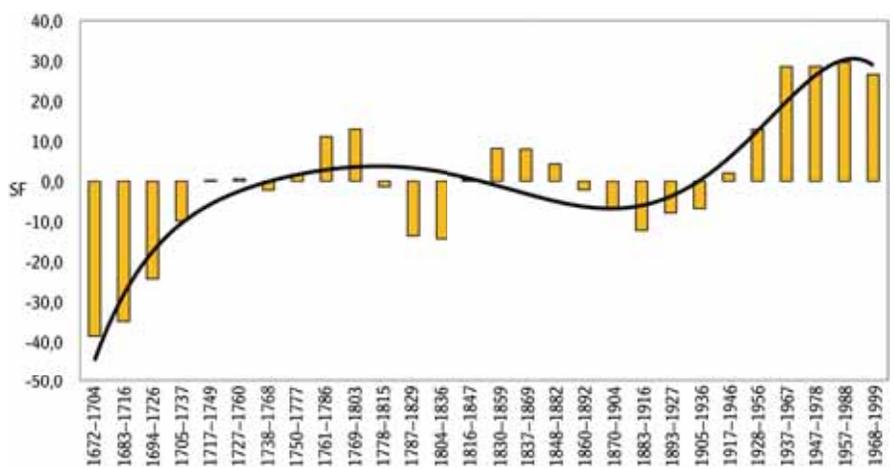


Abb. 12: Abweichungen von der mittleren Sonnenfleckenanzahl über je 3 Sonnenfleckenzyklen (gleitend), 1672–1999

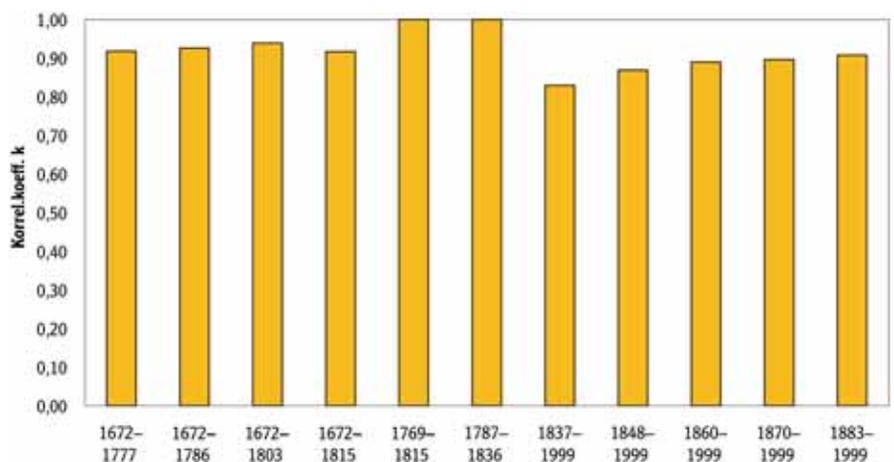


Abb. 13: Korrelation von Mitteleuropatemperatur und mittlerer Sonnenfleckenanzahl über je drei Sonnenfleckenzyklen (gleitend), 1672–1999

riode in Mitteleuropa Missernten und Hungersnöte auftraten und Menschen verhungert sind. Wer diese für Mensch und Natur lebensfeindliche Klimaepoche zum Referenz-/Normklima erklärt, und so die aktuelle Erwärmung dramatisiert und als Klimakatastrophe hinstellt, der

stellt die Klimarealität auf den Kopf und schürt bewusst eine Klimahysterie. Man fragt sich unwillkürlich: *cui bono*?

Wie die gegenwärtigen Klimabedingungen auf der langfristigen Klimaskala wirklich einzuordnen sind, wird durch die lokale Klimareihe von Hohenpeißen-

berg und die Klimareihe Mitteleuropa dokumentiert: In den letzten Jahrhunderten kam es zu einem wiederholten Wechsel von anhaltenden Kälte- und Wärmeperioden. Dem letzten Höhepunkt der Kleinen Eiszeit im 17. Jahrhundert schloss sich eine Erwärmung im 18. Jahrhundert an. Ihr folgten nach einem rapiden Temperaturrückgang die Kälteperiode des 19. Jahrhunderts und dann die Wärmeperiode im 20. Jahrhundert.

Der Einwand, Mitteleuropa sei für das globale Klimaverhalten nicht repräsentativ, ist, bezogen auf die langfristige Klimaskala, unrichtig. Dass die Klimaentwicklung der letzten Jahrhunderte in Mitteleuropa den globalen Klimaverlauf auch vor 1850 grundsätzlich widerspiegelt, lässt sich aus der extrem hohen Korrelation von +0,95 (1851–2000) bis +0,97 (1881–2000) ableiten, die sich für die 30-jährig gleitenden Perioden zwischen globalem und mitteleuropäischem Klimaverhalten ergibt. Dieser Zusammenhang ist auf 99,9%-Niveau hochsignifikant. Vor diesem Hintergrund stellt die globale Erwärmung nach 1850 lediglich den aufsteigenden Ast einer langperiodischen Klimaschwankung dar.

Die Antwort auf die Frage nach dem dominierenden Klimaantrieb auf der globalen, lokalen und regionalen Klimaskala folgt aus der Analyse des langfristigen Klimaverhaltens einerseits und den langfristigen Veränderungen der solaren Aktivität andererseits. Klimafluktuationen, also kurzperiodisch wirkende Antriebe (z.B. El Nino/La Nina, Vulkanausbrüche), sind auf der langfristigen Klimaskala grundsätzlich unerheblich. Diese stellen klimatische Oberschwingungen dar, die dem langfristigen Klimaverlauf nur überlagert sind. Der nachhaltige Prozess, dem sich Mensch und Natur anpassen müssen, ist die langfristige Klimaänderung.

Entsprechend der klimatologischen Konvention, Klimafluktuationen durch die Bildung 30-jähriger Mittelwerte zu eliminieren, wurde die Klimadiagnose über den Zusammenhang von solarem Antrieb und Klimaverhalten mittels Klimaperioden von je drei Sonnenfleckenzyklen (im Mittel 33 Jahre) durchgeführt. Auf diese Weise wird es möglich, das langfristige Klimaverhalten und die primäre Ursache deutlicher zu erkennen als dies unter Einbezug der vielfältigen kurzfristigen Variabilität möglich ist.

Auf der globalen Klimaskala berechnen sich für den Zusammenhang von solarer Aktivität und globaler/ hemi-

sphärischer Temperatur im Zeitraum 1860–1999 stabile Korrelationskoeffizienten von ( $\approx$ ) +0,90. Das Ergebnis ist auf 99,9%-Niveau hochsignifikant.

Auf der lokalen Klimaskala (Deutschland) folgen für den Zusammenhang zwischen Temperaturverlauf Hohenpeißenberg und solarer Aktivität im Zeitraum 1860–1999 statistisch hochsignifikante Korrelationskoeffizienten von +0,83 bis +0,89. Für die vorhergehende kurze, intensive Abkühlungsphase liegt der Koeffizient für die Korrelation mit der Sonnenaktivität bei über +0,90.

Auf der regionalen Klimaskala von Mitteleuropa ist die enge Kopplung zwischen den langfristigen Änderungen der solaren Aktivität und dem Klimaverhalten seit der Kleinen Eiszeit, d.h. für über 300 Jahre nachweisbar. Für die Erwärmungsperiode unmittelbar nach der Kleinen Eiszeit berechnen sich Korrelationskoeffizienten von +0,90 bis +0,94. Ebenso hohe Werte ergeben sich für die kurze, rapide Abkühlung zur Zeit des Dalton-Minimums der solaren Aktivität. Die jüngste Erwärmung Mitteleuropas weist ab 1848, je nach Zeitintervall, Korrelationskoeffizienten mit den Änderungen der solaren Aktivität von +0,87 bis +0,92 auf. Auch diese Werte sind auf 99,9%-Niveau statistisch abgesichert.

*Fazit:* Der dominierende Einfluss der solaren Aktivität auf das langfristige Klimaverhalten ist auf der globalen und hemisphärischen sowie auf der lokalen und regionalen Klimaskala eindeutig nachzuweisen. Langfristige Änderungen des solaren Energieflusses führen im Klimasystem zu direkten und indirekten Reaktionen. Direkt sind die breitenkreisabhängigen Temperaturänderungen gemäß dem jeweiligen Einfallswinkel der Sonnenstrahlung. Dabei kommt naturgemäß in den Tropen und den wolkenarmen Subtropen den Einstrahlungsänderungen das stärkste klimatische Gewicht zu, denn 50% der Erdoberfläche liegen in dieser strahlungsintensivsten Zone zwischen 30°N–30°S. Dort findet folglich auch im System Erde/Ozean-Atmosphäre die stärkste thermische Energieumsetzung statt. Über die damit verbundenen Veränderungen der Hadley-/Passat-Zirkulation kommt es zu komplexen Auswirkungen auf die gesamte planetarische Zirkulation, d. h. auf die atmosphärischen und ozeanischen Wärmetransporte.

Indirekt sind jene Auswirkungen, die durch photochemische Prozesse (Ozonschicht) und durch Rückkopplungsef-

ekte, z.B. durch großräumige Veränderungen der Wolken- und Schnee-/Eisbedeckung hervorgerufen werden.

Es liegt in der Natur statistisch-klimadiagnostischer Analysen, dass sie die physikalischen Einzelprozesse nicht aufzulösen vermögen. Die vorgeführten Ergebnisse stellen das Integral über alle durch die solaren Antriebsänderungen verursachten Auswirkungen auf das Temperaturverhalten dar. Der Zusammenhang zwischen Klima-/Temperaturentwicklung in den letzten Jahrhunderten und den Änderungen des solaren Antriebs in dieser Zeit ist statistisch auf 99,9%-Niveau abgesichert.

Wie die früheren Untersuchungen gezeigt haben, ergeben sich unter Einbezug auch der kurzperiodischen natürlichen Klimaantriebe für den solaren Antriebsanteil Korrelationskoeffizienten von +0,75 bis +0,80. Das entspricht einer erklärten Varianz, verursacht durch den solaren Effekt, von bis zu 65%. Betrachtet man allein die relevanten langfristigen Klimaänderungen, indem man die kurzfristigen Klimaschwankungen herausfiltert, so folgt: Für den Zusammenhang zwischen langzeitlichem solarem Aktivitätsverhalten und langfristiger Klimaentwicklung berechnen sich Korrelationskoeffizienten von +0,90. Der integrale solare Anteil erklärt somit rund 80% der langzeitlichen Klima-/Temperaturänderungen. Die statistische Irrtumswahrscheinlichkeit liegt bei nur 0,01 Prozent.

Daraus folgt: Die in den bisherigen Klimamodellen dem solaren Effekt zugewiesene Statistenrolle widerspricht der Klimarealität. Dem solaren Einfluss kommt die dominierende Rolle beim langfristigen Klimawandel zu. Der anthropogene Treibhaus-/CO<sub>2</sub>-Einfluss auf die langfristige Klimaentwicklung wird weit überschätzt. Sein Beitrag vermag nach den obigen Ergebnissen maximal 20% des langfristigen Temperaturverhaltens zu erklären. Abkühlungsphasen, ob kurz- oder langfristig, kann der anthropogene Treibhauseffekt-Anteil physikalisch überhaupt nicht erklären. Als jüngste Beispiele seien der Temperaturrückgang der letzten zehn Jahre und die Abkühlung in den 1960er und 1970er Jahren genannt.

Es ist ein Rätsel, wie die Politik auf der Grundlage einer der Klimavergangenheit widersprechenden und wissenschaftlich nicht konsensfähigen Arbeitshypothese über den anthropogenen CO<sub>2</sub>-Einfluss „Klimabeschlüsse“ mit weitreichenden

Konsequenzen begründen kann. Alle Szenarienrechnungen, ob bei Banken, in der Wirtschaft oder in der Klimaforschung, sind im Konjunktiv und daher unter Vorbehalt zu verstehen. Sie basieren auf vielfältigen Annahmen und führen in eine Vertrauenskrise, wenn sie als fundierte Prognosen missinterpretiert werden. Wenn die klimatische Zukunft der klimatischen Vergangenheit so offensichtlich widerspricht, ist über kurz oder lang mit einem Platzen der anthropogenen „Klimablase“ und mit mehr realistischen Klimamodellen zu rechnen.

Statt einer auf tönernen Füßen stehenden Klimapolitik wäre es angebracht, alle Anstrengungen auf eine ehrgeizige globale Umweltpolitik zu konzentrieren. Saubere Luft, saubere Flüsse, Seen und Ozeane, ein unbelasteter Erdboden gehören zu den fundamentalen Rechten aller Menschen. So ist z. B. das Abschmelzen hochgelegener Gletscher eine Folge fehlenden Umweltschutzes in der Vergangenheit und nicht des Klimawandels. Eine Erwärmung von 1 °C vermag physikalisch bei Gletschertemperaturen weit unter 0 °C nichts zu bewirken. Ein mit Ruß und Staub verunreinigter Gletscher verliert dagegen sein natürliches Reflexionsvermögen und absorbiert verstärkt Sonnenlicht und damit Wärmestrahlung. Die Folge: Der Gletscher „schwitzt in der Sonne“, er schmilzt. Die im Schatten liegenden Gletscherregionen schmelzen hingegen nicht.

### Die Klimazukunft

*Prognosen sind immer schwierig, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen*, soll der berühmte Atomphysiker Nils Bohr einmal gesagt haben. Dies gilt auch für das Verhalten der Sonne. Der rund 200-jährige Schwingungszyklus der solaren Aktivität ist jedoch ein astrophysikalisches Faktum. Neben dem beschriebenen Maunder- und Dalton-Minimum im 17. bzw. 19. Jahrhundert wird der rund 200-jährige De-Vries-Zyklus auch durch das Spoerer-Minimum im 15. Jahrhundert belegt. Die damit verbundene rund 200-jährige Klimaschwankung ist ebenfalls ein Faktum. Alle drei solaren Aktivitätsminima waren mit Kälteperioden verbunden. Im 15. Jahrhundert war zeitweise die Ostsee vollständig zugefroren. Im 17. Jahrhundert lag der letzte Höhepunkt der Kleinen Eiszeit, der 200 Jahre später die Kälteperiode des 19. Jahrhunderts folgte. Die Phasen hoher Sonnenaktivität korrespondieren dagegen jeweils

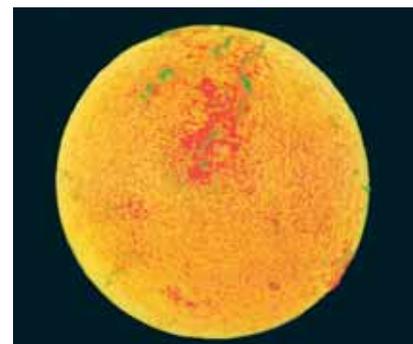
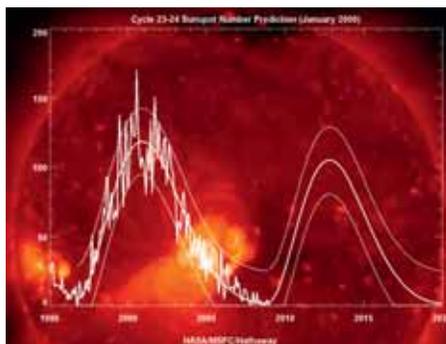


Abb. 14: Letzter Sonnenfleckenzyklus und Prognose der Sonnenfleckenzahl bis 2020 (NASA) (links). Aktive Sonne: hohe Sonnenfleckenzahl (rechts)

mit den Erwärmungen im 16., 18. und 20. Jahrhundert.

Gemäß dieser rund 200-jährigen Schwingungsperiode befinden wir uns mit hoher Wahrscheinlichkeit derzeit am Ende einer Wärmeperiode und damit am Beginn einer Abkühlung als Folge eines zu erwartenden solaren Aktivitätsrückgangs. Zu diesem Ergebnis kommen auch das SSRC (Space Science Research Center) in Orlando/USA und – nach einem Bericht der russischen Zeitung „Novosti“ (Juni 2008) – das russische Hauptobservatorium Pulkovo bei Sankt Petersburg.

Die von den bisherigen Klimamodellen aufgrund des CO<sub>2</sub>-Effekts für das 21. Jahrhundert vorhergesagte fortschreitende Erwärmung ist aufgrund der klimadiagnostischen Ergebnisse daher höchst unwahrscheinlich.

P.S. Die Sonne ist weiterhin relativ inaktiv.

### Literatur

- Brohan, P., J. J. Kennedy, I. Haris, S. F. B. Tett and P. D. Jones: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research* 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548 - pdf
- BMBF „Herausforderung Klimawandel“. 2004. <http://www.bmbf.de/pub/klimawandel.pdf>
- Claußnitzer, A.: Das Maunder-Minimum. Eine Modellstudie mit dem „Freie Universität Berlin Climate Middle Atmosphere Model“ (FUB-CMAM). Diplomarbeit. 2003
- Cubasch, U.: Variabilität der Sonne und Klimaschwankungen. Max-Planck-Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft (2001)
- Eddy, J. A.: „The Maunder Minimum“. *Science* 192. 1976
- EIKE: [www.eike-klima-energie.eu](http://www.eike-klima-energie.eu)
- Hennig, R.: Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse – von den alten Zeiten bis zum Jahre 1800. *Abh. Kgl. Preuß. Met. Inst.* Bd. II/4. 1904
- Hoyt, D. V. und Schatten, K. H.: The role of the sun in climate change. New York-Oxford, Oxford University Press. 1997
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S. and Rigor, I. G.: Surface air temperature and its

variations over the last 150 years. *Reviews of Geophysics* 37, 173-199. 1999

- Labitzke, K. and H. van Loon: The signal of the 11-years sunspot cycle in the upper troposphere-lower Stratosphere. 1997
- Labitzke, K.: On the solar cycle - QBO - relationship. *J.A.A., special issue* 67, 45-54. 2005
- Landscheidt, T.: Solar oscillations, sunspot cycles, and climatic change. In: McCormac, B. M., Hsg.: *Weather and climate responses to solar variations*. Boulder, Ass. Univ. Press (1983)
- Malberg, H. und G. Bökens: Änderungen im im Druck-/Geopotential- und Temperaturgefälle zwischen Subtropen und Subpolarregion im atlantischen Bereich im Zeitraum 1960-90. *Z. f. Meteor. N.F.* (1993)
- Malberg, H.: Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin/Berliner Wetterkarte: Über den Klimawandel in Mitteleuropa seit 1850 und sein Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 17/02. Die globale Erwärmung seit 1860 und ihr Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 27/02. Die nord- und südhemisphärische Erwärmung seit 1860 und ihr Zusammenhang mit der Sonnenaktivität. SO 10/03. Der solare Einfluss auf das mitteleuropäische und globale Klima seit 1778 bzw. 1850. SO 01/07. In Memoriam Prof. Richard Scherhag; Über den dominierenden solaren Einfluss auf den Klimawandel seit 1701. SO 27/07. El Niño, Vulkane und die globale Erwärmung seit 1980. SO 34/07. El Niño und der CO<sub>2</sub>-Anstieg sowie die globale Erwärmung bei C11/09O<sub>2</sub>-Verdopplung. SO 02/08. Die unruhige Sonne und der Klimawandel. SO 20/08. Über die kritische Grenze zwischen unruhiger und ruhiger Sonne und ihre Bedeutung für den Klimawandel. SO 03/09. La Nina - El Niño und der solare Einfluss - Der Klimawandel 1950-2008. SO 11/09. Über das Stadtklima und den Klimawandel in Deutschland seit 1780. SO 18/09.
- Malberg, H.: Klimawandel und Klimadiskussion unter der Lupe. *Z. f. Nachhaltigkeit* 5. 2007
- Malberg, H.: Klimawandel und Klimadebatte auf dem Prüfstand. *V. Ges. Erdk., Berlin*. 2007
- Matthes, K., Y. Kuroda, K. Kodera, U. Langematz: Transfer of the solar signal from the stratosphere to the troposphere: Northern winter. *J. Geophys. Res.*, 111. 2005
- Matthes, K., U. Langematz, L. L. Gray, K. Kodera: Improved 11-year solar signal in the Freie Universität Berlin climate middle atmosphere model. *J. Geophys. Res.*, 109. 2003
- Negendank, J. W.: Gehen wir einer neuen Kaltzeit entgegen? Klimaänderungen und Klimaschutz. TU Cottbus. 2007

- Pelz, J.: Die Berliner Jahresmitteltemperaturen von 1701 bis 1996, Beil. Berl. Wetterkarte, 06/1997
- Scafetta, N. and B. J. West: Is Climate Sensitive to Solar Variability. *Physics today*. (2008)
- Scherhag, R.: Die gegenwärtige Abkühlung der Arktis. Beil. Berliner Wetterkarte SO31/1970
- Svensmark, H.: Cosmic rays and earth's climate. *Space Science Rev.* 93 (2000)
- Svensmark, H.: Cosmic Climatology – A new theory emerges. *A&G*, Vol. 48 (2007)
- Svensmark, H., Friis-Christensen, E.: Reply to Lockwood and Fröhlich – The persistent role of

- the Sun in Climate forcing. *Danish Nat.Space Center. Scientific Report* 3/07 (2007)
- Wehry, W.: Einige Anmerkungen zu meteorologischen Messungen und Datenreihen. Beiträge BWK SO 22/09
- Winkler, P.: Revision and necessary correction of the long-term temperature series of Hohenpeissenberg, 1781–2006. *Theor. Appl. Climatol.* 75 (2009)

**Daten:** Den Temperaturdaten von Basel und Wien liegen die Klimareihen von F. Baur zugrunde, die im Rahmen der „Berliner Wetterkarte“ fortgeführt wurden. Die Temperaturdaten von Prag wurden

der Internet-Veröffentlichung [www.wetterzentrale.de/Klima/](http://www.wetterzentrale.de/Klima/) entnommen, erweitert durch Werte, die von der Station Prag direkt zur Verfügung gestellt wurden. Die Temperaturreihe von Berlin entspricht den von J. Pelz auf Berlin-Dahlem reduzierten Werten ab 1701. Die globalen Temperaturreihen basieren auf den Werten des Climatic Research Unit, UK ([www.cru.uea.ac.uk/cru/data](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data)). Die Sonnenfleckenzahlen entstammen der Veröffentlichung von NOAA ([ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_Data/Sunspot\\_Numbers/Monthly/](http://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_Data/Sunspot_Numbers/Monthly/)). Die Sonnenfleckenzahlen vor 1749 wurden aus verschiedenen Quellen ermittelt.

## Vom Wärmewirtschaftlichen Laboratorium zum Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen Eine 90-jährige Institutsgeschichte an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Steffen Krzack, Thomas Kuchling, Manfred Hahn, Bernd Meyer

Die Bereitstellung von Brennstoffen, Kraftstoffen und Chemierohstoffen aus einheimischen Energieträgern ist ein wirtschaftspolitisch hochaktuelles Thema. Diese Aussage trifft nicht nur heute zu, sondern stand bereits schon vor mehr als 90 Jahren in der Agenda von Politik und Wirtschaft, um die Versorgungssicherheit für Energierohstoffe zu gewährleisten.

### Vom Laboratorium zur Technischen Versuchsanlage 1919 bis 1945

Die gewachsene Bedeutung der Braunkohle als einheimischer Energieträger und Chemierohstoff veranlasste die deutsche Industrie unmittelbar nach dem 1. Weltkrieg, die Ausbildung und Forschung auf dem Gebiet der Braunkohlegewinnung, -verarbeitung und -verwertung zu fördern. Neben anderen fachspezifischen Einrichtungen in Halle und Charlottenburg wurde eine Braunkohlenstiftung ins Leben gerufen, mit der die Bergakademie Freiberg den Aufbau eines Braunkohlenforschungsinstitutes realisieren sollte (Abb. 1). Der erste Schritt auf diesem Weg war 1919 die Einrichtung eines auch für damalige Verhältnisse bescheidenen wärmewirtschaftlichen Laboratoriums im Bergakademie-Komplex an der Prüferstraße. Damit war der erste Vorläufer des heutigen Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen geschaffen.

Im Geschäftsbericht des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins (DEBRIV) von 1918 bis 1920 wird über folgende Aktivitäten berichtet: *Die Braunkohlenstiftung an der Bergakademie Freiberg*

*hat bereits einen umfangreichen Arbeitsplan aufgestellt. ... Der Sächsischen Volkammer liegt zurzeit (Juni 1920) ein Antrag auf Bewilligung von 10,5 Millionen Mark zur Errichtung eines Forschungs-Institutes der Braunkohle in Freiberg vor. Der Bauplatz für dieses Institut wurde von der Stadt Freiberg geschenkt. Die Mittel wurden bewilligt und ein Jahr später erfolgte die Grundsteinlegung für das Hauptgebäude des Staatlichen Braunkohlenforschungsinstituts an der Bergakademie Freiberg (Leipziger Straße/Löbnitzer Straße).*

Am 1.9.1921 ging aus dem wärmewirtschaftlichen Laboratorium die *Wärmewirtschaftliche Abteilung des Staatlichen Braunkohlenforschungsinstituts* hervor, das außerdem noch eine bergtechnische und eine chemische Abteilung besaß. Die Professur für Wärmewirtschaft

wurde mit Herrn Dipl.-Ing. F. Seidenschnur besetzt, der vorher bei der Deutschen Erdöl AG (DEA) u. a. maßgebend bei der großtechnischen Umsetzung von neuen leistungsfähigen Verfahren der Ölgewinnung aus Braunkohle mitgewirkt hatte. Er wurde gleichzeitig Direktor der Wärmewirtschaftlichen Abteilung. Als erste praxisrelevante Forschungsaufgabe erhielt das Institut vom DEBRIV den Auftrag zur „Untersuchung von Brandgasen im Braunkohlenbergbau“.

Bereits die ersten Planungen für das Braunkohlenforschungsinstitut sahen ein „Generatorgebäude“ für die wärmewirtschaftliche Abteilung vor. Wegen der durch den Versuchsbetrieb zur thermischen Kohleveredlung zu befürchtenden Gas- und Geruchsbelästigungen wurde als Standort nicht das Hauptgebäude des

#### R. v. Walter im Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft von 1919:

„Die Stiftung hat den Zweck, an der Bergakademie Freiberg die Lehr- und Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Braunkohlenbergbaus einschließlich der Weiterverarbeitung und Verwertung seiner Erzeugnisse zu fördern und durch Geldmittel zu unterstützen.“

#### Auszug aus der Liste der Stifter:

Anhaltinische Kohlenwerke, Halle	60.000 M
Badische Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen	20.000 M
Braunkohlen- und Brikettwerke Roddergrube Akt.-Ges., Brühl	40.000 M
Deutsche Erdöl-Aktiengesellschaft, Berlin	40.000 M
Erdölverwertungs-Aktiengesellschaft, Berlin	20.000 M
Fritz von Friedländer-Fuld, Zentralverwaltung Berlin	20.000 M
Ilse-Bergbaugesellschaft	20.000 M
Rütgerswerke, Berlin	30.000 M
Sächsisches Finanzministerium, Dresden	100.000 M
Stadtgemeinde Freiberg	10.000 M
Werschen-Weißenfels Braunkohlen-Akt.-Ges., Halle	60.000 M

Abb. 1: Auszug aus der Liste der Stifter der Braunkohlenstiftung

Braunkohlenforschungsinstituts, sondern die Halde des damals stillgelegten Bergwerkes „Reiche Zeche“ gewählt. In den Jahren 1921/22 wurde hier ein Generator- und Betriebsgebäude errichtet (Abb. 2). Es bildete das Kernstück der wärmewirtschaftlichen Abteilung, die außerdem Dienstzimmer und Laboratorien im 1924 vollendeten Hauptgebäude des Staatlichen Braunkohlenforschungsinstitutes besaß. Damit war der Standort des heutigen Instituts auf der Reichen Zeche gefunden. Bis Ende der 1920er Jahre erfolgte die Errichtung einer Versuchshalle mit Kohlebunker und eines weiteren Betriebsgebäudes.

Der damalige Leiter, Prof. F. Seidenschnur, erwarb sich große Verdienste beim Aufbau und der Weiterentwicklung der technischen Versuchseinrichtung am Standort Reiche Zeche, die als die weltweit erste technische Anlage zur Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Braunkohlenveredlung gilt. Er ergänzte die Forschungsarbeit im Labormaßstab mit Untersuchungen in halbtechnischen Versuchsanlagen. Die technologiebezogene und anwendungsnahe Forschung hat bis heute Tradition. Nach dem politisch erzwungenen Ausscheiden von Seidenschnur wurde die wärmewirtschaftliche Abteilung am 1.10.1935 in die *Technische Versuchsanlage Reiche Zeche* überführt und der Abteilung für chemische Kohleveredlung des Braunkohlenforschungsinstituts angegliedert. Der Technischen Versuchsanlage stand kurzzeitig Dr. R. Schmidt vor, der jedoch als technischer Direktor zum Hydrierwerk Magdeburg wechselte. Die Leitung übernahm dann Dr.-Ing. habil. A. Jäppelt (1939 Dozent, 1944 a. o. Professor für Chemische Technologie), der bereits seit 1927 Mitarbeiter bei Seidenschnur war.

Im Jahr 1942 erklärte man die Technische Versuchsanlage Reiche Zeche zum „Vierjahresplan-Institut für chemische Kohleveredlung“ und unterstellte sie hinsichtlich der Forschung dem Reichsamt für Wirtschaftsausbau. Hinsichtlich der Lehre unterstand sie weiterhin der Bergakademie Freiberg. Die Personalstärke wuchs in dieser Zeit von 22 auf 32 (1944) Mitarbeiter mit lediglich zwei bis drei Wissenschaftlern.

Vor 1945 gab es keine spezielle Ausbildung von Ingenieuren auf dem Gebiet der Kohleveredlung. Vielmehr wurde dieses Fachgebiet in die Ausbildung von Bergbau- und Metallhütteningenieuren

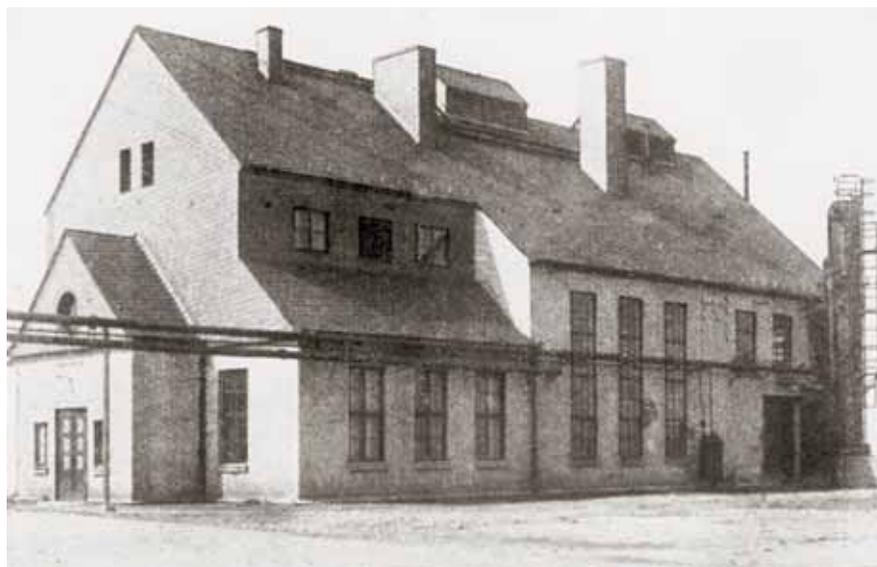


Abb. 2: Generator- und Betriebsgebäude der Wärmewirtschaftlichen Abteilung (1938)



Abb. 3a: Friedrich Seidenschnur



Abb. 3b: Carl Alfred Jäppelt

integriert. Die jeweiligen Leiter der „Technischen Versuchsanlage Reiche Zeche“ hielten für diese Fachrichtungen Vorlesungen (einschließlich Übungen) in den Fächern Wärmewirtschaft, Technische Verwertung von Kohle bzw. Chemische Technologie der Kohle. In dieser Zeit wurden nur vereinzelt Diplomarbeiten betreut. Die Industrie unterstützte die studentische Ausbildung z. B. durch die Einrichtung eines Fonds für „Belehrungsreisen“ (entspricht den heutigen Fachexkursionen). Die Hauptaufgabe der Einrichtung bestand in dieser Periode in der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der thermisch-chemischen Verwertung der Braunkohle, einer Thematik, die mit Beginn der 1920er Jahre schnell an wirtschaftlicher Bedeutung gewann. Das Forschungsprofil wurde durch die jeweiligen Direktoren geprägt. Anre-

gungen und finanzielle Unterstützung kamen maßgebend von der Industrie, insbesondere vom DEBRIV. Schwerpunkte waren die Flüssigproduktgewinnung durch Schwelung und Hydrierung sowie in geringerem Umfang auch die Vergasung. Wichtige Arbeitsfelder unter Seidenschnur waren:

- Spülgasschwelung von Braunkohle,
- Kohlehydrierung,
- Verarbeitung der Flüssigprodukte insbesondere zu Kraft- und Schmierstoffen,
- Synthesegaserzeugung durch Vergasung von Braunkohleformlingen und Schwelkoks

und zusätzlich unter Jäppelt:

- Verschwelung von Steinkohle (z. B. wurde die auch heute in anderem Zusammenhang aktuelle Verflüchtigung von Chloriden entdeckt und

- deren Reaktionsmechanismus aufgeklärt),
- Verwertung der Abfallprodukte von Kohleveredlungsanlagen,
  - Entmineralisierung von Schwelkoks und Bestimmungsmethoden für den Mineralstoffgehalt.

Die Forschungsergebnisse wurden von 1922 bis 1945 in insgesamt 69 Beiträgen, vorwiegend in den Zeitschriften „Das Braunkohlenarchiv“ und „Braunkohle“, veröffentlicht bzw. zum Patent angemeldet. Entsprechend der strategischen Bedeutung der Thematik für die Treibstoff- und Heizölgewinnung bestanden während des 2. Weltkrieges Veröffentlichungsbeschränkungen. Die Forschungsarbeiten begannen offenbar sehr erfolgreich, so konstatierte der DEBRIV in seinem Jahresbericht 1923/24: *Das Braunkohlenforschungsinstitut der Bergakademie Freiberg ... hat vor allem auf dem Gebiet der Verschwelung der Braunkohle bahnbrechende Arbeit geleistet ...*

### **Das Institut für Technische Brennstoffverwertung 1945 bis 1968**

Im Zuge der Neustrukturierung wurde nach dem 2. Weltkrieg die Technische Versuchsanlage Reiche Zeche in den Rang eines selbstständigen Instituts mit der Bezeichnung Institut für Technische Brennstoffverwertung an der Fakultät für Bergbau der Bergakademie Freiberg erhoben.

Bereits im Herbst 1945 begann man wieder mit den Forschungsarbeiten. Auftraggeber waren Dienststellen der sowjetischen Besatzungsmacht, und zwar die Technischen Büros „Kohle“ und „Buntmetalle“, für die zahlreiche ausländische Kohlen untersucht wurden. Schwerpunkte waren zu dieser Zeit die Bindemittel- und die Heißbrikettierung von Steinkohle sowie die Verbesserung der Brikettierbarkeit von Hartbraunkohle.

Das Institut stand nacheinander unter der Leitung von

- A. Jäppelt bis 1948 (1947 bis 1952 Forschungsberater für das Jugoslawische Bergbauministerium; danach leitender Mitarbeiter bei einer großen deutschen Kokerei-Baufirma; 1958 bis 1962 Lehrauftrag für Schwelereitechnik an der Bergakademie),
- K. Kegel 1947/49 (nebenamtliche Betreuung des Instituts als o. Professor für Bergbau und Bergwirtschaft; Emeritierung 1945 bis 1951 ausgesetzt),
- E. Rammler von 1949 bis 1966 (o. Professor für Brennstofftechnik) und

- W. Rademacher ab 1966 (ab 1963 Lehrbeauftragter, 1966 o. Professor für Brennstofftechnik).

Das Profil des nunmehrigen Hochschulinstituts änderte sich deutlich. Die Aufgaben in der Lehre nahmen zu. Entsprechend der wachsenden Spezialisierung in den Ingenieurdisziplinen wurde 1953 die Fachrichtung „Aufbereitung“ gegründet, die auch Brikettieren und thermisch-chemische Veredlung in Form einer Studienrichtung „Kohle und Öl“ einschloss. Ab 1956 wurde diese als eigenständige Fachrichtung „Kohleveredlung“ angeboten. Von Beginn an wirkte Prof. E. Rammler, der 1951 zusätzlich zum Direktor des Instituts für Brikettierung ernannt wurde, als Fachrichtungsleiter. Die Vorlesungen, für die das Institut für Technische Brennstoffverwertung verantwortlich war, wurden aufgrund der wachsenden Bedeutung der Kohleveredlung für die Grundstoffindustrie der DDR erweitert und umfassten einschließlich Übungen und Seminaren:

- Verbrennungs-/Vergasungslehre
- Schwelereitechnik
- Vergasungstechnik
- Braunkohlenverkokung
- Feuerungstechnik
- Entwerfen von Schwelereien
- Wärmewirtschaft in Kohleerarbeitungsanlagen

Zur Ausbildung gehörten außerdem Exkursionen und sogenannte Meldearbeiten (Belegarbeiten). Die Zahl der Diplomarbeiten und Dissertationen auf dem Lehrgebiet des Instituts nahm deutlich zu. Die aus der Teilung Deutschlands resultierende veränderte wirtschaftliche Situation führte auch in der Forschung zu einer Verschiebung der Schwerpunkte. Der Mangel an backender Steinkohle in der DDR für die Erzeugung von Koks für die Metallurgie und die chemische Industrie erforderte vermehrt Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Verkokung einheimischer Braunkohlen. Nach vorbereitenden Arbeiten (Herstellung, Spülgastrocknung und Heizflächenentgasung von Braunkohlen-Feinstkornbriketts) gelang die Entwicklung des Braunkohlen-Hochtemperatur-(BHT)-Kokses (Patent 1952), wobei E. Rammler eng mit G. Bilkenroth, dem Leiter der Projektierung der Kohleindustrie in der DDR, zusammenarbeitete. Gemeinsam erhielten sie 1951 den Nationalpreis der DDR I. Klasse. Die labortechnischen Untersuchungen wurden ergänzt durch technische Versuche in Großanlagen z. B. in Espen-

hain, Zwickau, Dresden und Delitzsch, d.h. die Belegschaft des Institutes war vorübergehend auf „Wanderschaft“. 1952 wurde dann die erste Einheit der Großkokerei Lauchhammer, ebenfalls mit Hilfe eines Großteils der Institutsbelegschaft, in Betrieb genommen. In den Folgejahren beschäftigten sich zahlreiche Forschungsthemen mit der Optimierung der Brikettier- und Verkokungstechnologie sowie der Verbesserung und Einsatzsetzung des BHT-Kokses.

Weitere Schwerpunkte in der Forschungsarbeit lagen bei der Druckvergasung von Braunkohlenbriketts, bei der Druckvergasung von Ölen und Öl-Staub-Gemischen (*Abb. 4 und 5*), bei der Salzkohleverwertung, bei der Braunkohlenschwelung und der Schwachgaserzeugung. Eine neue Arbeitsrichtung (Herstellung von Spezialkoksen) befasste sich bereits mit stofflichen Grundlagen und Charakterisierungsmöglichkeiten von Kohlenstoffadsorbentien.

Ein Drittel der Forschungstätigkeit des Instituts für Technische Brennstoffverwertung erfolgte im Auftrag der Industrie als Vertragsforschung. So gab es z. B. enge Kontakte zu den beiden maßgeblichen Projektierungsbüros der Kohleindustrie der DDR, dem PKB „Kohle“ Berlin und dem PKM „Kohleverarbeitung“ Magdeburg. Förderlich und entsprechend den fachübergreifenden Themenstellungen teilweise unentbehrlich, war die Zusammenarbeit mit anderen Instituten der Bergakademie. Dabei sind insbesondere die gemeinsamen Aktivitäten mit dem Institut für Brikettierung hervorzuheben, die dadurch begünstigt wurden, dass ihnen zeitweise (1951 bis 1966) auch ein gemeinsamer Institutsdirektor vorstand. Darüber hinaus sind die engen Kontakte zu Prof. A. Lissner (als Leiter des Instituts für chemische Kohleveredlung und später als Leiter der Strukturforschung des Deutschen Brennstoffinstituts) und zum Institut für Gaserzeugung zu nennen. Mit der Gründung des Deutschen Brennstoffinstituts in Freiberg gingen die Forschungsaufträge der Kohleindustrie über dieses an diejenigen Institute der Bergakademie, deren Direktoren gleichzeitig Abteilungsleiter im Deutschen Brennstoffinstitut waren.

Für ausländische Partner führte das Institut für Brennstoffverwertung viele Untersuchungen, insbesondere zur Eigenschaft von Kohlen für verschiedene Veredlungstechnologien, durch und erstellte zahlreiche Berichte und Empfehlungen.

Prof. Rammler war, teilweise gemeinsam mit Prof. Bilkenroth, als Gutachter bzw. Berater für verschiedene Regierungen, z. B. von Rumänien, der ČSSR, Polen und Jugoslawien, in Fragen der Braunkohle-nutzung tätig.

Durch die wachsenden Arbeitsaufga-ben in Lehre und Forschung wurde die bauliche Erweiterung des Instituts am Standort Reiche Zeche dringend not-wendig. Die schwierige wirtschaftliche Situation in den Nachkriegsjahren er-laubte jedoch erst ab 1954 den Aufbau neuer Gebäude. Die Neuerungen waren dann allerdings sehr umfangreich und gestatteten auch, die von Seidenschnur begonnene Tradition der industrienahen Forschung durch die Errichtung halb-technischer Versuchsanlagen fortzuführen. *Abb. 6* zeigt einen Bebauungsvor-schlag für den Gebäudekomplex auf der Reichen Zeche.

Die erste Erweiterung erfolgte 1954 durch die Rückübernahme eines Werk-stattgebäudes. Danach wurde bis 1960 eine ganze Reihe von Gebäuden und Einrichtungen, wie Praktikums- und Belegschaftsgebäude (*Abb. 7*), ein neues Haupt- und Laborgebäude sowie zwei Kesselhäuser, Probenlager, Kohlehoch-bunker für Versuchskohle, Brennstoffvor-bereitung, Montagehalle und Schmiede, Luftzerlegungsanlage und die Pilotanlage Druckvergasung errichtet.

Die vielfältigen Arbeitsaufgaben wirk-ten sich auch auf die Personalentwicklung aus. Bis 1961 wuchs die Mitarbeiterzahl auf 55 (davon sieben Wissenschaftler) an und blieb in den Folgejahren ungefähr auf diesem Niveau. Als Möglichkeiten der Verbreitung der wissenschaftlichen Forschungsergebnisse wurden in dieser Zeit insbesondere die Vortragsveranstaltungen im Rahmen der Brennstofftech-nischen Gesellschaft (1954 bis 1970) sowie die Fachzeitschriften „Neue Bergbau-technik“ und „Freiberger Forschungshefte“ genutzt.

Das Institut für Technische Brenn-stoffverwertung entwickelte sich in die-ser Zeit zu einem Zentrum für Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Brenn-stofftechnik in der DDR und war interna-tional anerkannt.

### Der Wissenschaftsbereich Reaktions- und Brennstofftechnik 1968 bis 1991

Ab 1968 wurde in der DDR die III. Hochschulreform durchgesetzt, die sich entscheidend auf die Hochschulstruktur auch an der Bergakademie Freiberg aus-

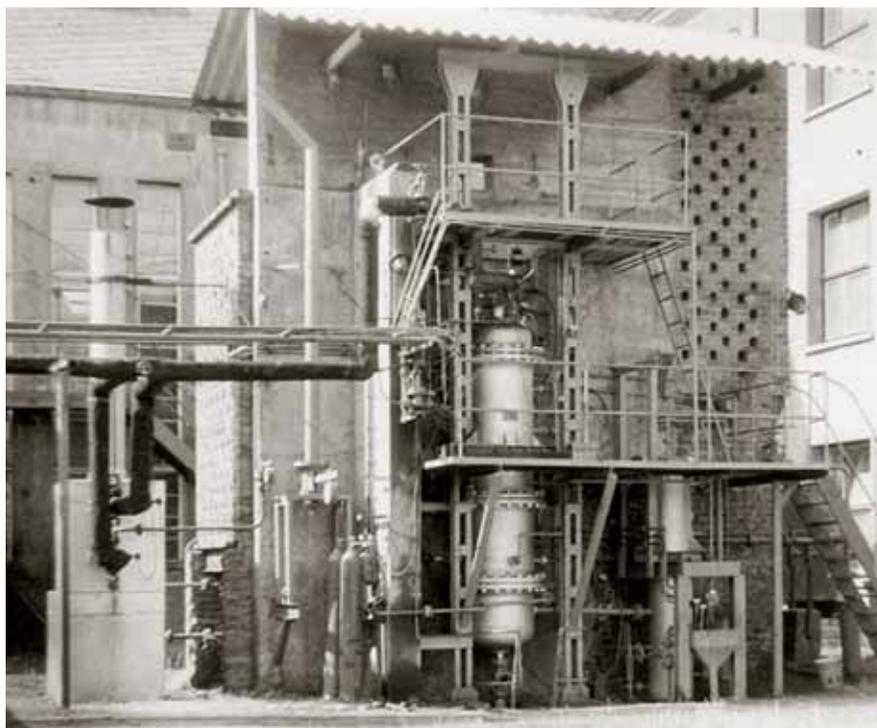


Abb. 4: Öldruckvergasungsanlage



Abb. 5a, b: Brenntests an der Öldruckvergasungsanlage

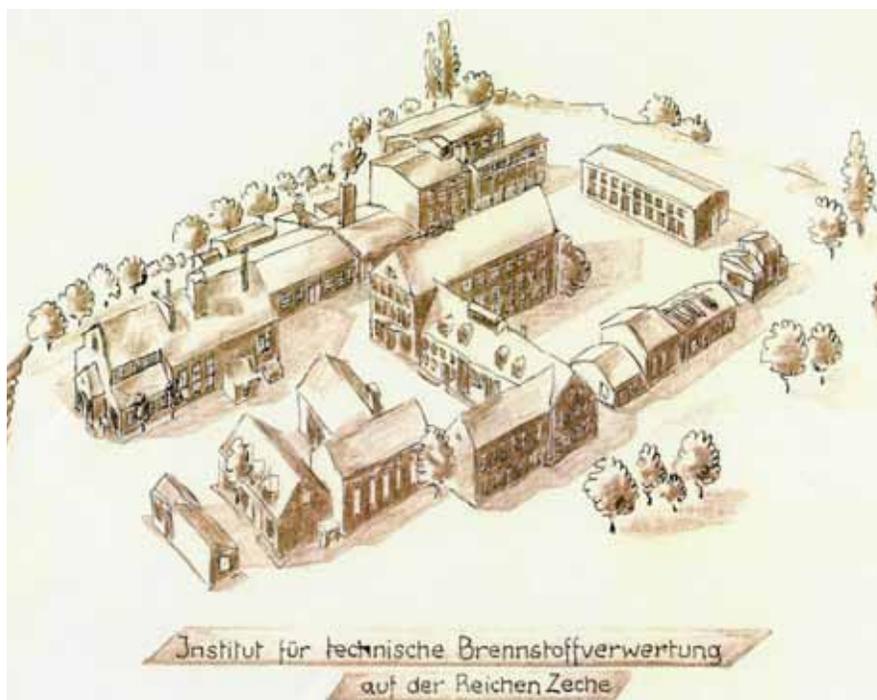


Abb. 6: Bebauungsvorschlag für das Institut für technische Brennstoffverwertung auf der Reichen Zeche. Zeichnung von H.-J. v. Alberti nach einer Darstellung des Entwurfsbüros für Industriebau Dresden



Abb. 7: Praktikums- und Belegschaftsgebäude, 1957

wirken sollte. Die Institute und Fakultäten wurden aufgelöst und in Sektionen und Fachbereiche bzw. Wissenschaftsbereiche überführt. Aus dem Institut für Brennstoffverwertung wurde der Wissenschaftsbereich Reaktionstechnik und Brennstofftechnik (RBT) der Sektion Verfahrenstechnik und Silikatechnik (VST).

Ebenfalls 1968 wurde das Deutsche Brennstoffinstitut Freiberg an der Halsbrücker Straße baulich fertiggestellt. Im Zusammenhang damit vollzog sich die personelle und räumliche Trennung der Abteilungen des Deutschen Brennstoffinstituts von den beherbergenden Instituten der Bergakademie. Auf der Reichen Zeche betraf das die Abteilung Thermische Braunkohlenveredlung.

Nach der Auflösung des Instituts für Gaserzeugung im Zusammenhang mit der Emeritierung von Prof. G. Gruson (1969) wurden durch den Wissenschaftsbereich Reaktionstechnik und Brennstofftechnik die verbliebenen Mitarbeiter und die wesentlichsten Arbeitsaufgaben (in der Forschung die Komplexe „Technische Kohle“ und „Standardisierung“, in der Lehre die Gebiete „Kokereitechnik“ und „Gasaufbereitung“) übernommen. Die frei gewordene Hochschullehrerstelle wurde dem Fachgebiet Reaktionstechnik gewidmet und mit Dr. R. Köpsel (1970 Dozent, 1986 a.o. Professor) besetzt. Damit waren auf der Reichen Zeche mit der Reaktionstechnik eine Grundrichtung der Verfahrenstechnik und mit der Brennstofftechnik die auf Energieträger angewandte Verfahrenstechnik vereinigt.

Die Leitung der Institution auf der

Reichen Zeche lag bis 1973 bei Prof. W. Rademacher und wurde nach dessen plötzlichem Ableben von Doz. Dr. E. Klose (1975 o. Professor für Brennstofftechnik) übernommen.

Die zunehmende Komplexität und wissenschaftliche Durchdringung der Ingenieurdisziplinen führte zur Integration von chemischen und physikalischen Grundlagen in die Ingenieurausbildung. Das traf auch auf die vielfältigen verfahrenstechnischen Stoff- und Energie wandlungsprozesse der Kohleveredlung zu. Zunehmend wurden die Steuer- und Regelungstechnik sowie der Umweltschutz in die Verfahrenstechnik einbezogen. Aus diesen Gründen wurde auch das gesamte Studium neu strukturiert. Die Fachrichtungen „Aufbereitung“ und „Kohleveredlung“ wurden in die Vertiefungsrichtungen „Aufbereitungstechnik“ bzw. „Brennstofftechnik“ überführt und in der neuen Fachrichtung „Grundstoffverfahrenstechnik“ zusammengefasst. Durch den Wissenschaftsbereich wurden insbesondere folgende Lehrgebiete vertreten:

- Reaktionstechnik
- Verkokungs- und Vergasungstechnik
- Verbrennungstechnik
- Gasaufbereitung
- Gas-Feststoff-Reaktionsprozesse
- Erdölverarbeitung
- Anlagenprojektierung

Die Forschungsaktivitäten des Wissenschaftsbereichs wurden auch in dieser Entwicklungsperiode durch wirtschaftspolitische Tendenzen geprägt. Ende der

1960er Jahre war die Kohle als Energieträger und Rohstoff verpönt. Die Zeit der „modernen“ Energieträger Erdöl und Erdgas war angebrochen. Diese Entwicklung hatte zur Folge, dass die Kohleforschung keinerlei Unterstützung erhielt. Selbst in Veröffentlichungen wurde das Wort „Kohle“ kaum geduldet. Auf der Suche nach neuen Betätigungsfeldern beschäftigte man sich auf der Reichen Zeche vorübergehend u. a. mit Problemen der Zementklinkerherstellung oder der Nutzung von technischem Kohlenstoff. Durch die Erdölkrise in den 1970er Jahren hatte man jedoch staatlicherseits schnell wieder erkannt, dass auf die Kohle als einheimischer und damit sicherer Energieträger nicht verzichtet werden konnte. Der Primärenergiebedarf wurde Ende der 1980er Jahre zu zwei Dritteln mit Braunkohle gedeckt, die Elektroenergieerzeugung beruhte zu fast 90% auf Braunkohle. Aus diesen Entwicklungen ergaben sich folgende Forschungsschwerpunkte für den Wissenschaftsbereich:

- Modellierung von Kohleveredlungsprozessen unter Berücksichtigung der Verfahrensabläufe und der Verfahrensgestaltung (Modellierung der Koksbildung bei der Herstellung von BHT-Koks; Modellierung der Festbett-Druckvergasung)
- Reaktionskinetik von Gas-Feststoff-Prozessen (Vergasung und Verflüssigung von Kohle, Gasreformierung und -konvertierung u. a.)
- Erweiterung der Rohstoffpalette und Entwicklung neuer Produkte (Entwicklung neuer Prinzipien für die Herstellung von Zementklinker; Qualitätsverbesserung von technischen Kohlen und Graphitelektroden; Optimierung der Herstellung und Regenerierung von Kohlenstoffadsorbentien)
- neue thermo-chemische Recyclingverfahren (Pyrolyse und Vergasung von Hausmüll)

Industriepartner waren u. a. das Gaskombinat Schwarze Pumpe, die Kokerei in Lauchhammer, die Steinkohlenkokereien in Zwickau und Magdeburg, die Schwelereien und die Teerverarbeitung in Mitteldeutschland, die Brikettfabriken im ost- und westbischen Revier, das Petrolchemische Kombinat Schwedt, Elektrokohle Berlin-Lichtenberg und das Chemiefaserwerk Premnitz. Mit diesen Betrieben wurden zahlreiche Praktika, Studien- und Diplomarbeiten realisiert; sie waren auch die „Hauptabnehmer“ der Absolventen der Vertiefungsrichtung

Brennstofftechnik. Aus der Forschung erwachsen sich vielfältige Kooperationsbeziehungen zu Institutionen im In- und Ausland, u. a. zur Akademie der Wissenschaften der DDR, zum Brennstoffinstitut Freiberg, zu Hochschulen in Moskau, Krakau, Prag und Ostrava.

Die Publikation wissenschaftlicher Ergebnisse aus der Forschung erfolgte (so weit zugelassen) in zahlreichen in- und ausländischen Fachzeitschriften und vor allem in den Freiburger Forschungsheften. Diese Hefte ermöglichten umfangreichere und damit auch sehr detaillierte Darstellungen und fanden in der fachspezifischen Wirtschafts- und Forschungslandschaft im gesamten deutschsprachigen Raum große Beachtung.

### Das Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen seit 1991 bis ca. 2000

Mit der politischen Wende in der DDR 1989 und der Wiedervereinigung Deutschlands konnte eine Neuorientierung in Lehre und Forschung auch an der Bergakademie Freiberg erfolgen. Im Rahmen der Hochschulerneuerung wurden die Sektionen in Fachbereiche umgewandelt und in Fakultäten zusammengefasst (Fachbereiche Verfahrenstechnik und Silikattechnik in der Fakultät für Technische Wissenschaften). 1991 folgte die Überführung der Wissenschaftsbereiche in Institute. Die Leitung des Wissenschaftsbereiches Reaktions- und Brennstofftechnik entschied sich für den Namen Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC). 1993 wurde der Bergakademie Freiberg der Status einer Technischen Universität zugesprochen. Ein Jahr später erfolgte die Abschaffung der Fachbereiche, und die Institute wurden in neuen, kleineren Fakultäten zusammengefasst. Das IEC war nunmehr der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg zugeordnet. Damit war die Umstrukturierung weitestgehend abgeschlossen.

Die neuen Anforderungen der Wirtschaft und der Wissenschaft erforderten eine Aktualisierung und Profilierung der Studieninhalte. So wurden die verfahrenstechnischen Richtungen im Studiengang Verfahrenstechnik zusammengefasst und ab dem 5. Semester in folgende Studienrichtungen untergliedert:

- Aufbereitungstechnik,
- Chemische Verfahrenstechnik,

- Energieverfahrenstechnik,
- Partikeltechnologie,
- Umweltverfahrenstechnik,
- Verfahrenstechnik: Keramik, Glas, Baustoffe

Das IEC war und ist für die Ausbildung in den Studienrichtungen Energieverfahrenstechnik und Chemische Verfahrenstechnik federführend zuständig und an der Studienrichtung Umweltverfahrenstechnik wesentlich beteiligt. Darüber hinaus ist das IEC im Rahmen des Studienganges Umwelt-Engineering des 1996 fakultätsübergreifend eingerichteten Interdisziplinären Ökologischen Zentrums für die Vertiefungsrichtung Energiesysteme und Wärmeschutz verantwortlich, ebenso wie für die Vertiefungsrichtung Process Computing im später eingerichteten Studiengang Engineering & Computing, der die Verbindung zwischen den klassischen Ingenieurdisziplinen und der Informatik forcieren soll. Das IEC umfasste nunmehr zwei Professuren:

- Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung und
- Reaktionstechnik.

Die erstgenannte Professur hatte bis 1994 Prof. Dr.-Ing. E. Klose inne und wird seit dem 1. April 1994 durch Prof. Dr.-Ing. B. Meyer wahrgenommen. Mit seiner Berufung übernahm er 1994 auch die Leitung des Instituts. Er ist Fachrichtungsverantwortlicher für die Studienrichtung Energieverfahrenstechnik. Der Professur sind die Lehrgebiete Thermische Rückstandsbehandlung (aufgebaut und bis zu seiner Pensionierung im Jahre 2003 vertreten durch Dr.-Ing. habil. M. Born, von 1991 bis 2003 als a. o. Professor) und Adsorptionstechnik (aufgebaut und vertreten durch Dr.-Ing. habil. W. Heschel, seit 1995 Privatdozent und seit 1997 a. o. Professor) zugeordnet. Diese Lehrgebiete waren auch wichtige Stützen in der Forschungstätigkeit des Instituts.

Die zweite Professur wurde mit Prof. Dr.-Ing. habil. R. Köpsel, ab 1993 als o. Professor für Reaktionstechnik, besetzt. Unter seiner Leitung wurde die Studienrichtung Chemische Verfahrenstechnik aufgebaut, für die er dann bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2000 Fachrichtungsverantwortlicher war. Auf diese Professur wurde dann Prof. Dr. rer. nat. habil. Th. Dimmig berufen. Mit ihm als technischem Chemiker wurden die Arbeitsgebiete verstärkt in Richtung flüssige Energieträger und katalytische Prozesse der organischen Chemie verlagert.

Der Umbruch in der Nachwendezeit führte dazu, dass die Personalstärke am IEC von 41 (davon zwei Hochschullehrer und zehn Wissenschaftler) Ende 1990 auf 29 (1993) absank. Danach stieg die Mitarbeiterzahl kontinuierlich an und erreichte zum Jahresende 1998 51 (davon vier Hochschullehrer und 27 Wissenschaftler). Dabei muss berücksichtigt werden, dass seit 1990 ein ständiger Personalabbau durch den Freistaat Sachsen zu verzeichnen war und abgefangen werden musste. Ende der 1990er Jahre wurden fast 60% der Personalmittel des IEC über Forschungsaufträge eingeworben.

Kaum ein anderes Fachgebiet war von der veränderten Situation in Deutschland nach 1990 so stark betroffen wie das vom IEC vertretene. Die thermische Braunkohlenveredlung war quasi über Nacht nicht mehr aktuell. Die traditionellen Industriepartner, wie die Schwelereien und die Teerverarbeitung in Mitteldeutschland, die Braunkohlenkokereien und die Stadtgaserzeugung in der Lausitz, wurden stillgelegt. Trotzdem ist es gelungen, den Standort Reiche Zeche für die Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Energiewandlung und -bereitstellung zu halten und erfolgreich auszubauen. Das einmalige Erfahrungspotenzial auf dem Gebiet der thermischen Veredlung von Braunkohle konnte für andere Anwendungsfälle, wie z. B. die thermische Rückstandsbehandlung, die energetische Nutzung von Biomasse und die Herstellung von Kohlenstoffadsorbentien, übernommen werden. Vorteilhaft war dabei, dass derartige Arbeitsgebiete bereits vor 1990 Gegenstand von Forschungsaktivitäten am IEC waren. Darüber hinaus wurden neue Arbeitsfelder erschlossen, wie z. B. die Nutzung regenerativer Energien, die Einführung von Prozesssimulationsprogrammen in energetische Verfahrenssysteme, die thermo-chemische Betrachtung von Verbrennungs- bzw. Kraftwerksprozessen oder die Spurstoffanalytik.

Es ist der damaligen Institutsleitung unter Prof. E. Klose, Prof. R. Köpsel, Prof. M. Born sowie Prof. W. Heschel und später unter Prof. B. Meyer zu verdanken, dass das Institut die Veränderungen in der Hochschullandschaft und der Wirtschaft als eigenständiger Bestandteil der Universität überstanden hat und einen sehr erfolgreichen Weg beschreiten konnte.

Das Lehrprofil des Instituts wurde aktualisiert und durch neue Lehrveran-

staltungen erweitert. Schwerpunkte der Ausbildung waren und sind:

- Energiewirtschaft
- Kraftwerkstechnik
- Reaktionstechnik und Reaktormodellierung
- Grundlagen und Technologien der thermochemischen Verwertung von fossilen und nachwachsenden Energieträgern durch Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse und Hydrierung
- Technologien der Erdölverarbeitung und der industriellen organischen Chemie
- Katalyse und Adsorptionstechnik
- Reinigung und Aufbereitung von technischen Gasen
- Abfallwirtschaft
- regenerative Energien

Die Forschungsarbeiten, in die die Studenten des Studienganges Verfahrenstechnik in vielfältiger Form eingebunden sind, umfassten und umfassen in etwa folgende Schwerpunkte:

- Kinetik und Modellierung von Prozessen und Reaktionen (Dimensionierung und Modellierung von Reaktoren für heterogen-katalytische und heterogene Reaktionen, Kinetik von Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse und Hydrierung);
- Thermisch-chemische Prozesse zur emissionsarmen Stoff- und Energieträgerwandlung (Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse und Hydrierung von Brennstoffen sowie festen und flüssigen Rückständen und von Kunststoffen; Bewertung des Schadstoffgehalts in Rückständen; Schadstoffvermeidung bzw. -minderung bei Pyrolyse und Verbrennung; Hochtemperatur-Korrosion und Verschmutzungserscheinungen im Kraftwerksbereich; Heißgasreinigung);
- Prozesse der thermischen Abfallbehandlung;
- Adsorbentien für den Umweltschutz (Untersuchung der Eignung verschiedener Rohstoffe wie Braunkohle und Bioprodukte; Produktcharakterisierung; Entwicklung und Optimierung der Herstellungs- und Regenerierungstechnologien einschließlich Produktentwicklung; mathematische Modellierung von Selbstentzündungsprozessen);
- Simulation und Optimierung komplexer Prozesse (Optimierung und Modellierung von Kraftwerksprozessen, Reststoffverwertungsanlagen und Prozessen der chemischen Industrie);
- Bio-Technologien (Bio-Konversion von Braunkohle).

Wichtige Industriepartner waren und

sind die Kohle- und Stromwirtschaft (LAUBAG und VEAG, heute Vattenfall, RWE, MIBRAG, ROMONTA u. a.), der Anlagenbau (Siemens, Uhde, Lurgi, Linde, Alstom, CAV, EDL u. a.), die Mineralölindustrie (BP, Total, Sasol), Klein- und Mittelständische Unternehmen der Region (UET bzw. CHOREN, UTF, Heliotec, IfE bzw. DBFZ u. a.) sowie der Aktivkohlehersteller Helsa GmbH.

Das IEC hat weltweit Kontakte zu anderen Universitäten hergestellt. Neben den traditionellen Partnern in Osteuropa sind hier insbesondere die Universitäten in Cincinnati und Carbondale in den USA, Beer Sheva bzw. Ariel in Israel, Zaragoza in Spanien, Trondheim in Norwegen und Calgary in Kanada zu nennen, mit denen ein intensiver Studenten- und Wissenschaftleraustausch stattfindet.

Das Erscheinungsbild des IEC auf der Reichen Zeche hat sich in den 1990er Jahren deutlich verändert. Veraltete und nicht mehr gebrauchte Gebäude und Einrichtungen wurden abgerissen, wie z. B. der Kohlehochbunker, die Luftzerlegungsanlage und die Druckvergasung. Die anderen Gebäude wurden weitgehend rekonstruiert und hinsichtlich ihrer Funktionen den neuen Aufgaben in Lehre und Forschung angepasst. Das IEC wurde zu einem Institut mit modernsten Analysengeräten hinsichtlich Brennstoff- und Gasanalyse, Thermoanalyse, Strukturanalytik (Adsorbentien), chemische Stoffcharakterisierung etc. sowie mit anspruchsvollen kleintechnischen Versuchsanlagen. Besonders hervorzuheben ist der auf der Reichen Zeche in dieser Zeit eingerichtete Energiepark, in dem verschiedene Möglichkeiten der regenerativen und rationellen Energiebereitstellung demonstriert werden, wie z. B. Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpe, Brennstoffzelle, Brennwerttechnik oder ein mit Rapsöl betriebenes Blockheizkraftwerk.

Auch unter den veränderten Rahmenbedingungen war es gelungen, das IEC zu einem der leistungsstärksten Institute der TU Bergakademie Freiberg zu entwickeln und sich in der gesamtdeutschen Hochschul- und Forschungslandschaft zu etablieren. Das geht auch aus den Empfehlungen des Wissenschaftsrates (1999) und der Sächsischen Hochschulentwicklungskommission (2001) hervor. In deren Empfehlungen an die Sächsische Staatsregierung heißt es bezüglich der institutsrelevanten Profilentwicklung an der TU Bergakademie Freiberg: *Zur*

*nachhaltigen Energieversorgung verfolgt Freiberg das Ziel der emissionsarmen thermischen Wandlung fossiler Energieträger und Biomassen in Verbindung mit regenerativen Energien. Auf diesem Gebiet hat die Universität ein spezifisches Profil entwickelt, das ... verstärkt werden sollte ...*

## Die Institutsentwicklung in den letzten 10 Jahren

Diese weitere Profilierung im Bereich fossiler und nachwachsender Energieträger wurde am Institut intensiv vorangebracht. So ist die Entwicklung des IEC in den 2000er Jahren geprägt durch die weitere Strukturierung der Arbeitsfelder, die Akquirierung und erfolgreiche Durchführung von Großforschungsprojekten und die damit verbundene personelle, anlagentechnische und bauliche Weiterentwicklung am Standort Reiche Zeche.

Im Bereich Verfahrenstechnik mussten jedoch zunächst herbe personelle Verluste kompensiert werden. So wurden die Professuren Agglomerationstechnik (Prof. W. Naundorf), Thermische Verfahrenstechnik (Prof. W. Kohler) und Aufbereitungstechnik (Prof. G. Schubert) nicht neu besetzt, obwohl die Freiburger Verfahrenstechnik bei deutschlandweiten Rankings Bestnoten erhielt, über Jahre hinweg relativ konstante Studentenzahlen aufwies (Abb. 8) und erhebliche Forschungsmittel einwarb. Zusätzlich stand dem IEC mit der Pensionierung von Prof. M. Born (2003) ein exzellenter Experte auf dem Gebiet der thermischen Abfallbehandlung nicht mehr zur Verfügung.

Eine schwierige Situation ergab sich auch an der Professur für Reaktionstechnik. Prof. Th. Dimmig verstarb 2008 nur wenige Monate nach seinem krankheitsbedingten Ausscheiden. Das Institut verlor mit ihm einen anerkannten Wissenschaftler und einen herausragenden Hochschullehrer. Mit der kommissarischen Leitung der Professur Reaktionstechnik wurde Dr.-Ing. Th. Kuchling beauftragt. Das Verfahren zur Wiederbesetzung der Professur ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Seit 2008 amtiert Prof. B. Meyer als Rektor der TU Bergakademie. Im Mai 2010 wurde er durch den Senat der Universität für eine weitere Wahlperiode in das höchste Amt der Universität gewählt. Es ist als Glücksfall für das Institut zu betrachten, dass Prof. Heschel – trotz Erreichens des Pensionsalters – die Vertretung des Institutsdirektors übernommen hat

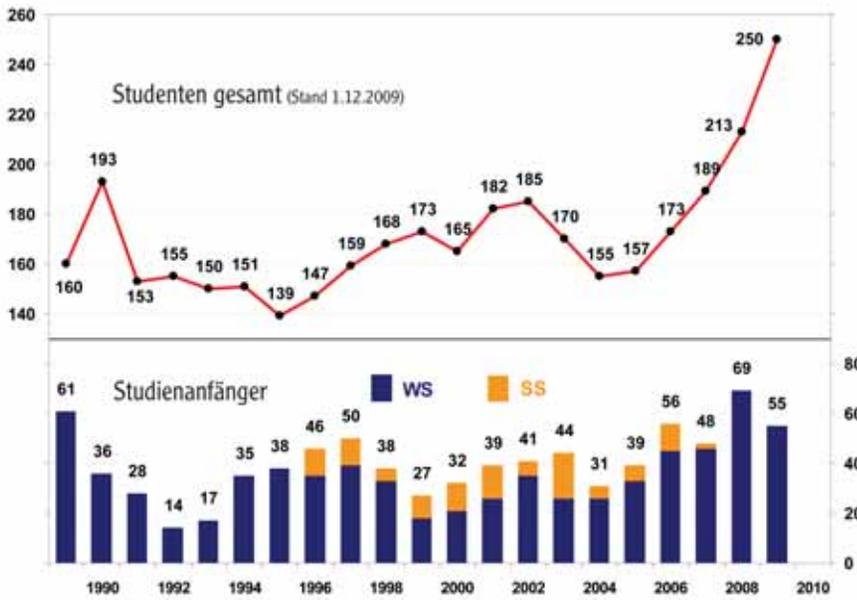


Abb. 8: Entwicklung der Studentenzahlen im Studiengang Verfahrenstechnik

und sich weiterhin mit hohem Engagement in die studentische Ausbildung und die Begleitung von Forschungsprojekten einbringt. Für eine bessere Arbeits- und Aufgabenverteilung strukturierte sich die Professur Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung in die fünf Arbeitsgruppen:

- Thermo-chemische Energieträgerwandlung (Leitung: Dr. St. Krzack),
- Hochdruck-Vergasung/Partialoxidation (Leitung: Dr. P. Seifert),
- Vergasermodellierung (Leitung: Dipl.-Ing. M. Gräbner),
- Flowsheet-Simulation (Leitung: Dipl.-Ing. R. Pardemann),

- Mineralstoffreaktionen (Leitung: Dr. M. Schreiner).
- In der letzten Dekade entwickelte sich das IEC zu einem deutschlandweit und auch international führenden Forschungsinstitut auf dem Gebiet der thermochemischen Wandlung fossiler und nachwachsender Energieträger. Meilensteine auf diesem Weg waren:
- Errichtung und Inbetriebnahme einer Großversuchsanlage zur Synthesegaserzeugung aus Kohlenwasserstoffen und Slurries durch Hochdruck-Partialoxidation (HP-POX) am Standort „Reiche Zeche“ 2003 (Abb. 9) im Rahmen des seinerzeit größten universitären For-



Abb. 9: HP POX<sup>®</sup>-Anlage auf der „Reichen Zeche“

schungsvorhabens im Bereich Energie in Deutschland (Gemeinschaftsprojekt mit Lurgi GmbH, gefördert durch Bund und Land Sachsen, ab 2002),

- Bearbeitung von weiteren Großforschungsprojekten wie beispielsweise:
  - CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch integrierte Vergasung und Abscheidung – COORIVA (bis 2008): Untersuchungen zur Baubarkeit eines IGCC-Referenzkraftwerks ab 2015 für Braun- und Steinkohle mit CO<sub>2</sub>-Rückhaltung,
  - Großtechnisch übertragbare Untersuchungen zur Weiterentwicklung der IGCC-Kohlekraftwerkstechnik mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung – COORAMENT (2005 bis 2010),
  - HotVeGas – Hochtemperaturvergasungs- und -gasreinigungsprozesse für IGCC-Kraftwerke (Start 2007): CFD-Modellierung zur Simulation reaktiver Strömungen, thermochemische Beschreibung der Asche- und Spurstoffreaktionen (Gemeinschaftsprojekt mit der TU München u. a.)
  - CO<sub>2</sub>-Reduktion durch innovatives Vergaserdesign – COORVED (Start 2009): Weiterentwicklung und Verifizierung von Modellierungswerkzeugen für Vergasungsprozesse als Basis für die Entwicklung neuer Vergasungsreaktoren insbesondere für „schwierige“ Einsatzstoffe (Förderung BMWi und Pörner Gruppe).
  - Syngas to Fuel (STF): Errichtung einer Großversuchsanlage (Inbetriebnahme 6/2010) und Entwicklung einer neuen Technologie zur Herstellung von hochoktanigem Benzin aus Synthesegas (Gemeinschaftsprojekt mit der Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH, Förderung durch Sächsische Aufbaubank, 2008 bis 2012),
  - Gründung des fakultätsübergreifenden Exzellenzzentrums Energie (EzE) an der TU Bergakademie Freiberg auf Initiative des IEC (2005) mit dem Ziel, die vielfältigen energiespezifischen Aktivitäten an der Universität zur Entwicklung einer nachhaltigen CO<sub>2</sub>-emissionsfreien Energiewirtschaft zu bündeln,
  - Gründung des Deutschen Zentrums für Vergasungstechnologien – DeZeV (2005) als Interessenverbund der auf diesem Gebiet tätigen sächsischen Firmen und Institutionen mit der TU Bergakademie Freiberg (IEC) als wissenschaftlichem Koordinator,
  - Etablierung der „International Freiberg Conference on IGCC & xTL Techno-

logies“ als fester Bestandteil im internationalen Tagungskalender (im Frühjahr 2010 fand bereits die 4. Auflage dieser Veranstaltung mit 256 Teilnehmern, davon 99 aus dem Ausland, statt),

- regelmäßige Durchführung von mehrtägigen englischsprachigen Schulungen auf dem Gebiet der Vergasungstechnik für Interessenten aus der in- und ausländischen Industrie seit 2005.

Ein weiterer bedeutsamer Meilenstein für die Entwicklung des Standorts war die Gründung des fakultätsübergreifenden Forschungszentrums „Virtuhcon – Virtual High Temperature Conversion“ im Jahr 2009. Die Förderung des Zentrums durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung als „Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK)“ würdigt die zukunftsweisenden Forschungskonzeptionen, die maßgeblich durch das IEC erarbeitet wurden. Mit der Leitung des ZIK Virtuhcon wurde Prof. Chr. Hasse betraut, der 2010 auf die eigens eingerichtete Professur „Numerische Fluidthermodynamik“ berufen wurde.

Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wurde 2010 begonnen, am IEC das Deutsche Energierohstoffzentrum Freiberg DER zu etablieren. In drei technischen und zwei nichttechnischen Forschungslinien werden Kompetenzen für die Entwicklung neuer Konzepte zur stofflichen Nutzung von Energierohstoffen im Nacherdölzeitalter geschaffen. Unter dem Dach des DER kooperieren – neben verschiedenen Instituten der TU Bergakademie Freiberg – namhafte deutsche Forschungsinstitutionen (Forschungszentrum Jülich, RWTH Aachen, TU Dresden, Fraunhofer Institut IKTS Dresden, Deutsches Biomasseforschungszentrum Leipzig). Die Koordinierung obliegt Dr. H. Gutte.

Gegenwärtig sind am IEC bzw. in den dem IEC angegliederten Zentren DER und Virtuhcon ca. 95 Mitarbeiter beschäftigt, d. h. bei nur 14 landesfinanzierten Stellen wurden etwa 80 – zumeist hochwertige – Arbeitsplätze im Bereich der Forschung geschaffen.

Mit dem Neubau eines Büro- und Laborgebäudes auf der Reichen Zeche (Grundsteinlegung am 26.5.2010) wird der benötigte Raum für die Mitarbeiter und die umfangreichen Forschungseinrichtungen bereitgestellt (Abb. 10).

Im Bereich der Lehre bestand die Herausforderung der letzten Jahre darin, die genannten personellen Verluste ohne Qualitätseinbußen zu kompensieren und



Abb. 10: Die „Reiche Zeche“ im Juli 2010 mit der Baustelle für das Virtuhcon-Gebäude, der STF-Benzinanlage (vorn Mitte) und der HP POX®-Anlage (vorn rechts)

die Vorlesungsinhalte an die rasant vorschreitende Entwicklung anzupassen. Gleichzeitig waren die bisherigen Diplomstudiengänge auf das neue Bachelor-/Master-System umzustellen. Zukünftig werden im Master-Studiengang Verfahrenstechnik die Vertiefungsrichtungen

- Chemische Verfahrenstechnik,
- Energieverfahrenstechnik,
- Mechanische Verfahrenstechnik und
- Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstofftechnik

angeboten. Für die erstgenannten Richtungen tragen die Professuren des Instituts auch weiterhin die fachliche Verantwortung.

### Ausblick

Für die zukünftige Entwicklung des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen bzw. des Standorts Reiche Zeche werden bereits die Weichen gestellt. Beabsichtigt ist die Einrichtung eines Teilinstituts der Fraunhofer Gesellschaft. Erste Reaktionen der Entscheidungsträger geben Grund zu verhaltenem Optimismus.

Entsprechend der langen Tradition am Standort werden auch in der Zukunft die Anstrengungen der Mitarbeiter des Instituts darauf gerichtet sein, eine theoretisch fundierte und gleichzeitig praxisnahe studentische Ausbildung in Einheit mit einer anwendungsorientierten Forschung auf hohem wissenschaftlichen Niveau zu gewährleisten.

### Quellen

- Rammler, E.: Das Institut für Technische Brennstoffverwertung der Bergakademie Freiberg (Sachsen). Sonderdruck aus ACHEMA-Jahrbuch 1959/1961
- Rammler, E. und H.-J. v. Alberti: Institut für Technische Brennstoffverwertung an der Fakultät für Bergbau der Bergakademie Freiberg. Sonderdruck aus: Bergakademie Freiberg – Festschrift zu ihrer Zweihundertjahrfeier am 13. November 1965, Band II. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, S. 175–187
- Wagenbreth, O.: Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig/Stuttgart 1994
- Klose, E.: Die Entwicklung der Verfahrenstechnik an der Bergakademie Freiberg. Sonderdruck aus: Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung, von Fratzscher, W. und Meinicke, K.-P. (Herausgeber), Akademie-Verlag, Berlin, 1997, S. 192–199
- Geschäftsberichte des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins in den Jahren 1917 bis 1927
- Lauterbach, W. und E. Mehnert: Zur Geschichte der Wärmewirtschaftlichen Abteilung am Braunkohleforschungsinstitut der Bergakademie Freiberg unter dem Direktorat von Friedrich Seidenschur 1921 bis 1935. Schriften des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. TU Bergakademie Freiberg. Heft 1, 2006
- Mehnert, E. und W. Lauterbach: Zur Geschichte der Technischen Versuchsanlage des Braunkohleforschungsinstituts der Bergakademie Freiberg unter Leitung von Alfred Jäppelt in den Jahren 1935 bis 1947. Schriften des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. TU Bergakademie Freiberg. Heft 4, 2009

# Thermochemische Vergasung – ein Schlüsselprozess der zukünftigen Energie- und Rohstoffversorgung

Bernd Meyer, Steffen Krzack, Robert Pardemann, Wolfgang Heschel

## Die Bedeutung der Vergasung für die Energie- und Stoffwirtschaft

Vergasung ist die Umwandlung der organischen Substanz eines festen Brennstoffs mit Hilfe von gasförmigen Reaktionspartnern in ein brennbares Gas. Der erzeugte gasförmige Energieträger wird als Brenngas thermisch genutzt (Wärme- und/oder Stromerzeugung) oder dient als Synthesegas zur Herstellung chemischer Basisprodukte wie Methanol, Ammoniak, Fischer-Tropsch-Produkten, Oxo-Alkoholen oder für die Bereitstellung von Wasserstoff zu Hydrierzwecken (Petrolchemie) und für Brennstoffzellen. Vergasungsverfahren werden seit über 150 Jahren technisch genutzt, jedoch mit sehr unterschiedlicher Zielsetzung.

Industrielle Bedeutung nach dem 2. Weltkrieg erlangte – bis zur flächendeckenden Einführung des Erdgases – die Herstellung von Stadtgas durch Vergasung von Braunkohle (Verfahren der Lurgi-Druckvergasung im ehem. Gaskombinat Schwarze Pumpe). Nachdem in den 1960er und 1990er Jahren intensiv auf diesem Gebiet geforscht wurde, gewinnt die Vergasungstechnik in jüngster Zeit als Schlüsselprozess für die stoffliche Nutzung der Kohle erneut an Interesse. Grund hierfür ist die perspektivische Substitution erdöl- bzw. erdgasbasierter organischer Grundchemikalien oder die Herstellung von SNG (synthetic natural gas = synthetisches Erdgas). Nachfolgend soll ein Überblick über die Grundlagen der Vergasung von Kohlenstoffträgern, den Stand der Technik und die Entwicklungstrends für Vergasungsverfahren sowie über die Aktivitäten der TU Bergakademie Freiberg auf dem Gebiet gegeben werden.

## Grundlagen der thermochemischen Vergasung von Kohlenstoffträgern

Die Vergasung ist ein komplexer physiko-chemischer Prozess. Vergasungsmittel ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ) werden bei Temperaturen von  $800\text{ }^\circ\text{C}$  bis  $1600\text{ }^\circ\text{C}$  in Kontakt mit dem Brennstoff gebracht, wodurch es nach erfolgter Trocknung und Pyrolyse des Brennstoffs zu heterogenen Oxidations- und Reduktionsreaktionen mit dem Koks-kohlenstoff unter

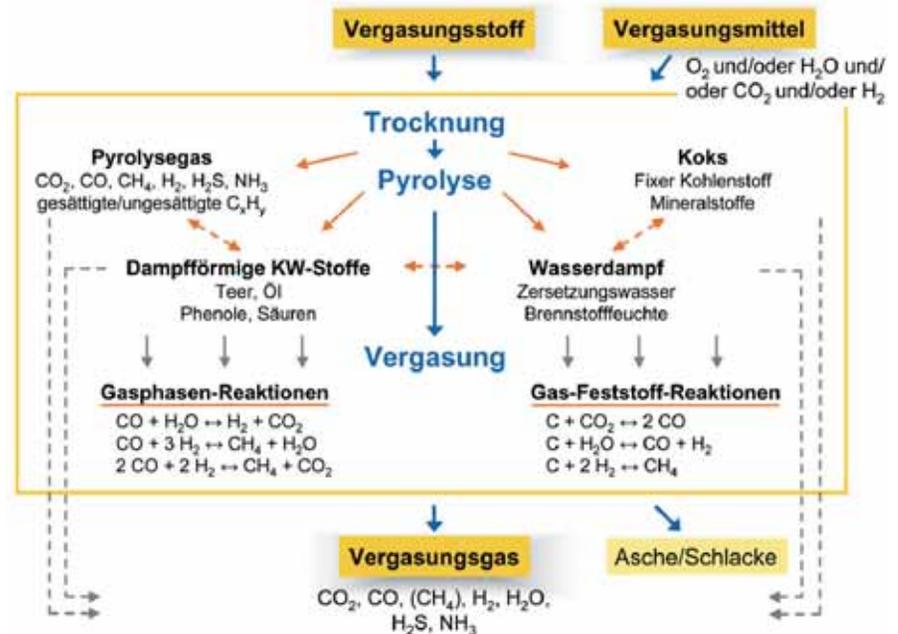


Abb. 1: Chemische Reaktionen im Vergasungsprozess [1]

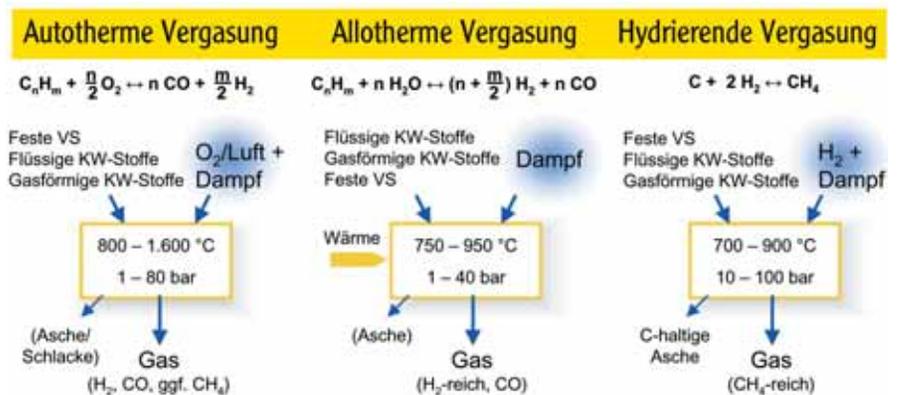


Abb. 2: Einteilung von Vergasungsverfahren nach Vergasungsmittel und Prozesswärmebereitstellung [1]

Bildung von  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  und  $CO_2$  kommt. Wie aus **Abb. 1** hervorgeht, werden die Gas-Feststoff-Reaktionen von Reaktionen in der Gasphase begleitet.

In **Abb. 1** sind die wichtigsten Brutto-reaktionen aufgeführt. Die vergasungstechnisch wichtigen heterogenen Reaktionen mit  $CO_2$  (Boudouard-R.) bzw. mit Wasserdampf (Heterogene Wassergas-R.) erfordern die Zufuhr von Wärme. Dagegen verläuft die Reaktion des Kohlenstoffes mit Wasserstoff zu Methan (Heterogene Methanbildungs-R.) unter Wärmefreisetzung. Vergasungsgase aus Kohle enthalten außer den Zielkomponenten  $H_2$  und  $CO$  – je nach Vergasungs-

verfahren – diverse Verunreinigungen (Staub,  $H_2S$ ,  $COS$ ,  $NH_3$ ,  $HCN$ ,  $C_nH_m$ , Alkalimetallverbindungen u.a.m.) sowie Feuchtigkeit und  $CO_2$ , die in einer nachgeschalteten Gasreinigung aus dem Gas entfernt werden müssen.

Je höher die Vergasungstemperatur, desto mehr  $CO$  und  $H_2$  sind im Vergasungsgas enthalten, was insbesondere für die Herstellung von Synthesegas bedeutsam ist. Bei den Gasphasereaktionen nimmt die homogene Wassergasreaktion zwischen  $CO$  und  $H_2O$  zu  $H_2$  und  $CO_2$  eine Sonderstellung ein. Diese auch als Shift-Reaktion bezeichnete Redox-Reaktion (Reduktionsmittel  $CO$ , Oxidationsmittel

Tab. 1: Vergleich typischer Vergasungsprinzipien für Kohle [1]

Verfahrensprinzip	Gegenstrom-Festbett	Stationäre Wirbelschicht	Flugstrom
Vergasungsstoffkörnung	grobkörnig (> 5 mm bis cm-Bereich)	feinkörnig (mm-Bereich)	staubförmig (< mm-Bereich)
Vergasungsstoffeintrag	quasikontinuierlich über Schleusensystem	Schrägrohr, Schnecke	pneumatisch, Dichtstrom als Suspension
Sauerstoffbedarf	gering/mittel	mittel	hoch
Rohgasaustrittstemperatur in °C	350–800	800–1.000	1.300–1.500 (einstufig)
Kohlenstoffvergasungsgrad in %	80–90 (Rest überwiegend in der Asche)	85–95 (Rest überwiegend in der Asche)	< 95 ... > 99 (Rest in der Asche)
Kohlenwasserstoffzersetzung	kaum	überwiegend	vollständig
<b>Typische Gaszusammensetzung (Hauptkomponenten, trocken); Vergasungsstoff: Braunkohle; Vergasungsmittel: Dampf/Sauerstoff; Druck: 25 bar</b>			
Verfahrensbeispiel	Lurgi-Festbett-Druckvergasung	Hochtemperatur-Winkler-Vergasung	Siemens-Fuel-Gasification
– CO in Volumenprozent	10	38	59
– H <sub>2</sub> in Volumenprozent	38	35	34
– CH <sub>4</sub> in Volumenprozent	13	5	< 0,1
– CO <sub>2</sub> in Volumenprozent	39	22	7

H<sub>2</sub>O) spielt nicht nur im Vergasungsprozess selbst, sondern auch bei einer ggf. nachgeschalteten CO-Konvertierung als Teil der Gasaufbereitung eine wichtige Rolle (siehe Abschnitt „Synthesegasnutzung“).

### Entwicklungsstand der Vergasungstechnik

Abhängig von der Zusammensetzung des Vergasungsmittels und folglich von der Deckung des Wärmebedarfs unterscheidet man zwischen autothermer (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), allothermer (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) und hydrierender (H<sub>2</sub>) Vergasung (Abb. 2). Die größte praktische Bedeutung und den höchsten technischen Entwicklungsstand für die Großanlagentechnik besitzen die autothermen Vergasungsverfahren, bei denen die erforderliche Reaktionswärme durch Partialoxidation des Brennstoffes im Prozess erzeugt wird. Autotherme Verfahren sind als Festbett- (FB), Wirbelschicht- (WS) oder Flugstromvergasungsverfahren (FS) technisch verbreitet. Typische Unterscheidungsmerkmale sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Für die Integration der Vergasung in stoffgeführte Veredlungsketten für Braunkohle [4] sind aufgrund der bevorzugten Kohlekörnung in den Konversionsstufen Extraktion und/oder Pyrolyse Wirbelschichtverfahren besser angepasst als Flugstromverfahren, die einen staubfein aufgemahlene Vergasungsstoff erfordern. Andererseits ist die Vergasungstemperatur in einer Wirbelschicht (und folglich die Leistung) begrenzt. Der Ascheerweichungspunkt, der für deutsche Braunkohlen bei ca. 1000 °C liegt, darf in der Wirbelschicht nicht überschritten werden. Restteer und Methan werden bei dieser Temperatur nicht vollständig gespalten. Im Hochtem-

peratur-Winkler-Verfahren (HTW) konnte, ohne dass es zu aschebedingten Störungen kam, die Vergasungstemperatur für rheinische Braunkohle auf 1100 °C erhöht werden. Dadurch und aufgrund der Druckfahrweise (10 bar) stieg der Kohlenstoffumsatz auf 95%.

Von Nachteil bei stationären Wirbelschichtverfahren ist die Einengung auf ein bestimmtes Kornspektrum in Verbindung mit einer ungünstigen Verweilzeitverteilung des Feststoffs, was letztlich einem möglichst vollständigen Kohlenstoffumsatz entgegensteht. Diese Nachteile sind bei Vergasungsverfahren mit expandierender stationärer oder zirkulierender Wirbelschicht nicht mehr vorhanden.

Durch die höhere Anströmgeschwindigkeit (ca. 2–10 m/s) und den externen Feststoffkreislauf kann nicht nur die Verweilzeit dem gewünschten Kohlenstoffumsatz angepasst werden, es lässt sich auch ein breiteres Kornspektrum verarbeiten (0,1–10 mm). Der sich ausbildende interne Feststoffkreislauf im Reaktor vergleichmäßig das Temperaturprofil und trägt zu einer längeren Verweildauer der Kokspartikel im Reaktor bei. Diese Vorteile müssen zwar mit einem höheren apparativen Aufwand erkauft werden, verbessern aber Wirkungsgrad und Flexibilität des Verfahrens. Solche Anlagen sind derzeit für die Biomasse- und Abfallvergasung im Leistungsbereich <100 MW im Einsatz [1].

Die Verfahren mit zirkulierender Wirbelschicht sind das Bindeglied zur Flugstromvergasung. Vorteilhaft bei diesen Vergasungsverfahren sind die einstellbaren hohen Temperaturen und Drücke (bis 100 bar), die hohe Leistungseinheiten (>1.000 MW) erreichen lassen und daher in Verbindung mit Kraftwerken mit

integrierter Vergasung (IGCC) von Interesse sind [5]. Flugstromvergasungsverfahren werden bei Temperaturen deutlich oberhalb des Ascheschmelzpunktes betrieben. Ein Nachteil von Flugstromreaktoren ist ihr hoher Prozesswärmebedarf, der, autotherm gedeckt, zu mehr Prozess-CO<sub>2</sub> bei der Synthesegasherstellung führt (aufgrund des niedrigen H<sub>2</sub>/CO-Verhältnisses im Rohgas von ca. 1:2). Forschungs- und Entwicklungsarbeiten richten sich daher auf die Verbesserung der Energieeffizienz.

Weitere Entwicklungen der Flugstromtechnik betreffen die Integration einer Hydropyrolysestufe in den Vergasungsreaktor, um parallel zum Synthesegas Flüssigprodukte auf direktem Wege zu gewinnen [6], oder den Einsatz von Erdgas als zusätzliche Vergasungsmittelkomponente bei der Kohlevergasung, wodurch sich Synthesegasqualität und CO<sub>2</sub>-Bilanz verbessern lassen [7].

Während Wirbelschichtvergasungsverfahren weltweit eine untergeordnete Rolle spielen, wurden in den letzten 10 Jahren vor allem Flugstromvergasungsanlagen neu installiert. Nicht zu vernachlässigen ist ebenfalls die Festbettvergasung, die in existierenden Anlagen in Südafrika und den USA noch weit verbreitet ist. Wesentlicher Grund für die besondere Bedeutung der Flugstromvergasungsverfahren ist vor allem die realisierbare beachtliche Leistungsgröße der Vergaser. Große thermische Leistungen sind dabei nicht nur in IGCC-Kraftwerken, sondern auch für die Chemikalien- oder Kraftstoffherzeugung, die ausschließlich bei großen Kapazitäten wirtschaftlich ist, vorteilhaft. Einen Überblick über die genutzten Brennstoffe sowie die eingesetzten Vergasungsverfahren gibt Abb. 3.

### Entwicklungsbedarf für Vergasungsverfahren

Neu- bzw. Weiterentwicklungen in der Vergasungstechnik betreffen aktuell hauptsächlich Flugstromvergasungsverfahren bzw. die Entwicklung gänzlich neuer Verfahren mit dem Ziel der Investitionskostenminderung bzw. der Erweiterung der Einsatzfähigkeit von Kohlen, die aufgrund ihrer Qualität bisher nicht genutzt werden konnten.

So zielen bei der „konventionellen“ Flugstromvergasung nach dem Shell-, Siemens- oder GEE-Verfahren die F&E-Aktivitäten vor allem auf die Entwicklung neuer Konzepte der Rohgaskühlung mittels Wasserquenchung, die Weiterentwicklung von Abhitzekesteln zur Dampferzeugung bei der Rohgaskühlung oder auf neue Verfahren zum schleusenfreien Eintrag von staubförmigen Brennstoffen bei hohen Drücken (>60 bar) in Vergasungsreaktoren. Weitere Aktivitäten betreffen die chemische Quenchung des Rohgases.

Daneben werden in China neue Vergasungsverfahren mit Funktionsprinzipien ähnlich den konventionellen Flugstromvergasungsverfahren entwickelt, aber weltweit auch neue Vergasungstechnologien mit innovativen Funktionsprinzipien. Beispielhaft sei das Pratt-Whitney-Rocketdyne „Compact Gasifier“-Verfahren genannt, das mithilfe eines kompakten und einfachen Vergaserdesigns zu einer signifikanten Reduzierung der Investitionskosten, einer Erhöhung der Verfügbarkeit und damit zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen soll.

Um die in Zukunft stark an Bedeutung gewinnenden minderwertigen Brennstoffe, d.h. Kohlen mit niedrigem Inkohlungsgrad und hohem Aschegehalt, verwerten zu können, wird z.B. an der TU Bergakademie Freiberg das sog. INCI-Verfahren (Internal Circulation) entwickelt. Dabei werden Elemente der Flugstrom-, der Wirbelschicht- und der Festbettvergasung miteinander kombiniert, um aschereiche Brennstoffe bei Temperaturen unterhalb des Ascheschmelzpunktes mit hohem Kohlenstoffvergasungsgrad (-umsatz), aber geringem anlagentechnischen Aufwand in ein Rohgas hoher Qualität zu wandeln.

Weitere an dieser Stelle nicht näher erläuterte F&E-Aktivitäten adressieren die Co-Vergasung von unterschiedlichen fossilen, aber auch von fossilen und biogenen Brennstoffen zur in-situ-Minimierung von fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

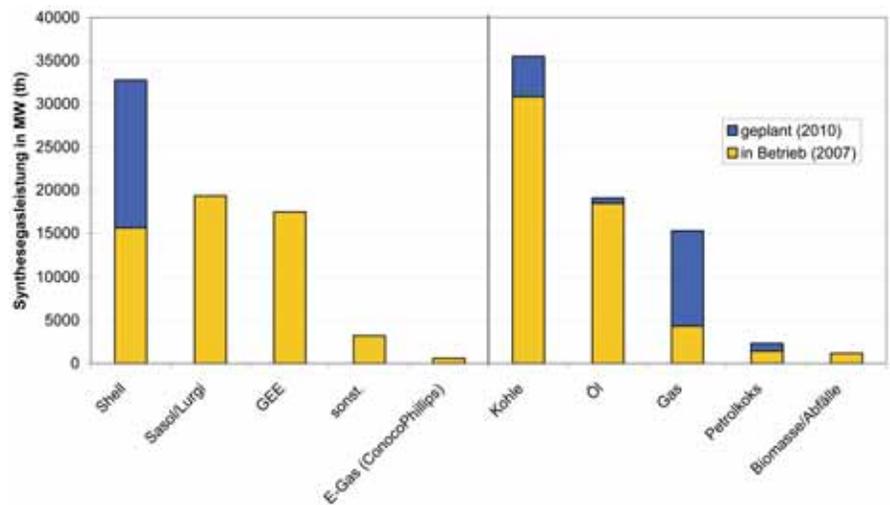


Abb. 3: Weltweit installierte Synthesegasleistung und erwartetes Wachstum unterschieden nach Vergasungsverfahren und Brennstoff (Shell, GEE, E-Gas = Flugstromverfahren, Sasol/Lurgi = Festbettvergasung) [10]

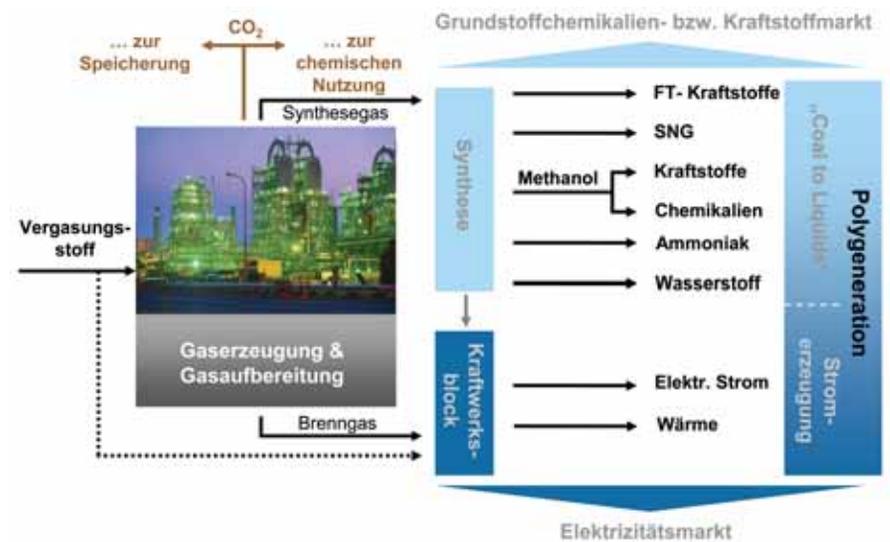


Abb. 4: Möglichkeiten der stofflichen und energetischen Nutzung von Vergasungsstoffen (insbes. Kohle und Biomasse) (FT = Fischer-Tropsch)

### Möglichkeiten der Synthesegasnutzung

Das durch Vergasung erzeugte Rohgas kann nach der Reinigung und Konditionierung in Form von Synthese- oder Brenngas stofflich oder energetisch genutzt werden, s. Abb. 4.

In Abb. 5 ist die Verteilung der aktuell installierten bzw. in Planung befindlichen Vergasungskapazitäten nach Zielprodukten dargestellt. Es ist erkennbar, dass bereits heute der Großteil des durch Vergasung erzeugten Synthesegases in Chemieanlagen genutzt wird.

Zur energetischen Nutzung kann das Gas über die Fischer-Tropsch-Synthese oder durch den Zwischenschritt Methanolerzeugung in Kraftstoffe und mittels Methanisierung in synthetisches Erdgas gewandelt werden. Alternativ bietet sich die Verbrennung in einer Gasturbine mit

angeschlossenem Abhitzekestel und Dampfturbine (GuD-Block) zur Elektrizitätserzeugung (IGCC-Kraftwerk) an.

Gemeinsam ist den beiden energetischen Nutzungsvarianten, dass das Rohgas nach der Gaserzeugung verschiedene Reinigungsstufen, wie z.B. Staubabtrennung, Wasserwäsche und Sauerogasabtrennung, mithilfe chemischer oder physikalischer Waschmittel (H<sub>2</sub>S und ggf. CO<sub>2</sub>) durchlaufen muss. Ist zusätzlich eine teilweise oder vollständige CO<sub>2</sub>-Abscheidung vorgesehen, hat das Gas vor der CO<sub>2</sub>-Abtrennung noch eine CO-Konvertierungsstufe zu durchlaufen. Dabei wird das CO aus dem Rohgas mittels Wasserdampf katalytisch in CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> gewandelt. Abhängig davon, ob das Gas vor oder nach der H<sub>2</sub>S-Entfernung konvertiert wird, spricht man von Roh- oder Reingase-CO-Konvertierung. Wird

das gesamte im Rohgas enthaltene CO durch Konvertierung in CO<sub>2</sub> gewandelt, kann das CO<sub>2</sub> vor der Verbrennung in der Gasturbine aus dem Gas abgetrennt und stofflich genutzt oder in geeigneten geologischen Formationen verpresst und gespeichert werden. In dem Fall spricht man vom sog. *pre-combustion carbon capture* in IGCC-CCS (Carbon Capture and Storage) Kraftwerken (vgl. Beitrag Kretschmar/Köckritz, ab S. 33). Als Brennstoff für die Gasturbine dient reiner bzw. mit Stickstoff verdünnter Wasserstoff.

Wird nur ein Teil des CO konvertiert und als CO<sub>2</sub> abgetrennt, handelt es sich um sog. *partial carbon capture*. Für IGCC-Kraftwerke gilt, dass bei Einsatz der fortschrittlichsten Technik für Braunkohle als Brennstoff ohne CO<sub>2</sub>-Abtrennung ein Wirkungsgrad (auf Basis Heizwert) von bis zu 51,5% und für Steinkohle von 46% erreicht werden kann. Die hohen Wirkungsgrade sind möglich, weil zur Stromerzeugung anstatt des Rankine-Dampfkraft-Prozesses der thermodynamisch günstigere GuD-Prozess genutzt wird. Im Fall der CO<sub>2</sub>-Abtrennung ist mit Verlusten von 11 bzw. 10,2 Prozentpunkten zu rechnen [11]. Aufgrund der im Vergleich zu konventionellen Dampfkraftwerken aufwändigen Prozesskette und der daraus resultierenden wirtschaftlichen und betriebstechnischen Nachteile ist der großtechnische Einsatz von IGCC-Kraftwerken ohne CO<sub>2</sub>-Abtrennung bisher nicht absehbar. Ob die IGCC-Technik mit anderen Kraftwerkskonzepten mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung wirtschaftlich konkurrieren können wird, muss sich noch zeigen. Demgegenüber weist die stoffliche Synthesegasnutzung einen wesentlichen Vorteil gegenüber der energetischen auf. So muss, um vom Rohgas-H<sub>2</sub>/CO-Verhältnis (für kohlestämmiges Gas bei der Flugstromvergasung etwa 1:2) zum Synthesegas-H<sub>2</sub>/CO-Verhältnis (z. B. ca. 2 für Methanol- und Fischer-Tropsch-Synthese bzw. ca. 1 bis 1,2 für die Oxo-Synthesen) zu gelangen, nur ein Teil des CO konvertiert werden. Damit sinkt der Aufwand für die CO-Konvertierung und die Entfernung des CO<sub>2</sub>. Im Vergleich zur Verbrennung mit vollständiger Abtrennung, z. B. in IGCC-CCS-Kraftwerken, muss weniger CO<sub>2</sub> gespeichert werden, da ein Teil des Kohlenstoffs im chemischen Syntheseprodukt gebunden wird. Beispielhaft wird dies in Abb. 6 für den Vergleich der abzutrennenden CO<sub>2</sub>-Menge bei der Methanolerzeugung und der Stromerzeugung

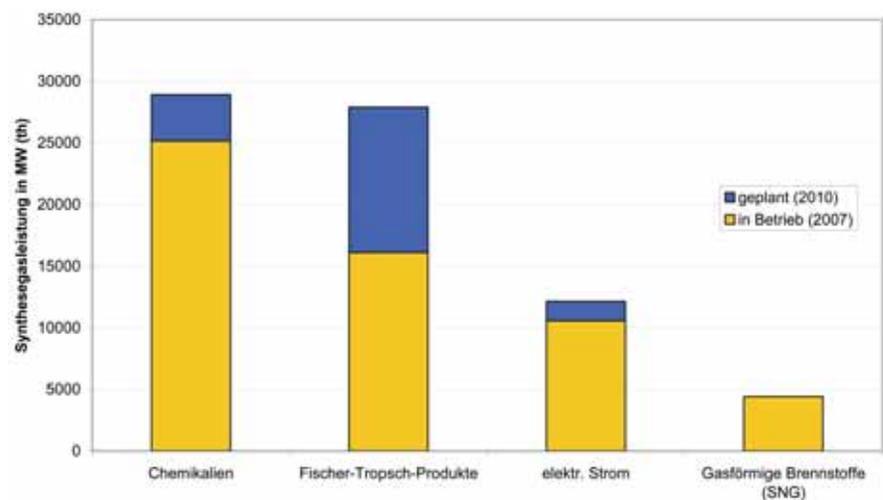


Abb. 5: Weltweit installierte Synthesegasleistung und erwartetes Wachstum, unterschieden nach Zielprodukt [10]

**1. Bei ausschließlich energetischer Kohlenutzung (z. B. Verstromung):**

„Kohle“ + „Sauerstoff/Luft“ → „Verbrennungsgas“  
 $C_1H_{0,81}O_{0,06} + 1,1725 O_2 \rightarrow 1,0 CO_2 + 0,405 H_2O$

→ CO<sub>2</sub>-Freisetzung 100%, d. h. 100 % Abtrennung und Speicherung

**2. Autotherme Flugstromvergasung (> 1200 °C) und CO-Konvertierung zur Synthesegaserzeugung für eine Methanolsynthese:**

„Kohle“ + „Dampf“ + „Sauerstoff“ → „Synthesegas“  
 $C_1H_{0,81}O_{0,06} + 0,4 H_2O + 0,5688 O_2 \rightarrow 0,5975 CO_2 + 0,4025 CO + 0,805 H_2$

0,4025 CH<sub>3</sub>OH

→ CO<sub>2</sub>-Freisetzung 60 %, d. h. „nur“ 60 % Abtrennung und Speicherung

Abb. 6: Vergleich der abzutrennenden bzw. freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei stofflicher und energetischer Kohlenutzung

verdeutlicht. Die Differenz zwischen dem Synthesegas-H<sub>2</sub>/CO-Verhältnis und dem Rohgas-H<sub>2</sub>/CO-Verhältnis ist demnach ein Maß für die zu erwartenden prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Abb. 7 auf der folgenden Seite gibt einen Überblick über die Anforderungen der wichtigsten Synthesen an die Gasqualität zur Herstellung von Basischemikalien.

Aufgrund der oben beschriebenen wirtschaftlichen Nachteile von IGCC-Kraftwerken werden neue Vergasungsanlagen im Augenblick ausschließlich für die Bereitstellung von Synthesegas zur stofflichen Nutzung bzw. zur Erzeugung von synthetischem Erdgas oder Kraftstoffen errichtet. Regionale Schwerpunkte sind die Wachstumsmärkte im Asien-Pazifik-Raum (insbes. China), im mittleren Osten, in Australien und in den USA. Als Brennstoff kommt vor allem Kohle zum Einsatz.

### Polygeneration – das chemiegeführte Kraftwerk

Wird mehr als nur ein Produkt aus dem Einsatzstoff erzeugt, spricht man von Polygeneration. Zu unterscheiden ist dabei in die „stoffliche“ Polygeneration und die Kopplung von Elektrizitätserzeugung mit stofflicher Nutzung. Ein typisches Beispiel der stofflichen Polygeneration ist das North Dakota „Great Plains Synfuels Plant“ in Beulah in den USA. Dort werden aus kohlestämmigen Festbettdruckvergasungsgasen SNG und eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte erzeugt. Das entstehende CO<sub>2</sub> wird abgetrennt und zur sogenannten Enhanced Oil Recovery (EOR) in einem benachbarten Ölfeld in Kanada genutzt. Stoffliche Polygeneration kann auch aus einer Prozesskette bestehen, bei der die Kohle qualitätsabhängig zunächst in Nieder- und Mitteltemperaturprozessen ver-

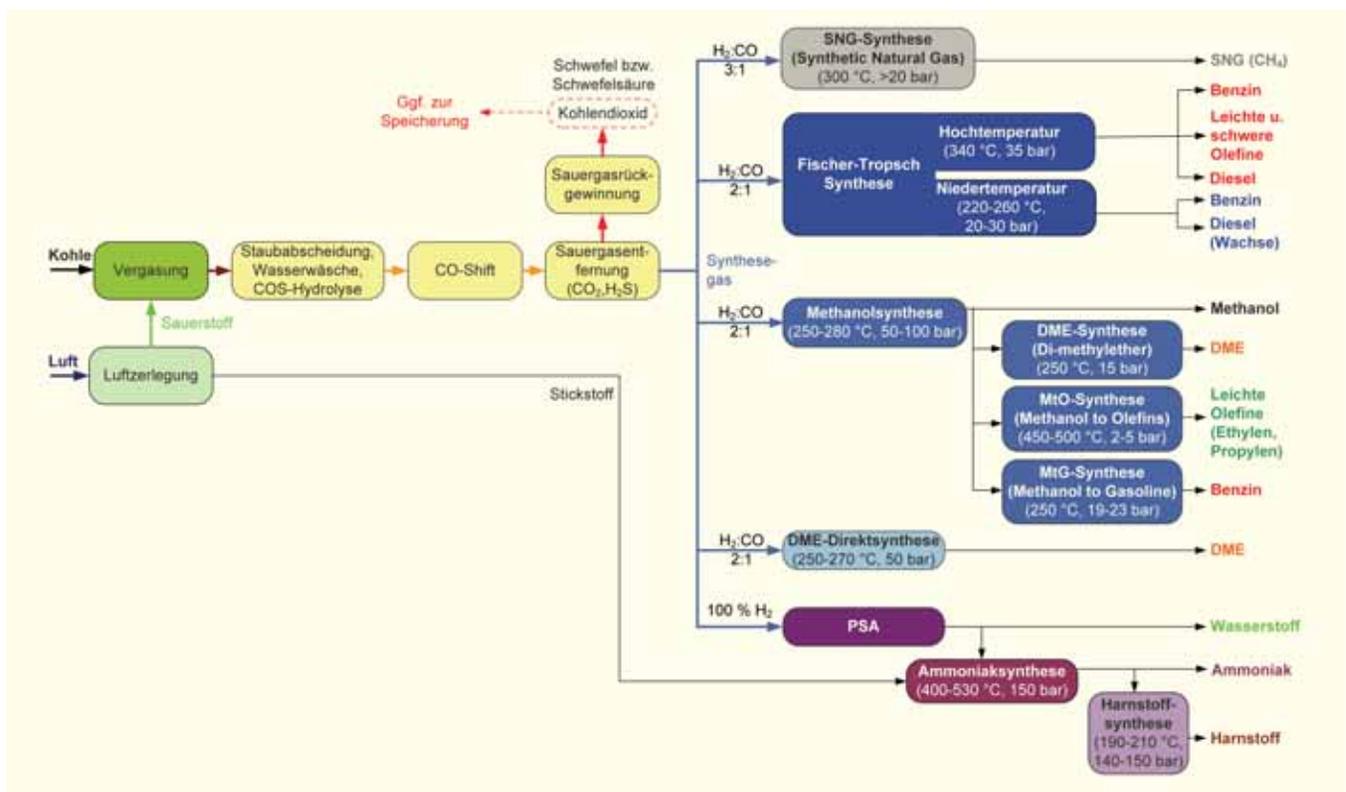


Abb. 7: Möglichkeiten zur Erzeugung von Chemikalien und Kraftstoffen aus kohlestämmigem Synthesegas

wertet wird, z. B. durch Extraktion und Pyrolyse, bevor qualitativ minderwertige Kohlen oder die Rückstände der Nieder- und Mitteltemperaturkonversion durch Vergasung in ein nutzbares Synthesegas gewandelt werden.

Ergänzend kann man die Synthese mit einem Kraftwerksblock koppeln, so dass Abgas- oder Abproduktströme zur Erzeugung von Wärme oder elektrischem Strom genutzt werden können. Das geschieht heute ausschließlich über die Kopplung mit einem oder mehreren Dampfkraftwerksblöcken. Dabei wird in der Regel die nicht im Vergaser nutzbare Kohle verbrannt, wie z.B. bei SASOL in Secunda, Südafrika, wo mittels Festbettvergasung ein Synthesegas für die Fischer-Tropsch-Synthese erzeugt wird und besonders feine Kohlekörnungen bzw. -staub in einem Dampfkraftwerk energetisch verwertet werden. Diese Art der konventionellen stofflich/energetischen Polygeneration ist Stand der Technik und weit verbreitet.

Alternativ dazu bildet die Kombination von IGCC-Kraftwerken mit chemischer Synthese wegen der gleichartigen Prozesskette der Gaserzeugung und Gas-aufbereitung einen interessanten Ansatz zur Co-Erzeugung von elektrischer Energie und chemischen Wertprodukten. Als Brennstoff für den Kraftwerksblock können ein Teil des Synthesegases oder die

Kreislauf- und Abgase aus der Syntheseproduktaufbereitung eingesetzt werden.

Polygeneration-Kraftwerke werden heute vor allem in Anlagen der chemischen Industrie bzw. in Raffinerien eingesetzt. Typischerweise werden dabei die Synthese und der Kraftwerksblock bei Volllast betrieben. Der im Kraftwerksteil erzeugte Strom wird zur Deckung des Eigenbedarfs genutzt und überschüssiger Strom an das elektrische Netz abgegeben. Darüber hinaus sind neue Anwendungsgebiete als Mittel- oder Spitzenlastkraftwerke denkbar, wenn entweder eine lastwechselflexible Synthesegaserzeugung und -aufbereitung oder Synthese betrieben werden kann. Bis auf die Flüssigphasenmethanolsynthese sind derzeit jedoch keine lastwechselflexiblen Synthesen großtechnisch verfügbar. Durch die Kopplung von Stromerzeugung und chemischer Synthese ergeben sich folgende Vorteile:

- Bei CO<sub>2</sub>-Abtrennung muss nur ein Teil des CO<sub>2</sub> entfernt und gespeichert werden (ein großer Teil des Kohlenstoffs wird im Syntheseprodukt gebunden).
- Die Nutzung von Abgasströmen oder nicht genutzten bzw. unreaktierten Gasströmen der Synthese eröffnet eine bessere Gesamtnutzung des Brennstoffs.
- Wird ein Syntheseprodukt hergestellt, das auch energetisch genutzt

werden kann (wie z. B. Methanol), ist Polygeneration eine Möglichkeit zur Entkopplung der Energieerzeugung vom Strombedarf (z. B. Methanol kann gespeichert werden).

- Eine hohe zeitliche Auslastung von Vergaser und Gas-aufbereitung ist gewährleistet (es stehen zwei Abnehmer für das Roh- bzw. Synthesegas zur Verfügung).
- Der stoffliche und energetische Gesamtwirkungsgrad von Polygeneration-Kraftwerken ist in der Regel höher als der Einzelwirkungsgrad von Synthese und Kraftwerksblock.
- Die Erzeugung mehrerer Produkte verbessert prinzipiell die Wettbewerbsfähigkeit des Betreibers am Markt.

### Stoffliche Nutzung von CO<sub>2</sub>

Im Vergleich zu Erdöl erfordert Kohle für die Herstellung von Chemierohstoffen nicht nur einen höheren technologischen, sondern auch energetischen Aufwand. Grund ist das geringere Wasserstoff/Kohlenstoff-Verhältnis gegenüber Erdöl (1 vs. 1,7). Es hat zur Folge, dass fehlender Wasserstoff mit Hilfe von Kohlenstoff aus Wasser(dampf) erzeugt werden muss, um das erforderliche H<sub>2</sub>/CO-Verhältnis von größer Eins in den Synthesegasen einzustellen. Technisch geschieht das wie bereits erwähnt durch

Konvertierung eines Teils des im Vergasungsgas enthaltenen Kohlenmonoxids (CO-Shift). Bei diesem Prozess entsteht Kohlendioxid, das abgetrennt werden muss. Die Nutzung des entstehenden CO<sub>2</sub> ist eine verfahrenstechnische Herausforderung der kommenden Jahre.

Die bisher existierenden Verwertungsmöglichkeiten für CO<sub>2</sub> sind begrenzt. Sie könnten das aus der Kohlevergasung freigesetzte CO<sub>2</sub> nur zu einem verschwindend geringen Anteil aufnehmen, wie Studien belegen [3, 8–9]. Industrielle Verfahren, die auf CO<sub>2</sub> als C<sub>1</sub>-Synthesebaustein basieren, sind die Harnstoffsynthese (0,73 kg CO<sub>2</sub>/kg), die CO<sub>2</sub>-basierte Methanolsynthese (1,38 kg CO<sub>2</sub>/kg), die Herstellung von Propylenkarbonat (0,43 kg CO<sub>2</sub>/kg) oder Salicylsäure (0,32 kg CO<sub>2</sub>/kg) sowie weiterer Produkte wie Oxalsäure (0,49 kg CO<sub>2</sub>/kg), Citronensäure (0,23 kg CO<sub>2</sub>/kg), Polycarbonate und Polyurethane. Überschlägig gerechnet können mit diesen Produkten nicht mehr als 5% der CO<sub>2</sub>-Emissionen kompensiert werden [3, 8–9]. Ein in Größenordnungen höheres Verwertungspotenzial für CO<sub>2</sub> bietet beispielsweise die Synthese von Methanol als Grundstoff der organischen Chemie (für eine Weiterverarbeitung zu Olefinen). Diese Verwertungsrouten setzen jedoch die Verfügbarkeit von billigem, nichtfossilem Wasserstoff voraus.

### Zusammenfassung

Die thermochemische Vergasung besitzt ein hohes Potenzial für die primärstoffliche Nutzung des heimischen Energieträgers Braunkohle in Verbindung mit Biomasse. Die Synthesegasherstellung ist hierbei der Schlüssel für alle Downstream-Optionen der Syntheschemie, aber auch der gekoppelten Stromerzeugung.

Die verfügbaren Vergasungsverfahren weisen bereits heute einen hohen technischen Entwicklungsstand auf. Sie werden für die Konversion von Kohlen, Biomassen sowie von flüssigen und gasförmigen KW-Stoffen zu Gasen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften industriell genutzt.

Nichtsdestotrotz existiert ein noch erhebliches Potenzial zur Erhöhung der Effizienz, der Brennstoffflexibilität und zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Neben der Weiterentwicklung der Vergasung selbst besteht ein Bedarf an optimalen Anlagenkonzepten, die den Anforderungen an Betriebsverhalten, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Ressourceneffizienz und möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen gerecht werden. Dies setzt die Optimierung sowie eine Weiter- und Neuentwicklung von Einzelkomponenten, insbesondere der Vergasungsprozesse, voraus.

Dieser Forschungsbedarf wurde an der TU Bergakademie erkannt. Das IEC gilt als das wissenschaftliche Zentrum für Vergasungsforschung in Deutschland. Es arbeitet instituts- und fakultätsübergreifend und in Kooperation mit externen wissenschaftlichen Einrichtungen und der Industrie. Beispielhaft seien die BMBF-Projekte Zentrum für Innovationskompetenz „ZIK Virtuhcon“ (Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse), das „Deutsche Energierohstoff-Zentrum Freiberg“ (DER) oder das BMWi-Projekt „COORVED“ genannt. Die Verkürzung von Entwicklungszeiten und die Reduzierung des Entwicklungsrisikos sowie der Investitionskosten sind wesentliche Ziele.

Mit den Forschungsaktivitäten stellt sich die TU Bergakademie den Herausforderungen des Nach-Erdölzeitalters und trägt zur Sicherung des Hochtechnologie-

und Forschungsstandortes Deutschland auf dem Gebiet der CO<sub>2</sub>-armen Nutzung fossiler Energieträger bei.

### Literatur

- 1 Krzack, St. In: Schmalfeld, J. (Hrsg.): Die Veredlung und Umwandlung von Kohle. Technologien und Projekte 1970 bis 2000 in Deutschland. DGfM 2008 (Kapitel 4.1, S. 299–306)
- 2 Kühn, M. und Ch. Clauser: Mineralische Bindung von CO<sub>2</sub> bei der Speicherung im Untergrund in geothermischen Reservoiren. In: Chem.-Ing.-Tech. 78 (2006), 425–434
- 3 Synthesen und Prozesse für eine nachhaltige Chemie – Dream Reactions. Wissenschaftliche Tagung der AG Nachhaltige Chemie der GDCh vom 23.–25.04.2008 in Aachen
- 4 Heschel, W., Meyer, B. und R. Pardemann: Forschung am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen im Rahmen des Regionalen Wachstumskerns „Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland ibi“. In: Zeitschrift für Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. 16 (2009), 69–71
- 5 Ogriseck, K.: Untersuchung von IGCC-Kraftwerkskonzepten mit Polygeneration und CO<sub>2</sub>-Abtrennung. In: Fortschritt-Berichte Reihe 6, Nr. 544. Düsseldorf: VDI-Verlag 2006
- 6 Yabe, H. et al.: Development of coal partial hydrolysis process. In: ICCS&T Okinawa October 2005
- 7 Ouyang, Z. et al.: Experimental study of coal gasification coupling with natural gas autothermal reforming for synthesis gas production. In: Ind. Eng. Chem. Res. 44 (2005), 279–284
- 8 Kessler, B. et al.: Nutzung von CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen für chemische Synthesen. In: Chem.-Ing.-Tech. 64 (1992), 1075–1083
- 9 Plass, L.: BMWi-Workshop CO<sub>2</sub> – Abtrennung/Nutzung/Deponie 3.–4.7.2002
- 10 NETL – U.S. DOE: Gasification World Database 2001. Current Industry Status – Robust Growth Forecast, [http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/Gasification2007\\_web.pdf](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/database/Gasification2007_web.pdf), Oktober 2007
- 11 Gräbner, M. et al.: Schlussbericht „Verbundvorhaben COORIVA: Baubarkeitsuntersuchungen für ein IGCC-Referenzkraftwerk ab 2015 für Braun- und Steinkohle mit CO<sub>2</sub>-Rückhaltung. BMWi-FKZ: 0327700, 2009

## Deutsches EnergieRohstoff-Zentrum Freiberg (DER)

Heiner Gutte, Andreas Klossek

Technologien für das Nach-Erdölzeitalter –  
ein Musterbeispiel für  
interdisziplinäres Forschen  
an zukunftsweisenden Lösungen



Der in den letzten Jahren zu verzeichnende Anstieg der weltweiten Nachfrage nach Erdöl führt bei gleichzeitigem Abnehmen der Verfügbarkeit von Ölvorkommen unweigerlich zu steigenden Rohölpreisen. Entwicklungen wie der kontinuierlich wachsende Rohstoffhunger aufstrebender Märkte, etwa China, oder Ereignisse, wie die ökologische Katastrophe im Golf von Mexiko verschärfen die Verknappung von Erdöl noch zusätzlich. Spürbar wird dies für die meisten Deutschen durch steigende Benzin- und Heizölpreise, die nur durch einen immer noch relativ starken

Euro gemildert werden. Was die meisten Bürger nicht wissen, der Rohstoff Erdöl wird auch für die Herstellung von Plastik, Textilien sowie wichtigen Arznei- und Kosmetikartikeln benötigt. Hier mag der Preisanstieg derzeit noch vernachlässigbar sein; was passiert aber am Ende des Erdölzeitalters? In etwa 60 Jahren, so neueste Berechnungen der International Energy Agency, sind die derzeitigen Reserven an Erdöl aufgebraucht. Auch Erdgas, welches „erst“ in etwa 70 Jahren nicht mehr verfügbar sein wird, bietet keine Alternative – zumindest nicht für die Herstellung von kohlenstoffhaltigen Produkten. Erneuerbare Energien könnten möglicherweise in ferner Zukunft den weltweiten Energiehunger stillen. Sonne, Wind und Wasser liefern aber nicht den für die Herstellung essenzieller Produkte des täglichen Bedarfs notwendigen Kohlenstoff. Auch Biomasse, deren Einsatzforschung derzeit finanziell stark gefördert wird, ist unter den derzeitigen technologischen Gegebenheiten nicht als ausschließlicher Kohlenstofflieferant für solche Produkte vorstellbar.

Ein Rohstoff, der gerade in Deutschland zurzeit – vielfach zu Unrecht – als unerwünscht und unökologisch gebrandmarkt wird, kann die Lücke schließen: heimische bzw. Importkohle. Voraussetzung dafür ist jedoch die Erforschung einer effizienten und ökologisch nachhaltigen, vor allem stofflichen Nutzung der Kohle.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat aufgrund der jahrzehntelangen Kompetenz der Technischen Universität Bergakademie Freiberg und besonders des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen im Rahmen des Programms „Spitzenforschung in den Neuen Bundesländern“ diese mit dem Aufbau eines international sichtbaren und anerkannten Zentrums für innovative Konzepte und Technologien für das Nach-Erdölzeitalter beauftragt. Seit Januar 2010 werden in Freiberg neue Lösungen für die beschriebene Herausforderung gesucht.

Das Deutsche EnergieRohstoff-Zentrum Freiberg (DER) erforscht und entwickelt zusammen mit derzeit insgesamt 18 Bündnispartnern aus Wissenschaft und Wirtschaft zukunftsweisende Technologien für das Nach-Erdölzeitalter. Dabei sollen Wege gefunden werden, die stoffliche Nutzung von Kohle im Zusammenspiel mit Biomasse als Substitut für Erdöl zu etablieren, um eine mögliche



Versorgungslücke bei chemischen Rohstoffen und den daraus hergestellten Produkten in Deutschland zu verhindern.

Die Herausforderungen eines so umfangreichen Forschungsprojekts bestehen aber nicht allein darin, die einzelnen technologischen Probleme zu lösen. Für ein zielgerichtetes Vorgehen müssen zahlreiche Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft mit ihren unterschiedlichen Interessen nicht nur an einen Tisch, sondern auch zu einer interdisziplinären Zusammenarbeit gebracht werden. Um dieser Zielstellung gerecht zu werden, wurden den Ingenieur- und Naturwissenschaftlern daher in einem für Deutschland beispielhaften Modellprojekt Organisatoren, Wirtschaftswissenschaftler und Managementforscher zur Seite gestellt, deren Auftrag es ist, Konzepte für das erfolgreiche Management derartiger komplexer Forschungsvorhaben und den damit zusammenhängenden Wissenstransfer zu erforschen. Nicht zuletzt diese Besonderheit der Verknüpfung von technologischen und wirtschaftlichen Forschungen überzeugte das BMBF und wichtige Unternehmen aus dem Bereich der deutschen Energie- und Rohstoffwirtschaft (Vattenfall Europe Mining & Power Generation, RWE Power, MIBRAG, ROMONTA), den Aufbau des Zentrums über einen Zeitraum von fünf Jahren mit mehr als 15 Millionen Euro zu fördern.

### Entwicklung innovativer Vergasungsverfahren

Ein wesentliches Verfahren zur stofflichen Nutzung von Kohle und Biomasse ist die Vergasung, bei der die kohlenstoffhaltige Substanz in ein brennbares Synthesegas überführt wird. Das Synthesegas dient der Herstellung von chemischen Basisprodukten wie Methanol, Ammoniak, Harnstoff, Es-

sigsäure, von Oxo-Produkten (Tenside, Alkohole) oder der Bereitstellung von Wasserstoff und Methan. Für derzeit verfügbare Vergasungstechnologien besteht erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Brennstoffflexibilität in Abhängigkeit vom Energierohstoff, der Absenkung prozessbedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Wirkungsgrad- und Effizienzsteigerung sowie einer optimalen Vergaserkonstruktion. Die Kenntnis der tatsächlichen Gas-Feststoff-Wechselwirkung ist bisher unzureichend, was die Möglichkeiten der modellmäßigen Beschreibung der Vergasungskinetik einschränkt. Daher werden im DER Schlüsselprozesse der Vergasung zunächst experimentell untersucht und anschließend durch Simulationsmodelle beschrieben. Dies umfasst die folgenden Teilprojekte:

- Entwicklung eines kontinuierlichen, schleusenlosen Hochdruck-Feststoff-eintragssystems,
- Erforschung des Einflusses einer Festbrennstoffvorwärmung auf den Vergasungsprozess sowie
- Experimentelle und theoretische Beschreibung des Partikelverhaltens in reaktiven Gas-Feststoff-Strömungen

### Aufklärung der Struktur von Energierohstoffen

Die Entwicklung innovativer Technologien zur effizienten stofflichen und energetischen Nutzung fossiler und biogener Energierohstoffe erfordert detaillierte Untersuchungen zu Struktureigenschaften-Zusammenhängen bei thermochemischen Konversionsprozessen. Die Strukturaufklärung umfasst die Charakterisierung von festen, flüssigen und gasförmigen Phasen bei der Pyrolyse und der Vergasung von Kohlen und Biomassen. Kohlen und Biomassen werden hinsichtlich physikalisch-chemischer Eigenschaften, struktureller Konstitution

sowie ihrer mineralischen Begleitkomponenten untersucht, da diese die technologie- und produktbezogenen sowie verfahrenstechnisch relevanten Energierohstoff-Eigenschaften maßgeblich prägen. Mit der realitätsnahen Aufklärung der Struktur der Energierohstoffe wird ein Wechsel von bisher empirisch ermittelten Zusammenhängen zu einer auf physikalisch-chemischen Elementarvorgängen basierenden Charakterisierung der Prozesse unter Berücksichtigung dominierender Reaktionsmechanismen vollzogen.

### Entwicklung innovativer Werkstoffe

Die Entwicklung innovativer Technologien zur stofflichen und energetischen Nutzung von Kohle und Biomasse erfordert die Bereitstellung von Werkstoffen, die unter den Bedingungen der Vergasung einsatzfähig sind. Werkstoffe für die Reaktorauskleidung von Vergasungsanlagen müssen außer hohen Temperaturen, dem Angriff flüssiger Schlacken und Alkaliverbindungen und insbesondere der reduzierenden feuchten Gasatmosphäre standhalten. Ziel ist die Entwicklung korrosionsträger, thermoschockbeständiger, alkaliresistenter Werkstoffe, die unter den Prozessbedingungen der

Kohle- und Biomassevergasung hinreichende Langzeitstabilität aufweisen. Die Entwicklung innovativer Werkstoffe umfasst die Charakterisierung, Bewertung und Prüfung keramischer und metallischer Hochtemperaturwerkstoffe sowie die Identifizierung der wichtigsten Korrosionsmechanismen und den darauf abgestimmten Werkstoffeinsatz.

### Erforschung innovativer Kooperationen und Netzwerke

Zu den Bündnispartnern im DER gehören einerseits wissenschaftliche Partner wie universitäre oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen (z. B. Fraunhofer Institute, Helmholtz Gesellschaften) und andererseits Unternehmen der Energie- oder energienahen Wirtschaft, der Chemieindustrie und des Anlagenbaus.

Die Bündnispartner zeichnen sich durch unterschiedliche Motivationen und Interessen, aber auch durch grundlegend unterschiedliche Organisations-, Eigentums- und Finanzierungsstrukturen aus. Ziel ist daher die Erforschung und Gewinnung von verallgemeinerbaren Organisations- und Managementprinzipien. Diese sollen eine erfolgreiche und langfristige Kooperation unterschiedlicher In-

novationsträger in Zentren der Spitzenforschung in Deutschland garantieren.

### Erforschung einer professionellen Wissensvermittlung

Eine bedeutende Aufgabe von Forschungs- und Entwicklungszentren ist der zielkonforme, abgestimmte Wissenstransfer. In der vorliegenden Forschungslinie sollen deshalb die Bedingungen und Erfolgsfaktoren des Wissenstransfers und der internen sowie externen Kommunikation speziell für Spitzenforschungszentren bestimmt werden. Einen Schwerpunkt bilden exemplarisch Professional Schools. Das sind Zentren, die die Aus- und Weiterbildung unterschiedlicher Interessensgruppen effizient sicherstellen können. Bislang fehlen jedoch konkrete Gestaltungs- und Handlungsempfehlungen für die Entwicklung und den Aufbau von Professional Schools als Bindeglied zwischen einem Spitzenforschungszentrum, den beteiligten Universitäten und den vielfältigen Interessengruppen. Als abgeleitetes Ziel sollen verallgemeinerbare und erfolgversprechende Organisations- und Managementprinzipien für die Angliederung einer Professional School an den Hochschulbetrieb erforscht und beispielhaft implementiert werden.

## Virtualisierung von Hochtemperatur-Konversionsprozessen als Werkzeug zur Prozessoptimierung

Christian Hasse, Petr Nikrityuk, Patrick Masset

Virtuhcon (Virtual High Temperature Conversion Processes) – unter diesem Projektnamen haben sich acht Institute der TU Bergakademie Freiberg zusammengefunden, um gemeinsam mit internationalen Nachwuchswissenschaftlern Forschung auf dem Gebiet der Hochtemperatur-Konversionsprozesse zu betreiben.

### Einleitung

Hochtemperatur-Stoffwandlungsprozesse stehen am Anfang von industriellen Prozessketten, bei denen zahlreiche Produkte des täglichen Lebens, z. B. Kraftstoffe, Kunststoffe oder elektrische Energie, entstehen. Für diese Prozesse sind Temperaturen von 400 °C bis teilweise über 2.000 °C erforderlich. Beispiele sind das Reduzieren und Schmelzen von Erz zur Herstellung von Roheisen, die Spaltung von Kohlenwasserstoffen wie Erdöl und Ergas bzw. die Umwandlung von Holz und Kohle zu wasserstoffreichen Energieträgern oder zu Primärchemikalien, die dann zu Kunst- und Kraftstoffen sowie anderen chemischen Produkten weiterverarbeitet werden.

Die gegenwärtigen Hochtemperatur-Konversionsanlagen haben ein deutliches Optimierungspotenzial. Es muss eine vergleichsweise große Menge Energie eingesetzt werden, um einen neuen Grund- oder Werkstoff zu gewinnen. Gleichzeitig

sind die Kohlendioxid-Emissionen hoch. Die besondere Herausforderung besteht darin, dass diese Prozesse auf Grund der hohen Temperaturen und oft

hohen Drücke, der großen Reaktionsräume sowie ihrer Komplexität für eine direkte Analyse nur schwer oder gar nicht zugänglich sind. Dies ist ein Grund dafür, dass bisher überwiegend empirisches Wissen für die physikalischen und chemischen Vorgänge existiert und in der Prozessentwicklung und -optimierung angewandt wird.

Acht Institute (Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen – Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, Institut für Nichteisen-Metallurgie und Reinstoffe – Prof. Dr.-Ing. Michael Stelter, Institut für Mechanik und Fluidodynamik – Prof. Dr.-Ing. Christoph Brücker, Institut für Numerische Mathematik und Optimierung – Prof. Dr. rer. nat. Michael Eiermann, Institut für Informatik – Prof. Dr.-Ing. Bernhard Jung, Institut für Eisen- und Stahltechnologie – Prof. Dr.-Ing. Piotr Scheller, Institut für Werkstoffwissenschaft – Prof. Dr. rer. nat. Hans Jürgen



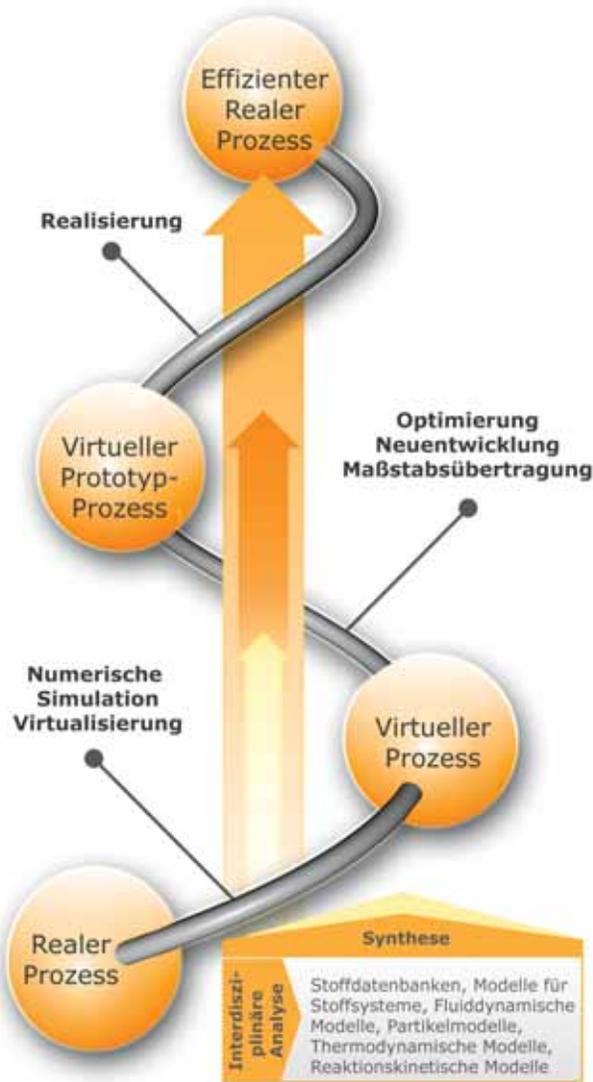


Abb. 1: Optimierung von realen und zukünftigen Prozessen durch Virtualisierung

Seifert, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik – Prof. Dr.-Ing. Dimosthenis Trimis) haben sich zusammengeschlossen und das Projekt Virtuhcon ins Leben gerufen, um das wissenschaftliche Verständnis der ablaufenden Vorgänge deutlich zu verbessern.

Virtuhcon hat es sich zur Aufgabe gemacht, auf virtuellem Weg effizientere und „kohlendioxid-arme“ Umwandlungsprozesse zu entwickeln. Die Virtualisierung von Prozessen ist der Schlüssel für innovative Entwicklungsstrategien in vielen Bereichen der Volkswirtschaft. Unter der Virtualisierung von Prozessen wird dabei deren vollständige Erfassung und Abbildung auf der Basis von mathematisch-naturwissenschaftlichen Modellen und Simulationen verstanden. Auf Basis des vollständigen Modells können realitätsnahe Anpassungen, Optimierungen und die Umgestaltung von Prozessabläufen sowie die Entwicklung prinzipiell neuer Lösungsansätze erfolgen. Diese Vorgehensweise ist in Abb. 1 zusammengefasst. Ausgehend vom realen Prozess können in Kombination mit den neu gewonnenen Forschungsergebnissen realitätsnahe Simulationen der ablaufenden Prozesse durchgeführt werden, d.h. der bereits existierende Prozess wird virtualisiert. Auf Basis dieses Prozessmodells können nun virtuell Optimierungen oder Variantenentwicklungen (z.B. Maßstabsskalierungen) vorgenom-

men werden, ohne kostenintensive und teilweise langwierige Experimente und Versuchsreihen durchzuführen. Im nächsten Schritt kann im Rahmen von Neuentwicklungen ein großer Teil der Fragestellungen ebenfalls direkt auf Basis der Computersimulation bearbeitet werden, so dass sich die Anzahl von realen Prototypen, die gebaut werden müssen, signifikant reduzieren lässt. Experimentell wird dann nur noch eine Auswahl an optimierten Varianten untersucht. Durch die virtualisierte Produktgestaltung werden einerseits die Entwicklungs- und Optimierungszyklen deutlich verkürzt und wird andererseits auch ein Teil der sehr hohen experimentellen Kosten reduziert, da zunächst keine technischen Anlagen gebaut werden müssen.

Diese Strategie zur Technologieentwicklung in das sehr dynamische und wirtschafts- bzw. umweltpolitisch hochaktuelle Feld der Stoff- und Energiebereitstellung einzuführen, ist das übergeordnete Ziel des Zentrums für Innovationskompetenz Virtuhcon.

Virtuhcon wird sich zunächst auf Hochtemperatur-Stoffwandlungsprozesse bei der Energieträgerwandlung und in der Metallurgie konzentrieren, bei denen Partialoxidationsreaktionen eine zentrale Rolle spielen. Diese Prozesse weisen in beiden Bereichen signifikante Parallelen auf und werden deshalb gemeinsam betrachtet. Diese gemeinsame Betrachtungsweise und die entsprechende Kombination von Ingenieurdisziplinen in dieser Form und mit dieser Zielstellung sind weltweit neu. Damit stellt die gebietsübergreifende Zusammenführung des Wissens zu Hochtemperatur-Konversionsprozessen und die darauf aufbauende Prozessvirtualisierung auf dem Gebiet der Grundstoffindustrie eine neue Forschungsstrategie dar. Ausgangspunkt dafür sind die in Freiberg vorhandene Fachexpertise und Forschungsinfrastruktur in den wichtigsten relevanten Wissenschaftsbereichen, die durch die acht Initiativinstitutionen repräsentiert werden. Dazu zählen Brennstofftechnik, Energieverfahrenstechnik, Eisen- und Stahltechnologie, Nichteisenmetallurgie, Wärmetechnik sowie das Chemieingenieurwesen mit modernster Analysen- und Gerätetechnik bis hin zum Pilotmaßstab.

### Forschungsansatz

Der strukturelle Forschungsansatz von Virtuhcon orientiert sich an den chemisch und physikalisch ablaufenden Prozessen und kann in drei Hauptgebiete – multiphasige Stoffsysteme, Grenzflächenphänomene und Reaktionsströmungssysteme – unterteilt werden, siehe Abb. 2.

**Multiphasige Stoffsysteme:** Dies können z. B. Partikel (Asche, Kohle etc.) sein, die aus mehreren Phasen bestehen und komplex zusammengesetzt sind. Das wissenschaftliche Ziel ist die Beschreibung des Stoffsystems und der Veränderungen, z. B. durch Oberflächenreaktionen, die es während des Hochtemperaturkonversionsprozesses durchläuft, abhängig von der umgebenden Gasphase.

**Grenzflächenphänomene:** Das Partikel steht in Wechselwirkung mit der umgebenden fluiden Phase. In direkter Nähe der Oberfläche bilden sich Grenzschichten mit sehr hohen Gradienten von Temperatur und Konzentrationen aus. Diese Grenzschichten determinieren Transportprozesse um das Partikel und stehen im Austausch mit der umgebenden turbulenten Strömung im Reaktor.

**Reaktionsströmungssysteme:** Die Rahmenbedingungen für die Wärme- und Stoffaustauschprozesse in der Grenzschicht, die mit den Partikeln in Wechselwirkung steht, werden durch



Abb. 2: Physikalische und chemische Wirkkette bei Hochtemperatur-Konversionsprozessen

die umgebende turbulente Strömung im Reaktor beschrieben. Hier finden parallel die chemischen Reaktionen, z. B. Verbrennung oder Reformierung, statt, die zu dem gewünschten Endprodukt führen. Auf Basis der hier beschriebenen Wirkkette wurden drei Gruppen mit jeweils sechs Forschern und einem Forschungsgruppenleiter gebildet:

- Multiphasige Stoffsysteme
- Grenzflächenphänomene
- Reaktionsströmungssysteme

Die Förderung der Forschungsgruppen erfolgt im Rahmen des BMBF-Programms „Zentren für Innovationskompetenz: Exzellenz schaffen – Talente sichern“. Vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) werden dabei die Forschungs-

gruppen „Reaktionsströmungssysteme“ und „Multiphasige Stoffsysteme“ und vom SMWK (Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kultur) die Gruppe „Grenzflächenphänomene“ unterstützt. Tab. 1 gibt eine Übersicht über die jeweiligen Förderzeiträume und Budgets.

Tab. 1: Übersicht über Förderung der Forschungsgruppen des Zentrums für Innovationskompetenz Virtuhcon

Forschungsgruppe	Förderzeitraum	Fördermittelgeber	Budget
Reaktionsströmungssysteme	03/2010–02/2015	BMBF	4,2 Mio. €
Multiphasige Stoffsysteme	11/2009–10/2014	BMBF	4,8 Mio. €
Grenzflächenphänomene	05/2009–04/2014	SMWK	2,7 Mio. €

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitsgebiete der drei Forschungsgruppen näher erläutert.

### Multiphasige Stoffsysteme

Leitung: Dr. Patrick Masset

Die Forschungsgruppe „Multiphasige Stoffsysteme“ beschäftigt sich mit der Analyse komplexer Stoffsysteme realer Hochtemperatur-Stoffwandlungsprozesse. Ziele sind die Generierung entsprechender konsistenter Stoffdatensätze und insbesondere die thermodynamische Beschreibung der Beeinflussung der Stoffsysteme durch die Prozessbedingungen. Diese Daten sollen in mathematisch-naturwissenschaftlichen Modellen abgebildet werden. Die Kenntnis von thermodynamischen Daten im Gleichgewicht und der thermophysikalischen Stoffsystemeigenschaften (Viskositäten, Oberflächenspannungen) ist der erste Schritt, um die chemisch reagierenden mehrphasigen Stoffsysteme komplexer Hochtemperatur-Konversionsprozesse



Abb 3: Dr. Patrick Masset

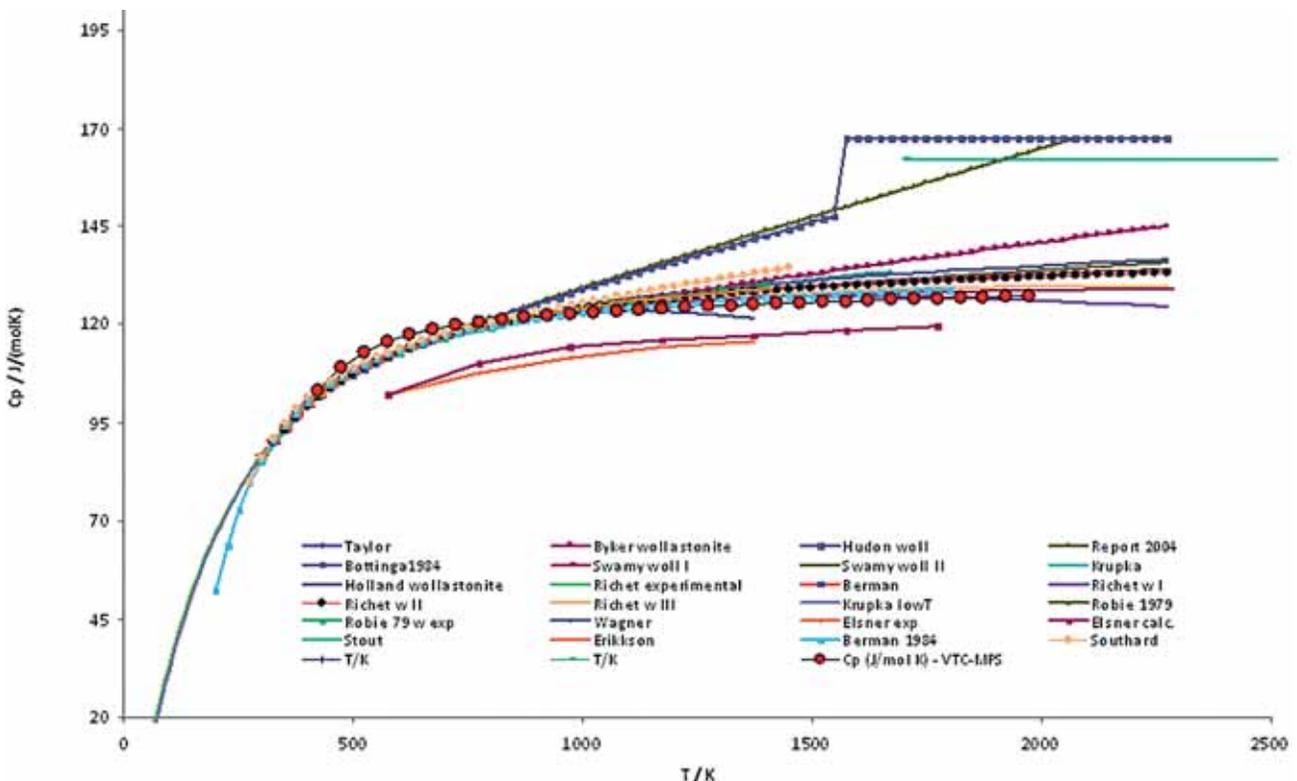


Abb. 4: Spezifische Wärmekapazität von  $\text{CaSiO}_3$  als Funktion der Temperatur

zu modellieren. Auf Grund der großen Anzahl von Komponenten der mehrphasigen Systeme bei der Erzeugung von Roheisen bzw. bei Vergasungsprozessen wird die Modellierung mithilfe der Calphad-Methode angestrebt. Ausgehend von den thermodynamischen Eigenschaften binärer Systeme kann der Stabilitätsbereich von ternären, quaternären und größeren mehrphasigen Systemen abgeleitet werden. Das Hauptziel ist die Reduzierung der Anzahl von Versuchen, die zeit-, kosten- und materialaufwändig sind.

Die Gruppe „Multiphasige Stoffsysteme“ wird sich zunächst auf experimentelle Messungen thermodynamischer und thermophysikalischer Eigenschaften von Hauptstoffsystemen, wie z. B. Schlacke aus  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}_x$ , sowie auf Verunreinigungs-komponenten, wie z. B. Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), unter Partialoxidationsbedingungen konzentrieren, um eine konsistente Stoffdatenbank herzustellen. Ausführliche Literaturrecherchen zeigen deutlich, dass zwar experimentelle Daten zur Verfügung stehen, diese jedoch häufig voneinander abweichen. In Abb. 4 sind die im Rahmen des Projektes mittels kalorimetrischer Technik durchgeführten Messungen (rote Punkte) der spezifischen Wärmekapazität von Calciumsilikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) im Vergleich zu Literaturdaten dargestellt. Die Komponente  $\text{CaSiO}_3$  (Wollastonit) gehört zu den zentralen Bestandteilen in Schlackesystemen bei Hochtemperatur-Konversionsprozessen. Die in Abb. 4 gezeigten Abweichungen zwischen Literaturdaten und eigenen Messungen zeigen deutlich die Notwendigkeit der Durchführung weiterer Versuche zur Bestimmung der temperaturabhängigen spezifischen Wärmekapazität, siehe z. B. Gleichung 1 für  $\text{CaSiO}_3$ .

$$C_p(T) = 140,73 - 1287,15 \cdot T^{-0,5} - 5,23 \cdot 10^6 \cdot T^{-2} + 1,345 \cdot 10^8 \cdot T^{-3} \quad (1)$$

Diese Daten werden in Rechenprogrammen wie ThermoCalc oder FactSage als Grunddaten verwendet, um die Gibbs-Energie (Gleichung 2) der Phase zu berechnen. Die G-Funktion stellt den Eckpunkt des Optimierungsschritts von Phasendiagrammen mehrkomponentiger und multiphasiger Stoffsysteme dar, um die Vorhersage der Stabilität komplexer Stoffsysteme realer Hochtemperatur-Stoffwandlungsprozesse zu ermöglichen.

$$G^0(T) = \Delta H_{298,15\text{K}}^\circ - T \cdot \Delta S_{298,15\text{K}}^\circ + \int_{298,15\text{K}}^T C_p(T) \cdot dT - T \cdot \int_{298,15\text{K}}^T \frac{C_p(T)}{T} \cdot dT \quad (2)$$

**Grenzflächenphänomene**  
**Leitung: Dr. Petr Nikrityuk**

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele der Nachwuchsforschungsgruppe „Grenzflächenphänomene“ konzentrieren sich auf die interdisziplinäre Analyse und eine mathematisch-naturwissenschaftlich fundierte Beschreibung der Stoff-, Impuls- und Energietransportprozesse durch Grenzschichten unter Berücksichtigung von Oberflächenreaktionen und der damit verbundenen Veränderungen der Phasengrenzfläche bzw. der Porenstruktur. Ziel des Projekts ist die Entwicklung von numerischen und insbesondere physikalischen Modellen, die chemisch reagierende mehrphasige Systeme einschließlich Fest-Gas, Fest-Flüssig und Flüssig-Gas beschreiben. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen numerische Simulationen mit Phäno-



Abb. 5:  
 Dr. Petr Nikrityuk

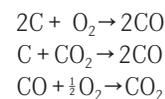
menen der Phasen-Änderung auf der Meso- und der Mikroskala verknüpft werden. In der ersten Phase des Projekts wird ausschließlich die Kohlevergasung betrachtet, deren materielle Eigenschaften ausreichend dokumentiert sind.

Die für das vorliegende Projekt wesentlichen Ansätze, die Phänomene auf der Mikroskala,  $0(10^{-6}\text{ m} - 10^{-3}\text{ m})$  bei gleichzeitiger Berücksichtigung der chemischen Reaktionen auf den Partikeloberflächen, lassen sich in zwei Richtungen beziehungsweise in zwei Module gruppieren.

Das erste Modul mit der Bezeichnung „DNS des Phasen-Änderungsproblems mit chemischen Reaktionen“ ist für die direkte numerische Simulation der Partikel-Phasen-Änderungen bei der Erzeugung von Roheisen und bei der Vergasung von Kohle/Holz auf der Mikroskala unter Berücksichtigung von chemischen Reaktionen zuständig. Dieses Modul ist verantwortlich für die Virtualisierung der realen Prozesse, die an Partikeloberflächen passieren. Das Verständnis dieser Prozesse hilft, die optimalen Parameter für die Vergasung der Partikel in den Reaktoren vorherzusagen. Außerdem werden neue mathematische und numerische Modelle für die Nachwuchsforschungsgruppe „Multiphasige Stoffsysteme“ entwickelt, um die entstehenden experimentellen Ergebnisse zu validieren und verifizieren.

Das zweite Modul mit der Bezeichnung „DNS des Grenzschicht-Änderungsproblems“ ist für die direkte numerische Modellierung (ohne zusätzliche instrumentelle Annahmen) der Grenzschichten und Widerstandskräfte von Mikropartikeln unter Berücksichtigung von Wärme- und Stoffübertragung bei chemischen Reaktionen der Kohlepartikelvergasung zuständig. Das Hauptziel dieses Moduls ist die Berechnung der Widerstands-, Wärmetransport- und Stofftransportkoeffizienten, die die Nachwuchsforschungsgruppe „Reaktionsströmungssysteme“ benutzen wird.

Beispielsweise wurde im Rahmen des zweiten Moduls „DNS des Grenzschicht-Änderungsproblems“ die direkte numerische Modellierung der Grenzschichten von Kohlepartikeln unter Berücksichtigung von Wärme und Stoffübertragung bei chemischen Reaktionen durchgeführt. Als erster Schritt - um die partielle Oxidation eines kugelförmigen Kohlepartikels in einem umgebenden Gas, bestehend aus  $\text{O}_2$  und  $\text{N}_2$ , zu simulieren - wurde die direkte numerische Lösung der Strömung, des Wärmeübergangs und der chemischen Reaktionen eingesetzt. Die Temperatur an der Partikeloberfläche wurde numerisch mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen sowie der Masse- und Energieerhaltungsgleichungen bestimmt. Dabei wurden für die Partikeloberfläche spezielle Randbedingungen postuliert. Das Modell beinhaltet vier chemische Stoffe ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ). Als erste Stufe, um das Computerprogramm gegenüber analytischen Modellen zu validieren, wurden insgesamt zwei heterogene Oberflächenreaktionen und eine homogene Gasreaktion in das Modell eingebunden, nämlich:



Zahlreiche numerische Simulationen wurden für zwei unterschiedliche Partikeldurchmesser (0,2 und 2 mm) durchgeführt, wobei die Partikel-Reynoldszahl und die Partikeloberflächentemperatur in einem Bereich von 1-20 bzw. 1000-2000 K verändert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Auslöschungstemperatur stark von der Reynoldszahl und der Ein-

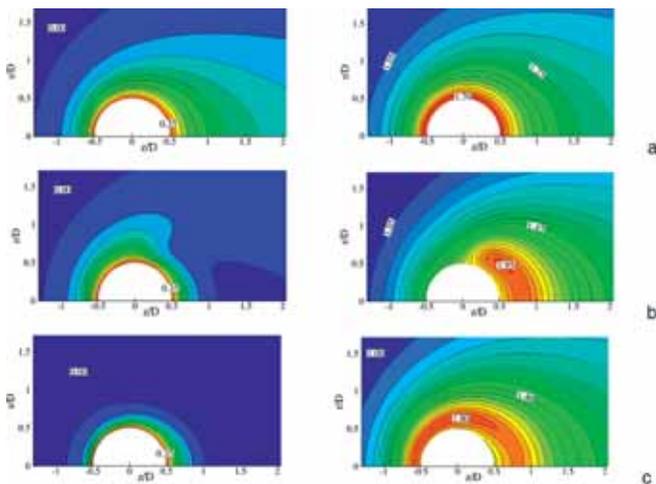


Abb. 6: Berechnete Verteilung des CO-Massenbruchs (links) und der skalierten Temperatur =  $T/T_{in}$  (rechts) für verschiedene Umgebungstemperaturen: (a) -  $T_{in} = 800$  K, (b) -  $T_{in} = 1000$  K, (c) -  $T_{in} = 1200$  K;  $Re = 5$

strömtemperatur abhängig ist. Insbesondere wurde herausgefunden, dass die Auslöschungstemperatur mit der Reynoldszahl sowie mit abnehmender Partikelgröße ansteigt. Weiterhin konnten drei grundsätzliche Zustände zur Beschreibung der  $CO_2$ -Verteilung um das Partikel bestimmt werden, siehe Abb. 6. Der erste Zustand, welchen wir „Vergasungszustand“ nennen, tritt bei niedrigen Partikeloberflächentemperaturen und hohen Reynoldszahlen auf und ist gekennzeichnet durch die Abwesenheit von  $CO_2$  um das Partikel. Der zweite Zustand ist ein Übergangszustand. Er ist durch eine hufeisenförmige  $CO_2$ -Verteilung um das Partikel charakterisiert. Der dritte Zustand ist durch eine Flammenschicht (dünne  $CO_2$ -Schicht) gekennzeichnet, die das Partikel umhüllt und in Stromabrichtung gestreckt ist. Dieser Zustand entspricht der Partikelverbrennung und tritt bei höheren Partikeloberflächentemperaturen auf.

### Reaktionsströmungssysteme

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Christian Hasse

Die Gruppe Reaktionsströmungssysteme beschäftigt sich mit den Vorgängen in der fluiden Phase (Gas, Flüssigkeit). Forschungsschwerpunkte sind die Beschreibung der Interaktion mit chemischen Reaktionen und der turbulenten Strömung und die Gesamtsimulation von Reaktoren auf Hochleistungsrechnern. Strömungen in den zu untersuchenden Reaktoren bestehen aus einer Größenkaskade von Wirbeln, wobei zwischen den größten und den kleinsten Strukturen mehrere Größenordnungen liegen. Die Abmessung der großen Wirbel hängt von den Abmessungen der Reaktoren ab, so dass sich z. B. für Vergasungsreaktoren mehrere Meter ergeben. Für die numerische Lösung der Strömungsgleichungen wird ein numerisches Gitter verwendet, wobei selbst für sehr große Gitter mit mehreren Millionen Zellen sich für die Einzelzelle eine Größe im mm-Bereich ergibt, so dass die kleinen Strukturen der Strömung nicht aufgelöst und daher modelliert werden müssen. Chemische Reaktionen laufen in dünnen Reaktionszonen ab, die unter typischen Vergasungsbedingungen im Bereich  $10^{-2}$  mm oder kleiner sind. In detaillierten Analysen konnte gezeigt werden, dass selbst die kleinsten Strömungsstrukturen größer als die Reaktionszonen



Abb. 7: Prof. Christian Hasse

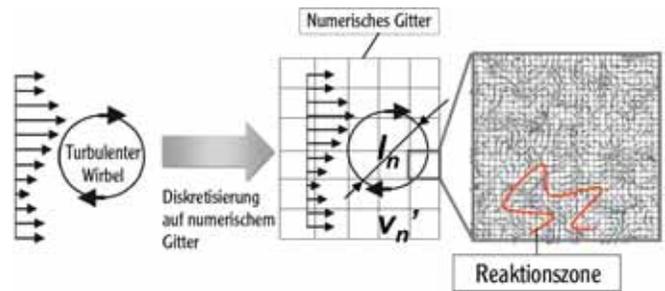


Abb. 8: Lösung der turbulenten Strömung auf einem numerischen Gitter und Vergrößerung der Strömungsstrukturen in einer Zelle, die modelliert werden müssen.

sind und daher nicht in diese eindringen können. Somit handelt es sich um ein Multi-Skalen-Problem, was für die Modellbildung genutzt werden kann.

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 8 dargestellt. Die Struktur eines turbulenten Wirbels wird auf einem numerischen Gitter gelöst, das der Auflösung in den großen Reaktoren entspricht (Mitte). Wenn man in einer einzelnen Gitterzelle hoch aufgelöst rechnen würde (rechts), ergäbe sich die Struktur rechts im Bild; die rot eingezeichnete Reaktionszone kann hier teilweise aufgelöst werden. Aufgrund der Skalentrennung zwischen der turbulenten Strömung und der Dicke der chemischen Reaktionszone kann gezeigt werden, dass die innere Struktur der Reaktionszone separat von den Strömungsstrukturen auf einem hoch aufgelösten und unabhängigen Gitter gelöst werden kann. Nach getrennter Lösung der Reaktionszone im Flamelet Code und der turbulenten Strukturen im Strömungslöser (Computational Fluid Dynamics = CFD Code) können die beiden Lösungen wieder kombiniert werden, so dass sich eine gekoppelte Lösung ergibt. Diese Vorgehensweise ist in Abb. 9 dargestellt.

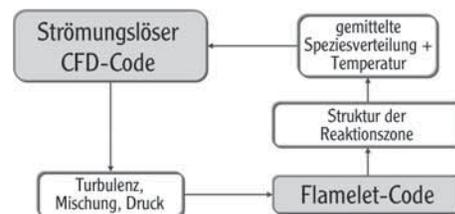


Abb. 9: Kopplung der Strömungslösung und der Lösung der Struktur der Reaktionszone im Flamelet-Code.

Der Flamelet Code erhält vom CFD Code Informationen über den Turbulenzzustand, den Mischungszustand und den Druck. Als Ergebnis wird die innere Struktur der Reaktionszone zurückgeliefert, mit der die gemittelte Zusammensetzung der fluiden Phase und die Temperatur bestimmt werden können. Dadurch ergibt sich eine effiziente Möglichkeit, eine realitätsnahe Berechnung der Strömungen unter Partialoxidationsbedingungen durchzuführen.

Weitere Forschungsthemen sind

- Modellierung der Partikelbewegungen und des Wärme- und Stofftransports in Zusammenarbeit mit der Gruppe Grenzflächenphänomene
- Reduzierung der Anzahl chemischer Reaktionsschritte
- Verwendung heterogener Oberflächenchemie (Zusammenarbeit mit beiden Gruppen)

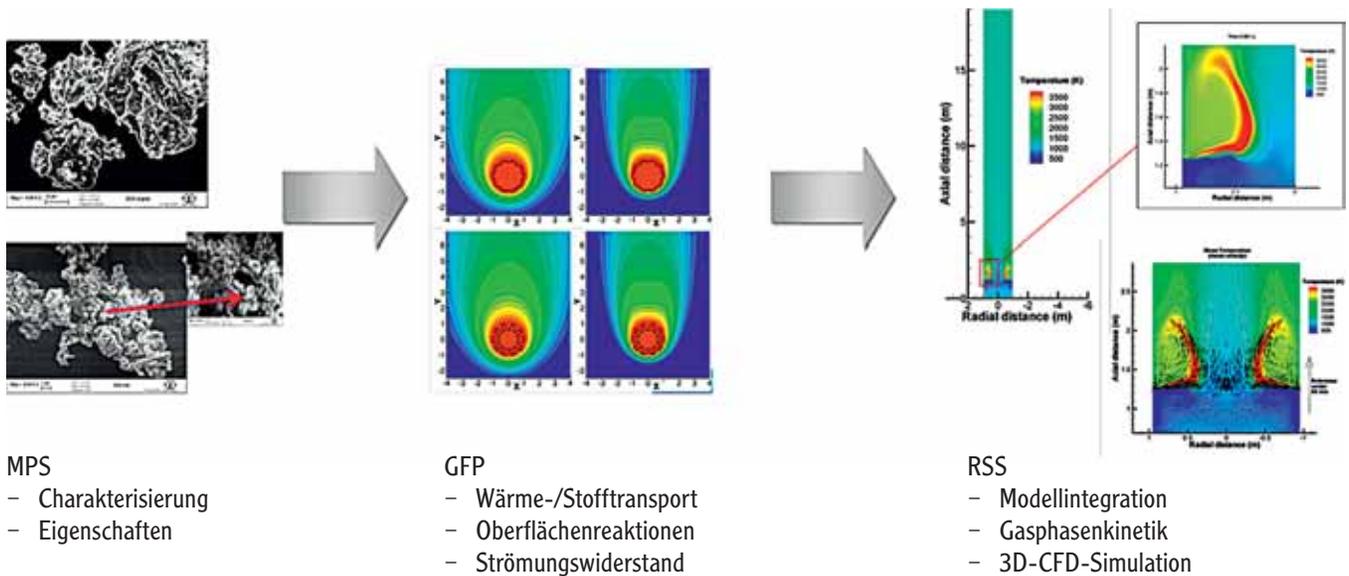


Abb. 10: Beispiel für die Zusammenarbeit der Forschungsgruppen multiphasige Stoffsysteme (MPS), Grenzflächenphänomene (GFP) und Reaktionsströmungssysteme (RSS)

### Zusammenarbeit der Forschungsgruppen

Um Prozesse erfolgreich virtualisieren zu können, müssen die Einzelergebnisse der Forschungsgruppen zusammengeführt werden. Ein Beispiel für eine solche Kette ist in *Abb. 10* zu sehen.

Als ersten Schritt charakterisiert die Gruppe Multiphasige Stoffsysteme (MPS) das Stoffsystem. In der Gruppe Grenzflächenphänomene (GFP) können diese Daten verwendet werden, um für realistische Strömungs- und Reaktionsbedingungen hochaufgelöst die Gesetze für den Wärme- und Stofftransport zu bestimmen. Diese werden in der Gruppe Reaktionsströmungssysteme (RSS) in der Modellierung und Simulation des Gesamtsystems verwendet. Durch diese Kombination der einzelnen Gruppen und deren Forschungsergebnissen wird eine Virtualisierung des Gesamtprozesses erreicht, worauf aufbauend einerseits Optimierungen durchgeführt und andererseits neue Konzepte entwickelt werden können.

### Zusammenarbeit mit den Initiativinstitutionen

Ein wesentlicher Aspekt in der Entwicklung von Modellen für die numerische Simulation ist die Validierung mit experimentellen Daten. Wie bereits erwähnt, ist die Zusammenarbeit mit den acht Initiativinstitutionen eine wesentliche Stärke von Virtuhcon, da auf die bestehende Kompetenz und die vorhandenen Daten aufgebaut werden kann. Darüber hinaus wurden Experimente konzipiert, die speziell auf die Virtuhcon-Anforderungen abgestimmt sind. Im Folgenden wird dies anhand von zwei Beispielen kurz dargestellt.

### Drallwasserkanal am Institut für Mechanik und Fluidmechanik

Die korrekte Beschreibung der Fluid-Feststoff-Wechselwirkung in partikelbeladenen Strömungen ist essenziell, um einerseits die Wärme- und Stoffübertragungsprozesse und andererseits die Partikelbewegung modellieren zu können. Für die Modellentwicklung für stark drallbehaftete turbulente Strömungen mit hohen Partikelbeladungen sind geeignete Referenzexperimente notwendig. Am Institut für Mechanik und Fluidmechanik wurde daher ein vertikaler Drallkanal mit komplett rotierender Messstrecke aufgebaut (*Abb. 11*), wodurch

sich eine Axialströmung mit überlagerter Festkörperrotation ergibt. Unter diesen definierten Strömungsrandbedingungen können Partikel und Strömungsfuktuationen entlang von Feststoffbahnlinien durch ein sich mit der mittleren Strömungsgeschwindigkeit bewegendes Kamerasystem verfolgt werden.



Abb. 11: Drallwasserkanal

## Fallstromreaktor am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen

Um die Einzelmodelle für die physikalischen und chemischen Vorgänge bei der Vergasung von komplexen Brennstoffen wie z. B. Kohle validieren zu können, ist es notwendig, experimentelle Daten unter klar definierten Strömungs-, Druck- und Temperaturrandbedingungen zu verwenden. Mit dem Fallstromreaktor und entsprechenden Analysewerkzeugen für die gasförmigen und festen Produkte können verlässliche Daten zur Kinetik von heterogenen und homogenen Reaktionen unter stabilen Strömungsbedingungen gewonnen werden. Der Reaktor mit einer Gesamtanlagenhöhe von über 6 m kann bei Temperaturen von bis zu 1.600 °C und Drücken von bis zu 100 bar mit unterschiedlichen Brennstoffen wie Kohle, Biomasse oder Koks betrieben werden.

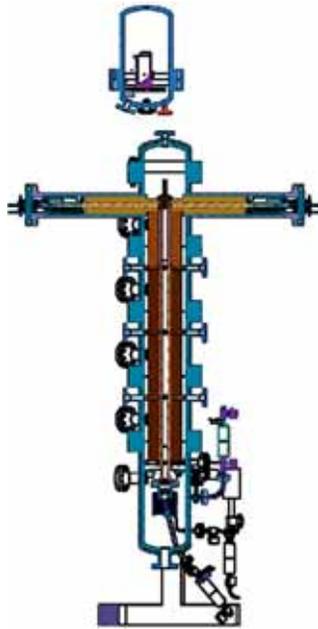


Abb. 12: Kinetische Versuchsanlage

## Zusammenfassung

Mit der Etablierung des Zentrums für Innovationskompetenz Virtuhcon wird an der TU Bergakademie Freiberg internationale Spitzenforschung im Bereich der Hochtemperatur-Konversionsprozesse mit großer Ausstrahlung auf die regionale und globale Wirtschaft konzentriert und ein attraktives Umfeld für hochtalentiertere internationale und nationale Nachwuchsforscher geschaffen.

Virtuhcon ordnet sich zentral in das ressourcentechnologisch geprägte Wissenschaftsprofil der TU Bergakademie Freiberg ein, das im Schwerpunkt auf die primären Stufen der Energie- und Stoffbereitstellung ausgerichtet und dem Prinzip der Nachhaltigkeit verbunden ist. Durch die Erarbeitung und Einführung neuer Entwicklungsstrategien für die ressourcen- und energieintensivsten Prozessstufen bei der Bereitstellung von Werk- bzw. Grundstoffen sowie wasserstoffreichen Energieträgern wird diesem Prinzip in besonderem Maße Rechnung getragen.

Die gewonnenen Erkenntnisse der drei Forschungsgruppen fließen in die Entwicklung von mathematisch-naturwissenschaftlichen Modellen als Grundlage für die Simulation von technischen Hochtemperaturkonversionsprozessen ein. Die damit mögliche Virtualisierung von realen Prozessen kann sowohl zur Optimierung als auch zur effizienten Entwicklung neuer Technologien anhand virtueller Prototypprozesse verwendet werden.

# CO<sub>2</sub>-Speicherung Untertage

Hans-Jürgen Kretzschmar, Volker Köckritz

## 1 Einleitung

Die Welt deckt ihren steigenden Energiebedarf gegenwärtig zu 80 bis 90 % aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas; in Deutschland sind es 79 %. Die Stromerzeugung basiert in der Welt zu 70–80 %, in Deutschland zu 60 % auf fossilen Energien. Auch wenn die regenerativen Energien „Wind“ und „Solar“ politisch stark gefördert – subventioniert – werden, bleibt die Verbrennung fossiler Energieträger noch viele Jahrzehnte eine wesentliche Energieerzeugung. Damit sind auch weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre vorgegeben.

Diese Emissionen werden – allerdings nicht unumstritten – als eine Ursache der Erderwärmung angesehen.

Gegenwärtig liegt der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft bei 380 ppm, gewachsen von einem Wert von 280 ppm aus dem vorindustriellen Zeitalter. Modellprognosen lassen für das Jahr 2100 einen CO<sub>2</sub>-Wert von 700 ppm errechnen. Die Welt-Klimapolitik versucht, die Erderwärmung auf den Maximalwert von +2 °C zu begrenzen mit dem Ziel, im Jahr 2050 die CO<sub>2</sub>-Emissionen halbiert zu haben im Vergleich zu 1990. Weil weder die Ener-

gieerzeugung weltweit zu reduzieren ist, noch die regenerativen Energien weltweit den Bedarf decken können, sind Technologien der CO<sub>2</sub>-Abtrennung mit anschließender Speicherung in der Geosphäre zu entwickeln. Deshalb werden intensive Forschungen und Entwicklun-

gen zu CCS-Technologien (Carbon Capture and Storage) angestellt.

## 2 CO<sub>2</sub>-UGS-Projekte (Überblick)

Die Untergrundspeicherung (UGS) von CO<sub>2</sub> wird in 15 Projekten weltweit betrieben, meist versuchsweise, in Einzelfällen aber auch schon industriell, wie Abb. 1 illustriert.

Das erste Projekt wurde 1996 in Norwegen gestartet. Die meisten Projekte begannen ab 2003/2004 mit den Injek-



Abb. 1: Projekte zur Untergrundspeicherung von CO<sub>2</sub>. 1 – Gorgon 2010 (Aquifer); 2 – Carson 2011 (Ölfeld); 3 – Sleipner/N 1996 (Aquifer); 4 – Weyburn 2000 (Ölfeld); 5 – In Salah/ALG 2004 (Gasfeld); 6 – K12B/NL 2004 (Gasfeld); 7 – Snöhvit/N 2008 (Gasfeld); 8 – Otway Basin 2008 (Aquifer); 9 – Salzwedel/D 2010 (Gasfeld); 10 – Ketzin/D 2008 (Aquifer); 11 – Minami/I 2003 (Aquifer); 12 – Deccan/IN 2011 (Basalt); 13 – Frio 2004 (Aquifer); 14 – Kattowitz/PL 2004 (Kohleflöz); 15 – Quinshui Basin/CH 2003 (Kohleflöz) (Bildquelle: GFZ)

tionsvorbereitungen. Sechs Fälle (40 %) speichern CO<sub>2</sub> in salinen Aquiferstrukturen, vier Fälle (27 %) nutzen erschöpfte Gasfelder als UGS nach, in zwei Ölfeldern (13 %) wird CO<sub>2</sub> als Treibgas zur zusätzlichen Ölausbeute genutzt, in zwei Fällen (13 %) dienen tiefe Steinkohlenflöze als CO<sub>2</sub>-UGS bei gleichzeitiger Methangasgewinnung aus der Kohle (Gasaustausch), nur in einem Fall wird die CO<sub>2</sub>-Bindung im Basalt versucht. Alle beteiligten Länder werden in diesem Jahrzehnt insgesamt etwa 15 Mrd. USD zur Entwicklung und Demonstration von CO<sub>2</sub>-UGS-Anlagen ausgeben.

Auch in Deutschland sind seit einigen Jahren zahlreiche F/E-Projekte zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in Bearbeitung, an denen sich 34 Institutionen beteiligen, wie Abb. 2 zeigt. Aus Freiberg sind die TU Bergakademie und DBI-Gastechnologisches Institut in diesem Forschungspool vertreten. In Deutschland werden zwei Entwicklungsanlagen der CO<sub>2</sub>-UGS betrieben: Ketzin (Nr. 10 in Abb. 1) als Aquiferstruktur und Altmark-Salzwedel als erschöpftes Gasfeld (Nr. 9 in Abb. 1).

Die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen betragen im Mittel 850 Mio. t pro Jahr mit Schwankungen zwischen 800 bis 900 Mio. t/a, abhängig von den wirtschaftlichen (Krisen) und klimatischen (Winter) Bedingungen. Das sind 3,5 % an den Weltmissionen, die bei 24 Gt/a liegen. Die deutschen Emissionen gliedern sich in die Gruppen auf:

- Industrie: 50 %, darunter Kraftwerke mit 33 %
- Haushalte, Büros: 25 %
- Verkehr: 25 %.

Während die beiden letzten Gruppen eine sehr disperse CO<sub>2</sub>-Emissionsstruktur aufweisen, also im Einzelnen nur schwierig für eine wirtschaftliche CCS-Technologie erreichbar wären, stellen die Industrie und darunter die Kraftwerke starke CO<sub>2</sub>-Punktquellen dar, die zuerst für den Einsatz von CCS-Technologien in Frage kommen. Deshalb sind die Entwicklungen zum CO<sub>2</sub>-armen Kraftwerk am weitesten fortgeschritten. Am Braunkohlenkraftwerk „Schwarze Pumpe“ betreibt Vattenfall die erste Pilotanlage (30 MW) eines solchen Kraftwerkes mit der Oxyfuel-Technologie. Abb. 3 gibt einen Überblick zu den Kraftwerks-Punktquellen und den potenziellen Speicherarealen in Deutschland. Beispielsweise liegen die Kraftwerke der Niederlausitz oder in Rhein-Ruhr relativ benachbart zu den norddeutschen Speichergebieten. Al-

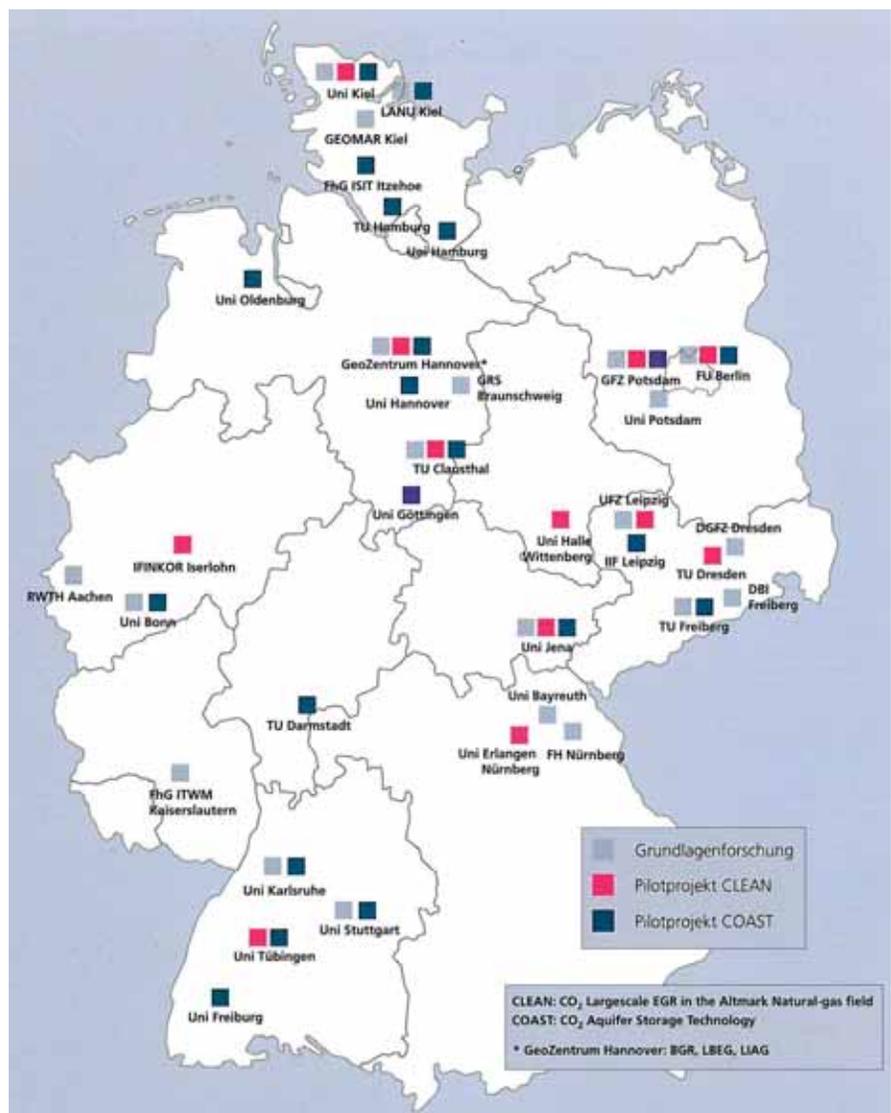


Abb. 2: Deutsche F/E-Orte für CO<sub>2</sub>-UGS im Mai 2009 (Quelle: GFZ)

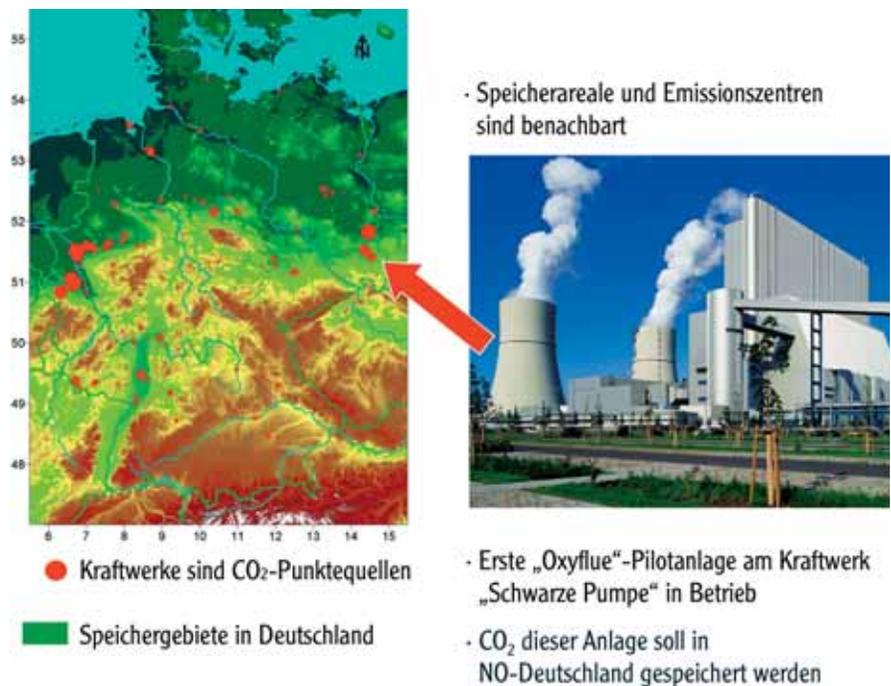


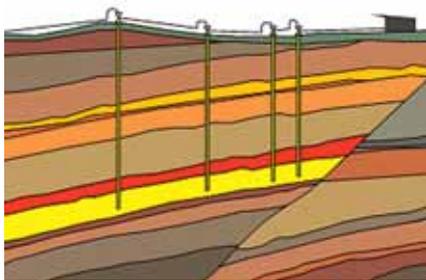
Abb. 3: CO<sub>2</sub>-Speichergebiete und Kraftwerkslokationen in Deutschland

lerdings verbleiben CO<sub>2</sub>-Transportwege von 200–400 km, die seit langer Zeit in den USA per Hochdruck-Gasleitungen problemlos betrieben werden.

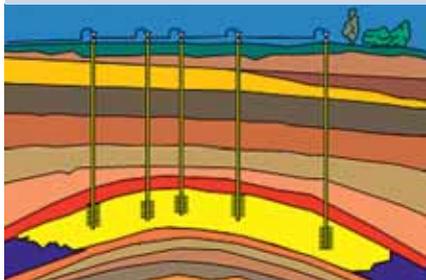
### 3 Geologische Speichertypen

Abb. 4 stellt die drei Typen einer CO<sub>2</sub>-UGS dar, wie sie sich potenziell anbieten. Sie sind in ihrer geologischen Struktur sämtlich Porenraumspeicher.

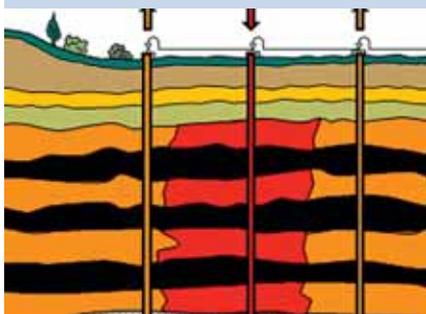
Hohlraum-Speicher wie stillgelegte Bergwerke und Salz- oder Felskavernen sind entweder zu klein im Volumen und damit zu hoch in den spezifischen Speicherkosten, oder nicht dicht im Deckgebirge und somit nicht druckbelastbar. Nur integere Deckgebirge mit hoher Druckbelastbarkeit bis weit über die initialen,



**Erschöpfte Gas/Öl-Felder**  
 – Speicherkapazität ist bekannt  
 – Geologische Dichtigkeit gegeben, Altbohrungen problematisch  
 – Zusätzliche Gas/Öl-Förderung möglich



**Saline Aquiferstrukturen**  
 – Strukturen verbreitet, aber erkundungsaufwändig  
 – Geologische Dichtigkeit nicht überall gegeben



**Nicht-abbaubare Kohlenflöze**  
 – Nur tiefe, geringpermeable Kohlenflöze, begrenzt nutzbar  
 – Zusätzliche Gasförderung möglich

Abb. 4: Geologische CO<sub>2</sub>-Speichertypen

meist hydrostatischen Druckgradienten können ein großes und wirtschaftliches Speichervolumen in den darunterliegenden Speicherschichten als langzeitiges CO<sub>2</sub>-Reservoir bieten. Hierbei werden die Kenntnisse und Erfahrungen aus 50 Jahren Erdgas-UGS nutzbar, die heute unverzichtbarer Bestandteil einer sicheren Erdgasversorgung auch über Entfernungen bis zu 5000 km zwischen Erdgasquellen und Gasverbrauchern sind.

Der Speichertyp Gas/Öl-Feld ist der am besten bekannte bzw. erkundete CO<sub>2</sub>-UGS; Speicherkapazität und Deckgebirge (Dichtheit) sind bekannt, somit ist das Speichervolumen leicht berechenbar. Die Injektion von CO<sub>2</sub> an einer Feldesstelle kann auch die Gas- oder Ölförderung an anderen Feldesstellen erhöhen, weil Gas oder Öl durch CO<sub>2</sub> ausgeflutet werden, somit die Ausbeute gesteigert wird. Problematisch kann die Undichtheit teilweise bereits verfüllter Altbohrungen werden, wenn diese hohem CO<sub>2</sub>-Druck nicht standhalten. Mit kostensteigernden Bohrungsreparaturen kann hier jedoch technisch reagiert werden, ohne die Speichereignung zu gefährden. Allerdings bleibt dieser Speichertyp in seinem Gesamtvolumen limitiert, weil (bisher) noch nicht beliebig viele erschöpfte Gas/Öl-Lagerstätten in der Welt existieren.

Die salinaren Aquiferstrukturen sind vermutete tiefe, im Unterschied zu flachen Grundwasserleitern deshalb salzwasserführende Kuppelstrukturen, die bisher nicht mit Erdgas geologisch gefüllt wurden – in die sich aber CO<sub>2</sub> einpressen lässt, das dort auch fallenartig gefangen bleibt, ohne im geologischen Untergrund vagabundieren zu können. Damit deutet sich aber auch das Risiko bei der

Findung geeigneter Speicherstrukturen und im Erkundungsaufwand an. In der Erdgas-UGS war dieser Speichertyp der erste vor 50 Jahren, wird jedoch aus Wirtschaftlichkeitsgründen immer weniger genutzt. Sein Vorteil ist, dass er „überall“ im geologischen Sedimentgebiet auftreten kann, aber aufwändig und risikobehaftet in den Zielen „Speichervolumen, Speicherdichtheit und laterale Wasserdruckerhöhung“ erkundet werden muss.

Nicht abbaubare Kohleflöze als ein eher exotischer Speichertyp existieren in europäischen Teufen unter 1500 m, weil darüber der konventionelle Tiefbau erfolgt. Beispielsweise taucht die Steinkohle des Ruhrgebiets bis zu 5 km tief unter die Nordsee, um dann in England wieder flacher und damit abbauwürdig zu werden. Aber solch tiefe CO<sub>2</sub>-Bohrungen sind teuer und die Kohle dort geringpermeabel, so dass die Injektionsfähigkeit für CO<sub>2</sub> und damit das Speichervolumen begrenzt bleiben. Die Wirtschaftlichkeit dieses Speichertyps kann verbessert werden, wenn das ausgetriebene Methan (Grubengas) simultan energetisch genutzt wird. Auch hier findet eine Gasverdrängung in der Kohle, CO<sub>2</sub> gegen CH<sub>4</sub>, unter hohem Druck statt.

### 4 Thermodynamische Vorgänge bei der Einspeicherung und während der Langzeitlagerung

#### 4.1 Phasendiagramm von reinem CO<sub>2</sub>

In Abb. 5 ist das Phasendiagramm für reines CO<sub>2</sub> dargestellt. Für die CO<sub>2</sub>-Speicherung sind nur der Gas-, der Flüssigkeits- und der überkritische Bereich von Bedeutung. Die Phasengrenzkurve gasförmig-flüssig endet im kritischen Punkt

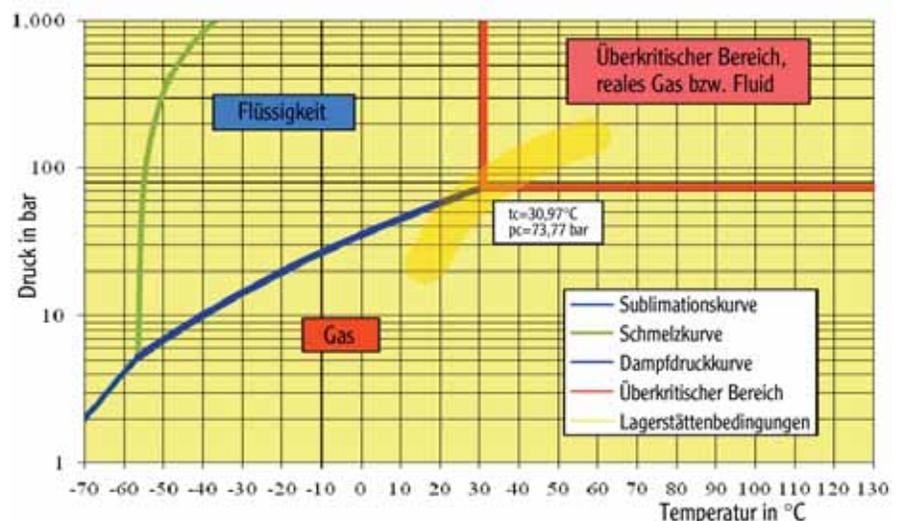


Abb. 5: Phasendiagramm von CO<sub>2</sub> mit Lagerstättenbedingungen (Aquifer)

mit  $p_c = 73,77 \text{ bar}$  und  $T_c = 30,97 \text{ °C}$ . Oberhalb der kritischen Temperatur ist ein Phasenwechsel nicht mehr möglich. Der überkritische Zustand mit  $p > p_c$  und  $T > T_c$  wird durch das Realgasverhalten des Fluids charakterisiert. Zur Verdeutlichung der Zustände im Speicherbereich (Reservoir) wurden Lagerstättenbedingungen (Aquiferspeicher in Deutschland im Teufenbereich 600–1500 m) eingearbeitet. Es kann festgestellt werden, dass unter Reservoirbedingungen je nach Teufenlage ( $p, T$ -Bedingungen) gasförmiges oder überkritisches  $\text{CO}_2$  vorliegen wird. Die Grenze für die gasförmige Lagerung liegt unter Annahme der o. g. Druck- und Temperaturgradienten im Teufenbereich bei ca. 650–750 m, da die auftretenden Lagerstättendrücke bis zu dieser Teufe unterhalb der Sättigungslinie von  $\text{CO}_2$  liegen. Aus diesem Grund ist auch eine Injektion von flüssigem  $\text{CO}_2$  unterhalb von ca. 700 m nicht zu empfehlen, da bei einer Injektion mit Temperaturen unter  $30 \text{ °C}$  sowohl im Bohrloch als auch im Speichergestein ein Übergang über die Phasengrenze, d. h. lokale Verdampfung vonstatten gehen wird. Damit werden die Druck- und Temperaturentwicklungen im Bohrloch schwer steuer- und interpretierbar.

#### 4.2 Druck- und Temperaturbedingungen in der Speicherbohrung

Die Zustandsänderungen, die sich bei der  $\text{CO}_2$ -Injektion beispielhaft in einer Bohrung mit einer Teufe von 1200 m ergeben, sind im nachfolgenden Phasendiagramm, *Abb. 6*, dargestellt. Zusätzlich dazu wurde der Hydratbildungsbereich eingezeichnet.  $\text{CO}_2$  geht bei hohem Druck und niedrigen Temperaturen mit Wasser eine physikalische Verbindung ein, die zur Ausbildung von eisähnlichen Kristallen führt. Diese können zu Verstopfungen in der Injektionsbohrung und im Speicherbereich führen. Die Berechnungen erfolgen mit  $p, T$ -Berechnungsprogrammen auf Basis der Stoff- und Wärmetransportvorgänge in der Bohrung und dem umgebenden Gebirge unter Einbeziehung der Zustandsgleichung nach Peng-Robinson. Aus *Abb. 6* wird ersichtlich, dass bei der Injektion für den gewählten Fall das potenzielle Hydratbildungsgebiet nicht durchfahren wird. Da das flüssige  $\text{CO}_2$  jedoch für den Pipelinetransport zur Vermeidung von Korrosion und Hydratbildung unbedingt getrocknet werden muss, ist eine Hydratbildung im Steigrohr bei der Injektion nicht möglich.

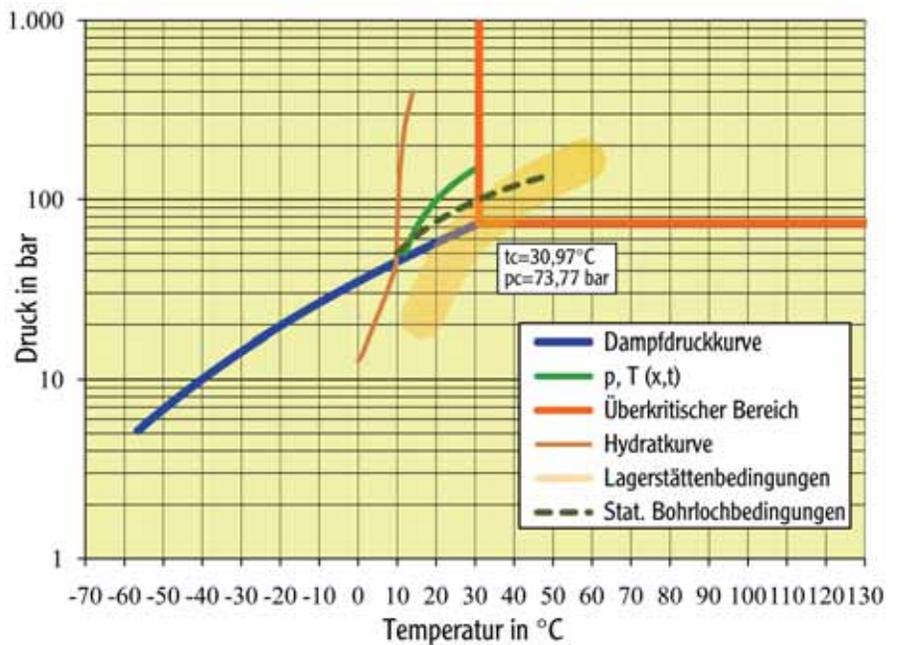


Abb. 6: Zustandsänderungen von  $\text{CO}_2$  in Bohrung (grüne Linie) bei der Injektion (flüssig, Injektionsdruck 50 bar, Injektionstemperatur  $12 \text{ °C}$ ) und während der Stillstandsphase (gestrichelte grüne Linie), dargestellt im Phasendiagramm mit der Gleichgewichtskurve für  $\text{CO}_2$ -Wasser-Hydrat.

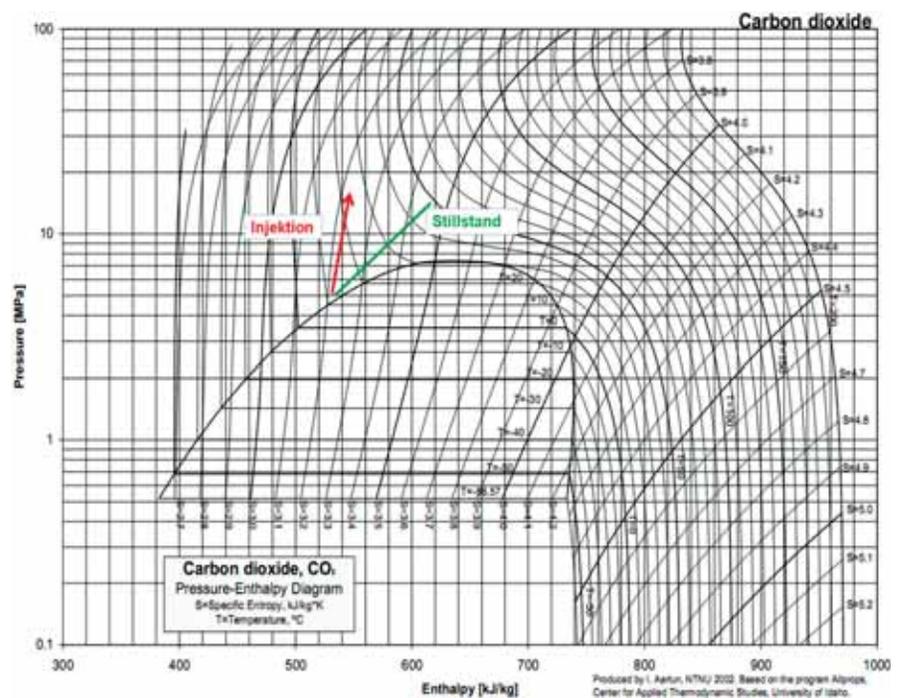


Abb. 7: Druck-Enthalpie-Diagramm für  $\text{CO}_2$  mit den Zustandsänderungen für Injektion und Stillstand, entsprechend dem gewählten Beispiel

Das  $\text{CO}_2$  tritt an der Bohrlochsohle in diesen Fall mit ca.  $30 \text{ °C}$  bei einem Druck von ca. 147 bar aus den Steigrohren aus. Entsprechend den Reservoirbedingungen (Injektivitätsindex) wird das  $\text{CO}_2$  im Speichergestein in Abhängigkeit von der Injektionsrate die Gesteinstemperatur mehr oder weniger schnell annehmen und sich gleichzeitig in der bohrungsnahen Zone auf den Lagerstättendruck, z. B.  $p_L = 135 \text{ bar}$ , entspannen.

*Abb. 7* zeigt die Zustandsänderung für die Injektions- und für die Stillstandsphase im log  $p, h$ -Diagramm. Es ist erkennbar, dass es zu keinem Phasenwechsel im Bohrloch kommt.

#### 4.3 Zusammenfassende Bemerkungen zu den thermodynamischen Vorgängen

Die bei der Speichererkundung gewonnenen Parameter, wie Injektivitätsindex, maximale Injektionsrate, Fracgradient,

maximaler Injektionsdruck, statische Temperatur im Speicher und maximal zulässiger Speicherdruck bestimmen im Wesentlichen die Betriebsparameter bei der Injektion von CO<sub>2</sub>. Im Phasendiagramm und im log p,h-Diagramm sind die Lagerstättenbedingungen zur Entscheidungsfindung für die Flüssigkeits- oder die Gasinjektion darstellbar.

Die Zustandsänderungen im Bohrloch und im Speicherbereich bei der Injektion von CO<sub>2</sub> sind für konkrete Fälle mit vorliegenden Programmsystemen berechenbar. Auf Grund der stark druck- und temperaturabhängigen Eigenschaften des CO<sub>2</sub> sind getrennte Betrachtungen bzw. Berechnungen für die Injektion von flüssigem bzw. gasförmigem CO<sub>2</sub> notwendig.

Die Druck- und insbesondere die Temperaturentwicklung in der Bohrung werden im Wesentlichen durch die Injektionsrate, die Injektionstemperatur und die Injektionszeit bestimmt. Der Einfluss der Bohrlochkomplettierung und der Temperaturleitfähigkeit des Gesteins ( $\lambda/(\rho \cdot c)$ ) verringert sich mit zunehmender Injektionsrate.

Im Teufenbereich bis ca. 750 m ist eine gasförmige Injektion und Speicherung möglich. Für größere Teufen kann eine gasförmige Injektion nur bei stark abgesenkten Lagerstättendrücken, wie z. B. in einer erschöpften Gaslagerstätte, realisiert werden.

In größeren Teufen ist bei den auftretenden Druck- und Temperaturgradienten eine Flüssiginjektion erforderlich und sinnvoll. Das CO<sub>2</sub> geht während der Injektion vom flüssigen in den überkritischen Zustand ohne Phasenwechsel über.

Wegen der Notwendigkeit der Trocknung des Gases vor dem Transport ist eine Hydratbildung in den Steigrohren bei der Injektion nahezu ausgeschlossen. Es kann jedoch nach längeren Stillstandszeiten durch die Konvektion des Fluids in den Steigrohren ein Wasserdampftransport nach oben vonstatten gehen und damit eine Hydratbildung ausgelöst werden.

Die Software zur Thermodynamik dieser Prozesse ist in Freiberg entwickelt worden und wird nun gemeinsam von der TU Bergakademie und dem DBI in den Feldprojekten angewendet.

## 5 CO<sub>2</sub>-Speicherkapazitäten

Die Frage nach den weltweiten CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzialen soll orientierungsmäßig mit *Tab. 1* beantwortet werden.

Tab. 1: CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale Welt und Deutschland

Speichertyp	Speicherkapazität [Gt CO <sub>2</sub> ]	
	Deutschland	Welt
Gasfelder	2,8	920
Aquifere	12,0	10.000
Kohleflöze	3,5	40
Summe	18,3	10.960
Reichweite [a]	40 Industrie- 65 Kraftwerks-	450 Gesamt- Emissionen

Die Speicherkapazitäts-Zahlen stammen aus Einschätzungen der BGR (Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe Hannover). Sie zeigen, dass der Speichertyp mit dem höchsten Risiko, die saline Aquiferstruktur, die Majorität an Speicherkapazität stellt. Damit tritt natürlich eine relativ hohe Unsicherheit in die gegenwärtigen Kapazitätsbetrachtungen ein, wie sie auch die starke Schwankungsbreite für Deutschland ausweist, das geologisch vergleichsweise hocherkundet ist. Neben dem geologischen Erkundungs- und Auffundungsrisiko solcher Aquiferstrukturen verbleibt ein bisher weithin unbekanntes Risiko der arealen Druckausweitungen im Untergrund infolge großer und benachbarter CO<sub>2</sub>-UGS. Die Erfahrungen aus der Erdgas-Aquifer-UGS sind nur unsicher extrapolierbar, weil das Erdgas-Speichervolumen vergleichsweise klein bleibt.

Wenn die Zahlen der Speicherkapazitäten mit den CO<sub>2</sub>-Emissionszahlen ins Verhältnis gesetzt werden, folgt daraus die Reichweite der CO<sub>2</sub>-UGS in Jahren gemäß *Tab. 1*. Die deutschen Speicherkapazitäten sind zeitlich begrenzt. Sie reichen etwa ein Jahrhundert allein für die Kraftwerksemissionen, dann wären alle CO<sub>2</sub>-UGS voll. Weltweit gilt das für mehr

als ein Jahrtausend für die Kraftwerke, für maximal ein halbes Jahrtausend für die Gesamtemissionen. Also ist die CO<sub>2</sub>-UGS-Kapazität geologisch begrenzt und kann nur für eine Phase des Übergangs von den fossilen zu nichtfossilen Energieträgern genutzt werden.

## 6 Beispiele CO<sub>2</sub>-UGS

### 6.1 Aquifer Sleipner in der Norwegischen Nordsee

Das älteste CO<sub>2</sub>-UGS-Projekt zeigt die *Abb. 8*. Die Öl- und Gasförderung aus 2,5 km Tiefe enthält 9 % CO<sub>2</sub> im Gas. Damit ist dieses nicht in das europäische Gasnetz einspeisbar, weil dort der Grenzwert bei 2 % CO<sub>2</sub> festliegt. Das CO<sub>2</sub> aus der Gaswäsche auf der Förderplattform wird dort nicht in die Atmosphäre abgelassen, sondern direkt wieder in eine 1 km tiefe Aquiferstruktur über eine Horizontalbohrung eingepresst, in der bisher ca. 15 Mio. t CO<sub>2</sub> akkumuliert sind. Diese CO<sub>2</sub>-Speicherung vermeidet die Zahlung der in Norwegen bestehenden CO<sub>2</sub>-Steuer und trägt damit zur Wirtschaftlichkeit der Öl/Gas-Förderung bei.

Ein vergleichbares, aber weit größer volumiges Projekt hat Norwegen jetzt in seinem Gasfeld „Snöhvit“ im Nordmeer gestartet.

### 6.2 Gasfeld In-Salah in der Algerischen Sahara

*Abb. 9* schematisiert dieses CO<sub>2</sub>-UGS-Projekt. Analog zu Sleipner enthält auch hier das Erdgas 10 % CO<sub>2</sub> und muss vor Einleitung in das europäische Gasnetz über eine Mittelmeerleitung gereinigt werden. Das anfallende CO<sub>2</sub> wird über drei Injektionsbohrungen am Lagerstätt-

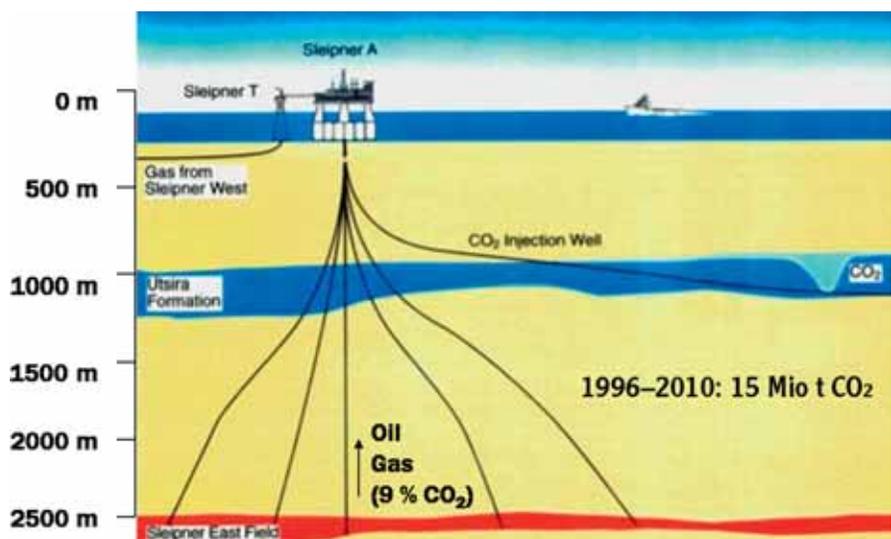


Abb. 8: CO<sub>2</sub>-Injektion im Sleipner-Gasfeld (Aquifer)

tenrand in das die Gasblase umgebende Wasser gepresst. Damit wird neben der CO<sub>2</sub>-Speicherung gleichzeitig der Druckabfall in der Gasblase gebremst. Somit werden die Gasförderbedingungen verbessert. Bisher sind 7 Mio. t CO<sub>2</sub> im Randwasser eingespeichert. Das Projekt kann als das erste in einem *onshore*-Gasfeld, in der Sahara ohne Bürger-Protestszene, bezeichnet werden.

### 6.3 RECOPOL im Oberschlesischen Steinkohlenflöz

Das Speicherschema (siehe Abb. 10) zeigt das bisher einzige EU-Forschungsprojekt in der Steinkohle. Freiburger Forscher und Ingenieure haben dieses Projekt intensiv begleitet.

Über eine Injektionsbohrung wurde technisches CO<sub>2</sub>, insgesamt fast 1000 t CO<sub>2</sub>, mit Drücken bis 300 bar in das Flöz eingepresst. Aus einer 150 m entfernten Förderbohrung wurde Methangas infolge der Verdrängung durch CO<sub>2</sub> gewonnen. Diese CO<sub>2</sub>-Speichertechnologie und CBM-Gewinnung (Coal Bed Methane) wurde über ein Jahr demonstriert und als prinzipiell durchführbar nachgewiesen.

Allerdings waren die CO<sub>2</sub>-Injektionsraten infolge der geringen Kohlerpermeabilität niedrig. Künftig sind injektivitätssteigernde Methoden (Frac, Horizontalbohrungen) in dem Kohlenflöz anzuwenden.

### 6.4 Aquifer Ketzin westlich Berlins

Seit 1960 ist die Aquiferstruktur Ketzin ein Speicherfeld. In 250 m Tiefe wurde bis 2000 Erdgas gespeichert und das Feld danach stillgelegt. Seit 2008 wird in der Tiefe von 700 m technisches CO<sub>2</sub>, bisher ca. 20.000 t, als Forschungsprojekt gespeichert. Auch hier sind Freiburger Forscher beteiligt. Das UGS-Schema zeigt Abb. 11. Über eine Injektionsbohrung verläuft die Einspeicherung, zwei benachbarte Beobachtungsbohrungen dienen dem CO<sub>2</sub>-Monitoring in der Speicherschicht und den geophysikalischen Messungen im Deckgebirge. Das Projekt gilt als erstes europäisches für einen onshore Aquifer. Künftig soll das CO<sub>2</sub> der Pilotanlage „Kraftwerk Schwarze Pumpe“ eingepresst werden, wodurch erstmalig eine geschlossene CCS-Kette für Kohlekraftwerke demonstriert würde.

## 7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Abb. 12 und Tab. 2 geben einige quantitative Orientierungen zur CCS-Technologie an. Gegenwärtig ist der Bau

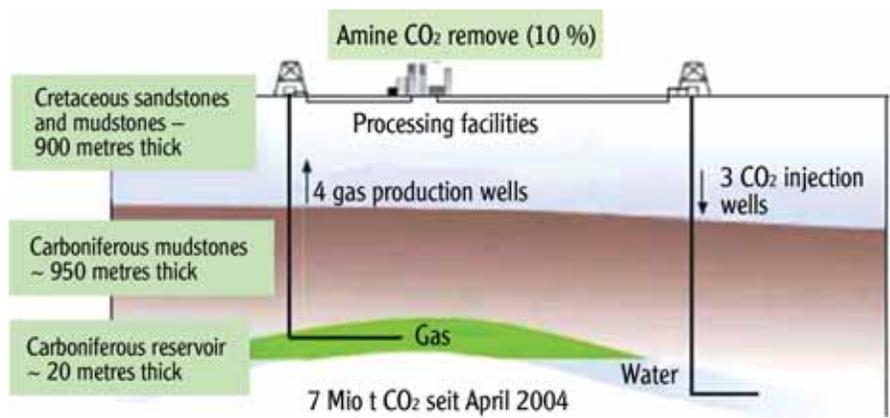


Abb. 9: Gas Field In-Salah (Algerien)



Teufenprofil der CO<sub>2</sub>-Injektionsbohrung und Methan-Förderbohrung

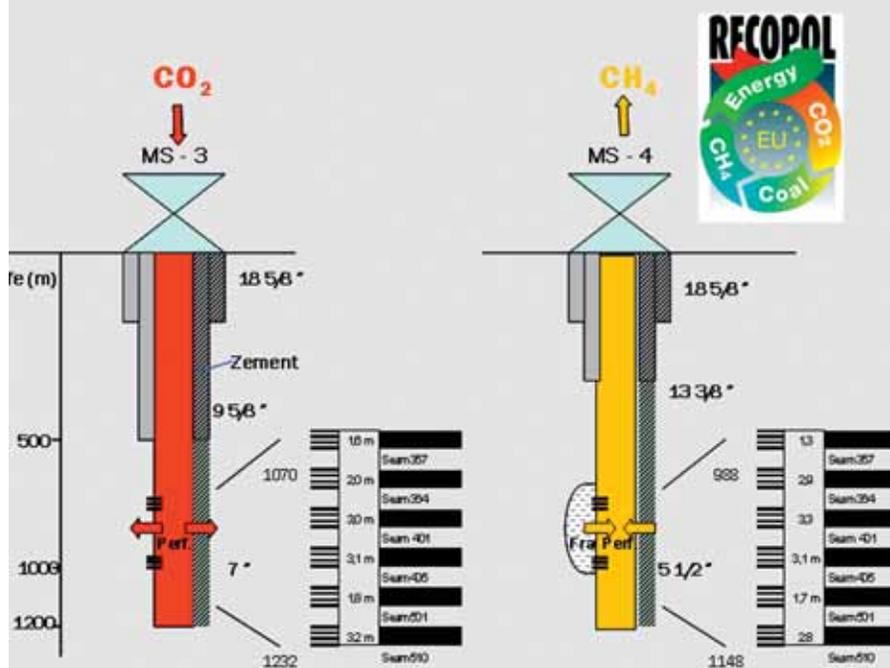


Abb. 10: RECOPOL-Projekt 2004–2008 (Re-Injektion von CO<sub>2</sub> in Polnische Steinkohlenflöze bei Kattowitz)

und Betrieb CO<sub>2</sub>-armer Kraftwerke nicht wirtschaftlich. Die bestehenden oder in Vorbereitung befindlichen Kohlen-Pilot- oder Demonstrationskraftwerke bedingen noch erhebliche Subventionen. Auch wäre den Stromverbrauchern eine plötzliche Strompreissteigerung um 50 % nicht auferlegbar.

Tab. 2: CSS-Wirtschaftlichkeit

<b>Aktueller Entwicklungsstand der CCS-Technologie 2010:</b>
– 30–40 % höhere Kraftwerksinvestitionen
– 10 % geringerer Energie-Wirkungsgrad
– 50 % höherer Strompreis
– insgesamt noch nicht wirtschaftlich
<b>Ziel (2020?): 10 % höherer Strompreis</b>
Spezifische Investkosten heute:
– CCS=90–60 €/t CO <sub>2</sub> (noch zu hoch)
– CO <sub>2</sub> -UGS =5–10 €/t CO <sub>2</sub> (schon wirtschaftlich)
<b>Juristische Definition weltweit erforderlich:</b>
CO <sub>2</sub> ist Rohstoff, kein Abfall (deshalb Speicherung, keine Deponie)

Auf der Kraftwerksseite besteht noch erheblicher Entwicklungsbedarf, um wirtschaftliche Akzeptanz und Wunschziel eines nur 10 % höheren Strompreises infolge der CCS-Technologie, neben anderen Preissteigerungen zu erreichen. Die bisherigen Entwicklungslinien zeigen Ablaufverzögerungen, so dass das Fragezeichen für das Jahr 2020 in Tab. 2 sehr dick ist.

Erst wenn die CCS-Technologie auf spezifische Investkosten von 30–40 €/t CO<sub>2</sub> gelangt, wird sie dauerhaft wirtschaftlich sein können. Der CC-Teil, also die Kraftwerke, müssen dabei ihren gegenwärtigen Kostenanteil halbieren.

Anders sieht die Wirtschaftlichkeit für den Speichersektor aus. Der technologische Stand ist soweit gediehen, dass heute CO<sub>2</sub> wirtschaftlich eingespeichert werden könnte, wenn denn das CO<sub>2</sub> aus den Kraftwerken zur Verfügung stünde. Allerdings verhindert in diesem Fall noch die juristische Lage die Betriebs-erlaubnisse. Der Bundestag hat das seit Mitte 2009 vorgelegte CCS-Gesetz noch nicht beschlossen, so dass Politiker und Behörden ihre Zustimmung zu CO<sub>2</sub>-UGS zurückhalten.

Weltweit ist auch noch nicht beschlossen, CO<sub>2</sub> als Rohstoff und nicht als Abfall zu definieren. Das C im CO<sub>2</sub> ist ein Rohstoff, wie entwickelte Chemietechnologien zu seiner Nutzung zeigen. Laufende Laborversuche schließen auch nicht aus, dass sich CO<sub>2</sub> im tiefen-heißen, bakterienführenden Porenraum-„Reaktor“ des Speichergesteins zu Brenngasqualitäten entwickeln kann. Biochemische Erfah-

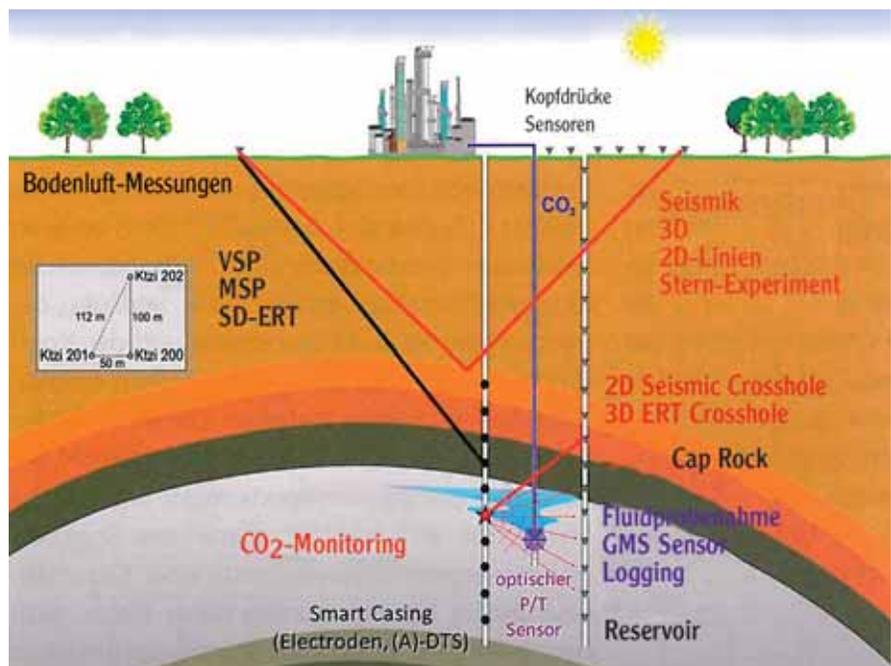
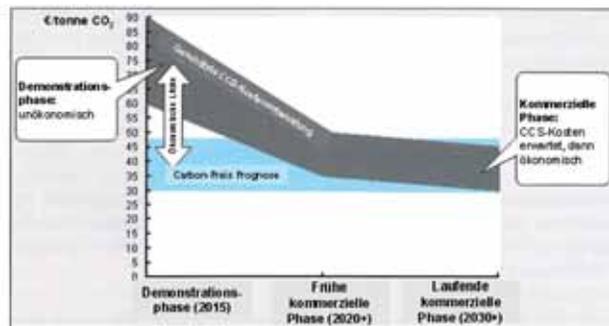


Abb. 11: CO<sub>2</sub>-Aquifer Ketzin: Schema der CO<sub>2</sub>-Injektionsbohrung und der zwei Beobachtungsbohrungen



	CCS-Kraftwerke		Invest [Mrd. €]	Kosten [€/t CO <sub>2</sub> ]	CO <sub>2</sub> -Reduzierung		
	Anlagen	[GW]			[Mio. t]	[% EU]	[% Welt]
Jahr 2015	3	1,5	4	60-90	7	0,2	≈ 0
2020	10	8	10	40-50	40	2	0,18
2030	100	80	80	30-45	400	20	1,8

F/E-Aufwand für CCS bis 2015: 15 Mrd.. EUR weltweit

Abb. 12: CCS-Wirtschaftlichkeitsprognose der EU

rungen aus der UGS von Stadtgas (Gasgemisch mit H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) belegen eine Gaskomponenten-Umwandlung.

Ohne Zusatzkosten für die Ökologie der CCS-Technologieketten wird diese aber nicht zu haben sein.

## 8 Fazit

Die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Kraftwerken mit fossilen Energieträgern, besonders von Kohlen, wird in ein bis zwei Jahrzehnten machbar werden. Dafür wird allerdings ein höherer Strompreis zu zahlen sein.

Die unterirdische Speicherung von CO<sub>2</sub> als Transfer aus der Atmosphäre in die Geosphäre lässt sich bereits heute wirtschaftlich und bergsicher durchfüh-

ren, fußend auf den langjährigen Erfahrungen der Erdgasspeicherung (chemisch ist Erdgas risikvoller als CO<sub>2</sub>). Auch die Komplettierung der Injektionsbohrungen und deren Verwahrung nach Abschluss der Injektionsphase sind nach dem derzeitigen Stand der Technik ohne Probleme realisierbar. Allerdings zeigen die unterirdischen Speicherkapazitäten, die weltweit für eine ausreichende Übergangsphase zu CO<sub>2</sub>-freien Energietechnologien zur Verfügung stehen, eine erkennbare Volumenlimitierung. Dann wäre der Aufbau eines CO<sub>2</sub>-Rücklieferungs-Gasnetzes aus den Industriezonen in die unbesiedelten Energie-Rohstoffzonen erforderlich. Diese Vision benötigt eine homogene Welt-Energiepolitik.

# Hochtemperatur-Brennstoffzellen für die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung – Aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen am Beispiel des EU-Projekts FlameSOFC

Dimosthenis Trimis, Stefan Voß, Alexandra Loukou

## Einleitung

Der Bereich der Energieversorgung befindet sich zurzeit in einer Umbruchphase. Es gibt im Moment kein klares Bild, wie zukünftige Energiesysteme aussehen und welche Strategien sich langfristig durchsetzen werden. Die Rahmenbedingungen in diesen Zeiten des Wandels werden maßgeblich durch die Notwendigkeit einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen geprägt. Hierbei geht es hauptsächlich um die verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen, um die effizientere Nutzung fossiler Energieträger, um die verstärkte Nutzung von fossilen Brennstoffen mit einem geringeren spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß (z. B. Erdgas), um die CO<sub>2</sub>-Sequestration und Speicherung (CCS) bei der Kohlenutzung sowie schließlich um die Zukunft der Kernenergie. In diesem komplexen Spannungsfeld gibt es viele neue technische Entwicklungen und konkurrierende Strategien.

Die Ausrichtung der zukünftigen Energieversorgung wird entscheidend davon beeinflusst werden, welche Technologien in dieser Umbruchphase die Marktreife am schnellsten erreichen und sich etablieren. So kann beispielsweise die technische Entwicklung von elektrisch betriebenen Wärmepumpen mit Jahresarbeitszahlen von ca. 4 bei gleichzeitig sinkendem Wärmebedarf zu einer sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht sinnvollen elektrischen Versorgung von Haushalten führen. Andererseits führt die verstärkte Nutzung regenerativer Energiequellen in der Stromerzeugung bei einem politischen gesetzten Anteilsziel bis zum Jahr 2020 von 30 % (derzeit werden in Deutschland ca. 15 % des Jahresbedarfs über regenerative Energiequellen abgedeckt, davon ist ca. die Hälfte Windenergie) zu einem starken Bedarf an Regelleistung, die zukünftig nicht mehr in sinnvoller Art und Weise über die konventionellen Pumpspeicherkraftwerke bereitgestellt werden kann.

In diesem Kontext stellen die technischen Entwicklungen in der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ein Schlüsselement dar. Einerseits ist bei der dezentralen KWK-Nutzung von ei-

nem sehr hohen primärenergetischen Wirkungsgrad auszugehen. Andererseits bietet die Masseneinführung „intelligenter“ dezentraler KWK-Einheiten die Möglichkeit einer sehr flexiblen und effizienten Bereitstellung von Regelleistung für die Stromnetze. Hierbei wird der Brennstoffzellentechnologie ein hohes Potenzial für den Bereich der Mikro-KWK zugesprochen.

Die Vorteile der Nutzung von Brennstoffzellensystemen mit Wasserstoff als Systembrennstoff sind unumstritten. Der hohe elektrische Wirkungsgrad auch bei kleinsten Leistungen sowie der hohe Gesamtwirkungsgrad sind die besten Argumente. Bei regenerativ gewonnenem Wasserstoff ist die Ökobilanz der Gesamtkette äußerst vorteilhaft. Da wir uns jedoch noch weit entfernt von einer breit eingeführten Wasserstoffwirtschaft befinden, sind Funktionsweise und Betriebscharakteristik von Brennstoffzellensystemen beim Betrieb mit fossilen Brennstoffen von besonderem Interesse. Der potenziell hohe elektrische Wirkungsgrad bei kleinen Leistungen macht die Nutzung von Brennstoffzellensystemen auch bei konventionellen Brennstoffen zu einer attraktiven Technologiealternative für die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung. Hierbei spielen die Integration eines Reformers im Brennstoffzellensystem und die Interaktion mit dem Brennstoffzellenstack die entscheidende Rolle für die Betriebscharakteristik und den Wirkungsgrad. Hochtemperaturbrennstoffzellen haben hier Vorteile, da sie einerseits Synthesegas (hauptsächlich bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff) als Brennstoff verwerten und andererseits eine deutlich geringere Sensitivität gegenüber Verunreinigungen im Vergleich zu Niedertemperaturbrennstoffzellen aufweisen.

Die potenziellen Systemkosten von brennstoffzellenbasierten Mikro-KWK, unter der Annahme eines massiven Einsatzes bei großen Stückzahlen, spielen natürlich eine entscheidende Rolle bei zukünftigen Entscheidungen. Niedertemperatur(Polymer-Elektrolyt-Membran – PEM)-Brennstoffzellensysteme haben aufgrund der mittlerweile

langjährigen Entwicklungszeit eine hohe technische Reife erreicht und profitieren daher von einem Erfahrungsvorsprung. Sie benötigen jedoch reinen Wasserstoff als Brennstoff, was zu einem komplexen und potenziell kostenintensiven Reformersystem führt. Weiterhin werden als Katalysatoren zwischen den Gasdiffusionsschichten und dem Elektrolyten Edelmetalle benötigt. Obwohl der Edelmetall-Einsatz bei PEM-Systemen durch Nano-Technologien in der Zukunft noch weiter reduziert werden wird, ist das Potenzial von Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Systemen bezüglich der Materialkosten dem von Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellensystemen prinzipiell überlegen. Stationäre Anwendungen, die keine schnellen Startzeiten und Lastsprünge benötigen, können hiermit von Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Systemen vorteilhaft bedient werden, während mobile Applikationen eher die Eigenschaften der Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellensysteme benötigen.

Der Bereich der brennstoffzellenbasierten Mikro-KWK steht seit über zehn Jahren in der öffentlichen Diskussion, wobei unterschiedliche Auffassungen bezüglich der Mindestanforderungen an den Gesamtwirkungsgrad und die Aufteilung zwischen elektrischem und thermischem Wirkungsgrad existieren. Die Hochtemperatur-Brennstoffzellen, insbesondere die SOFC-Technologie (Solid Oxide Fuel Cell, mit sauerstoffleitendem ZrO<sub>2</sub>-basiertem Elektrolyten), haben das Potenzial, alle diese Ziele zu erfüllen. So ist es möglich, mit SOFC-Systemen bei Nutzung von Erdgas als Brennstoff elektrische Wirkungsgrade von knapp über 60 % bei Leistungen von weniger als 2 kW zu erreichen, wie die kürzlich vorgestellte BlueGEN-Einheit der australischen Firma CFCL demonstriert. Grundlage hierfür ist die hohe Betriebstemperatur einer SOFC, die eine sehr effiziente Integration der Dampfreformierung von Erdgas aufgrund der Nutzung der Wärmeverluste der elektrochemischen Energiewandlung zur Abdeckung des Wärmebedarfes der endothermen Dampfreformierung ermöglicht. Der Einsatz eines Damprefor-

mers erfordert jedoch die Zuführung von reinem de-ionisiertem Wasser. Die Vorort-Erzeugung de-ionisierten Wassers kann jedoch nur bei einer Wasserrückgewinnung aus den Produktströmen mit einer fast geschlossenen Wasserbilanz kostengünstig minimiert werden. Hierfür muss eine niedrige Kondensationstemperatur realisiert werden, die zu sehr niedrigen Wasserrücklauf-Temperaturen und einer schwierigeren Integration für die Wärmenutzung in einem KWK-System führt. Bei alternativen Systemverschaltungen wird ein geringerer elektrischer Wirkungsgrad zugunsten eines höheren Gesamtwirkungsgrades akzeptiert. In diesen Fällen kommt als Reformertechnologie meistens die partielle Oxidation (POX) zum Einsatz. Dann wird keine Wasserrückgewinnung benötigt und die Systemverschaltung deutlich vereinfacht, da kein Dampferzeuger und keine Kondensatoren notwendig sind. Darüber hinaus können POX-Reformer ohne Hilfssysteme starten und schnellen Leistungsschwankungen folgen.

Unabhängig von den Fachdiskussionen über sinnvolle elektrische Wirkungsgrade, Gesamtwirkungsgrade, Systemkosten bei großen Stückzahlen etc. sind die Zuverlässigkeit und die Degradation von brennstoffzellenbasierten Mikro-KWK im realen Einsatz mit den heute verfügbaren Brennstoffen die entscheidenden Kriterien bezüglich deren Durchsetzung. Es gibt kaum Kritiker, die das prinzipielle Potenzial solcher Systeme abstreiten. Es wird jedoch zunehmend angezweifelt, inwiefern solche Systeme in absehbarer Zeit marktreife (d. h. insbesondere eine hohe technische Zuverlässigkeit, eine hohe Lebensdauer und erschwingliche Kosten) erreichen werden.

In diesem Kontext ist das FlameSOFC-Projekt als integriertes Projekt mit finanzieller Unterstützung der EU-Kommission im Oktober 2005 gestartet.

### Das FlameSOFC-Projekt

Zielsetzung des FlameSOFC-Projekts, das von der Europäischen Kommission im 6. Rahmenprogramm als „Integrated Project“ (20 Projektpartner, 3 Sub-Projekte) gefördert wurde, war die Entwicklung eines innovativen Mikro-KWK-Brennstoffzellensystems auf der Basis eines SOFC-Stacks. Das Brennstoffzellensystem sollte mit verschiedenen Brennstoffen arbeiten und potenziell sowohl die technologischen als auch die wirtschaftlichen Erfordernisse auf europäischer Ebene

erfüllen. Als Brennstoffe wurden Erdgas verschiedener Qualitäten, Flüssiggas, Heizöl, EL und Diesel-ähnliche Biobrennstoffe wie FAME (*Fatty Acid Methyl Ester* = Bio-Diesel) ausgewählt. Die elektrische Nettoleistung wurde mit 2 kW festgelegt, da laut diverser Marktstudien diese Leistungsklasse vom erwarteten zukünftigen Massenmarkt benötigt wird.

Ein neu entwickelter planarer SOFC-Stack wurde mit einer neuartigen robusten Brennstoffaufbereitung-/Reformer-Einheit kombiniert. Hauptmerkmale des „Fuel Processor“ sind die Multistofffähigkeit und – zur Erhöhung der Langzeitstabilität – der Verzicht auf die Nutzung von Katalysatoren (thermische POX, T-POX). Neben dem SOFC-Stack wurden mehrere innovative Peripherie-Komponenten entwickelt, z. B. der poröse Reaktor zur thermischen partiellen Oxidation, der multifunktionale Off-Gas-Brenner, kompakte Hochtemperatur-Wärmeübertrager, der Kalte-Flamme-Verdampfer für die Vorbehandlung von flüssigen Brennstoffen und ein Rußfilter für zusätzliche Betriebssicherheit.

Die Leistungsziele lagen bei >30 % el. Wirkungsgrad und >90 % Gesamtwirkungsgrad. Das angestrebte Einsatzgebiet ist die dezentrale Wärme- und Stromversorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern mit elektrischem Netzanschluss.

20 Projektpartner fanden sich für die Projektziele von FlameSOFC zusammen:

- VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Deutschland
- MTS GROUP, Italien
- Fagor Electrodomesticos S. Coop, Spanien
- EBZ GmbH, Deutschland
- HTceramix SA, Schweiz
- PROMEOS GmbH, Deutschland
- Stobbe Tech Ceramics A/S, Dänemark
- Ikerlan S. Coop., Spanien
- ECN, Niederlande
- OWI gGmbH, Deutschland
- Universität Erlangen-Nürnberg, Deutschland
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Schweiz
- Politecnico di Torino, Italien
- National Technical University of Athens, Griechenland
- Instituto Superior Tecnico, Portugal
- Imperial College of Science Technology and Medicine, Vereinigtes Königreich
- Budapest University of Technology

- and Economics, Ungarn
- EC BREC Instytut Energetyki Odnawialnej, Polen
- ELCO Shared Services GmbH, Deutschland
- Technische Universität Bergakademie Freiberg, Deutschland.

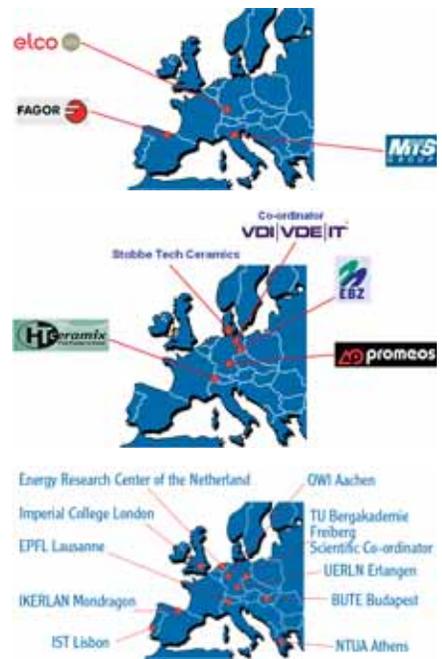


Abb. 1: Die FlameSOFC Partner: Großfirmen (oben), kleine mittelständische Unternehmen (Mitte), Universitäten und Forschungseinrichtungen (unten)

Die administrative Koordination ist Aufgabe von VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Dr. J. Valldorf), während die wissenschaftliche und technische Koordination von der TU Bergakademie Freiberg (Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen, Prof. D. Trimis) übernommen wurde.

### Technisches Konzept

In Abb. 2 wird eine prinzipielle Übersicht über die technologischen Lösungen, die im Rahmen des FlameSOFC-Projektes entwickelt wurden, dargestellt. Das System besteht aus drei wesentlichen Komponentengruppen:

- a) dem „Fuel Processor“, in dem der Brennstoff aufbereitet, reformiert und konditioniert wird,
- b) dem SOFC-Stack und der Leistungselektronik und
- c) der „Balance of Plant“, in der die Abwärmenutzung, die Wärmerückgewinnung für die Kathodenluftvorwärmung und die Restgasverbrennung integriert sind.

Die Systemarchitektur ist sowohl für

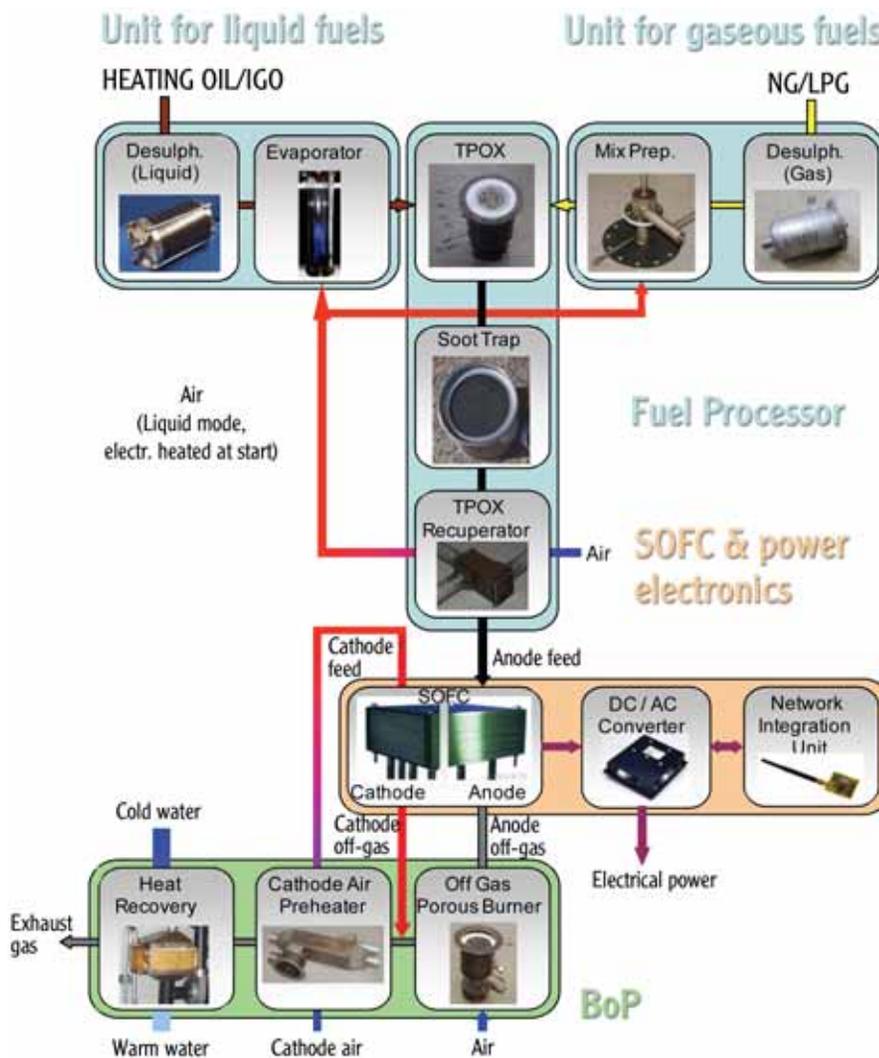


Abb. 2: Schematische Darstellung der FlameSOFC-Mikro-KWK-Einheit

flüssige als auch für gasförmige Brennstoffe geeignet. Hierbei wird lediglich der Bereich der Brennstoffaufbereitung je nach Brennstoff unterschiedlich realisiert, während alle weiteren Komponenten gleich bleiben. Sowohl gasförmige als auch flüssige Brennstoffe werden im FlameSOFC-System gleich am Systemeinlass in Adsorberbetten entschwefelt. Anschließend müssen die flüssigen Brennstoffe in einem speziellen Verdampfer vollständig verdampft werden, während die gasförmigen Brennstoffe mit der Luft vorgemischt werden.

Der nachfolgende Reaktor zur thermisch-partiellen Oxidation (TPOX) ist eine zentrale Komponente der Systemarchitektur. Die Multi-Brennstoff-Tauglichkeit war der Hauptgrund für die Auswahl der partiellen Oxidation als Reformierverfahren für die Synthesegaserzeugung. Darüber hinaus wurde eine rein thermische Prozessführung anstatt der Nutzung von Katalysatoren vorgezogen, um auch hier unabhängig vom Brenn-

stoff mit der gleichen Prozessführung arbeiten zu können. Die thermische Prozessführung benötigt Temperaturen im Bereich von 1200 bis 1500 °C im TPOX-Reaktor. Dies wird durch die Kombination einer hohen Luftvorwärmung und einer unterstöchiometrischen Luftzahl im Bereich von  $\lambda = 0,4 - 0,45$  erreicht. Eine niedrigere Luftzahl führt zu höheren Wasserstoff- bzw. Synthesegasausbeuten und höheren Wirkungsgraden sowohl für die Reformierung als auch für das Gesamtsystem.

Allerdings sinkt die Prozesstemperatur bei niedrigeren Luftzahlen, was zu unvollständiger Reformierung und Rußbildung führt. Eine höhere Luftvorwärmung kann diesem Trend entgegenwirken, ist aber aus praktischen Gründen bei 700 °C begrenzt. Der TPOX-Reaktor ist als Porenkörper realisiert, um die Vorteile von Verbrennungsprozessen in porösen inerten Medien, wie hohe Leistungsdichte und Verbrennungsstabilität, nutzen zu können.

Am Ausgang des T-POX-Reaktors steht ein Synthesegas zur Verfügung, das evtl. noch Spuren von Ruß enthalten kann. Rußpartikel sind jedoch im Stackbereich unbedingt zu vermeiden, da diese die porösen Schichten der Zellelemente zusetzen können und die Ni-basierten Katalysatoren des Stacks zerstören würden. Bei transients Prozessführung und Lastwechseln können bei kurzzeitig sehr niedrigen Luftzahlen sogar größere Rußmengen im TPOX-Reaktor entstehen. Die Nutzung eines Rußfilters am Austritt des TPOX-Reaktors führt zu einem robusten Gesamtsystem, das auch kritische Betriebszustände toleriert, ohne dass schädliche Komponenten in den Anodenbrennstoff gelangen. Der Rußfilter ist aus der Diesel-Rußpartikelfilter-Technologie abgeleitet und wurde für den Betriebsbereich der FlameSOFC-Einheit angepasst. Er bietet eine zusätzliche Betriebssicherheit, da unter keinen Umständen schädliche Rußpartikel in den Stackbereich gelangen dürfen.

Eine spezielle Problematik besteht in der Regeneration des Rußpartikelfilters. Die konventionelle Rußoxidation durch Zuführung von Luftsauerstoff und Erhöhung der Temperatur kann im Kontext eines SOFC-basierten Brennstoffzellensystems nicht realisiert werden, da die Anode des SOFC-Stacks keinen Sauerstoff bei Betriebstemperatur toleriert. In diesem Zusammenhang wurde eine spezielle Regenerationsprozedur entwickelt, die es erlaubt, während des regulären Betriebes unter reduzierenden Bedingungen den Rußfilter zu regenerieren.

Das gefilterte Synthesegas wird nach dem Rußpartikelfilter im „TPOX-Rekuperator“, der als Plattenwärmeübertrager ausgeführt ist, konditioniert. Es wird auf ca. 750 °C abgekühlt, um die richtige Temperatur am Anodeneinlass des Stacks zu treffen und wärmt hierbei die Luft, die für die partielle Oxidation benötigt wird, auf bis zu 700 °C vor.

Im Stack wird der Großteil des Wasserstoffs und des Kohlenmonoxids aus dem Synthesegas zu Wasser und Kohlendioxid oxidiert. Der hierfür notwendige Sauerstoff kommt aus der Kathode durch den sauerstoffionenleitenden Elektrolyten zur Anodenseite. Der erzeugte Strom wird über einen Stromwandler (DC/DC-Konverter- und DC/AC-Inverterstufe mit einem Gesamtwirkungsgrad von >90% bis zu 94%) in das Elektrizitätsnetz eingespeist.

Das sogenannte Anoden-Off-Gas am Auslass der Anodenseite des Stacks enthält noch kleine Mengen an nicht umgesetztem Wasserstoff und Kohlenmonoxid und wird im Off-Gas-Brenner nachgebrannt. Der Brenner besitzt mehrere Funktionen und muss mit einer Vielzahl sehr unterschiedlicher Betriebszustände zurechtkommen. So muss er beim Systemstart das im Stack noch nicht umgesetzte wasserstoffreiche Synthesegas sicher verbrennen können.

Desweiteren steigt beim Startbetrieb die Temperatur des Anoden-Off-Gases von der Umgebungstemperatur bis hin zur Betriebstemperatur des Stacks auf über 800 °C. Bei einem Lastabwurf muss er schnell von einem Schwachgasbetrieb mit dem heißen Anoden-Off-Gas auf einen Betrieb mit heißem Reformat umschalten können. Diese Anforderungen führten zur Entwicklung eines speziellen Porenbrenners, der eine besondere Mischkammer besitzt und darüber hinaus durch eine Querschnittserweiterung der Brennzonen je nach Brennstoffqualität und Temperatur in einer anderen Position der konisch geformten Brennzonen den Verbrennungsprozess stabilisiert.

Der Kathoden-Off-Gas-Strom besteht aus einer an Sauerstoff abgereicherten Luft und besitzt bei einer Temperatur von ca. 800 °C noch einen hohen nutzbaren Gehalt an fühlbarer Wärmeenergie. Der Kathoden-Off-Gas-Strom wird zusammen mit den Abgasen des Off-Gas-Brenners vermischt und einem Hochtemperatur-Wärmeübertrager zugeführt, der die Kathodenluft auf die notwendige Einlastemperatur des Stacks bei ca. 750 °C vorwärmt.

Ein abschließender Wärmeübertrager nach dem Kathodenluftvorwärmer kühlt das gesamte Abgas, bestehend aus der Mischung von Kathoden-Offgas sowie Off-Gas-Brenner-Abgas, und erzeugt Warmwasser für Beheizungszwecke.

### Technische Entwicklung

Das FlameSOFC-Konzept wurde in den letzten Jahren in mehreren Iterationsstufen umgesetzt. Angefangen von gut zugänglichen Laboraufbauten mit zusammengesetzten Einzelkomponenten, wurde das System weiterentwickelt bis zu einem funktionsfähigen Prototypen, der ein hohes Maß an Systemintegration aufweist, mit konventionellen Peripheriekomponenten ausgestattet und zertifizierungsfähig ist.



Abb. 3: Erster Laboraufbau (links), zweiter Prototyp (Mitte) und „FlameBox“ (rechts) für die Evaluierungsphase im Langzeitbetrieb



Abb. 4: Die FlameSOFC HotBox. Der hintere schmalere Bereich beherbergt in einer dritten Zone alle „kalten“ Peripheriekomponenten, wie Lüfter, Steuerung, Stromwandler, Sensoren etc.

Die Systemarchitektur wurde beim Endprototyp durch eine Aufteilung in drei Zonen umgesetzt. Die Vorderseite beherbergt zwei „heiße“ Zonen, nämlich oben den SOFC-Stack und unten die „HotBox“, in der alle heißen Peripheriekomponenten untergebracht sind (siehe Abb. 4).

### Aktuelle Ergebnisse

In der Endphase des Projekts gab es technische Probleme mit der Abdichtung des endgültigen SOFC-Stacks. Der von der Firma HTCeramix und der EPFL Lausanne entwickelte Stack hat eine sehr große aktive Oberfläche von 200 cm<sup>2</sup>. Der Stack übertraf bei Einzelkomponententests deutlich die gesetzten Spezifikationen mit einer Brennstoffnutzung von 81 %, einer offenen Zellspannung (OCV) von 1065 mV und einer Minimalspannung von 761 mV bei der Nominallast von 460 mA/cm<sup>2</sup>. Leider zeigte der Stack unter den realen Einbaubedingungen in der FlameSOFC-Einheit mit leicht höheren Überdrücken gegenüber den Einzel-

komponententests wiederholt leichte Undichtigkeiten. Aus Sicherheitsgründen war ein Betrieb der Einheit mit diesem Stack nicht möglich. Eine Überarbeitung des Abdichtungskonzepts ließ sich innerhalb der gesetzten Zeitpläne nicht mehr realisieren. Als Ersatz für die Testphase mit dem Gesamtsystem wurde ein „ISM“-Stack der Dresdner Firma STAXERA mit einer deutlich niedrigeren Nennleistung von 1 kW eingesetzt. Für die benötigte Stack-Nennleistung von ca. 2,5 kW (elektrische Nettoleistung von 2 kW) gab es weltweit leider keine verfügbaren alternativen Entwicklungen.

Die Diskrepanz zwischen der Nennleistung der Peripherie, insbesondere des „Fuel Processors“, und der Nennleistung des Stacks führt zu niedrigeren Wirkungsgraden des Gesamtsystems, da der Stack bei hohen spezifischen Belastungen immer mit einer niedrigeren Brennstoffnutzung fährt, während der Fuel Processor bei niedrigen spezifischen Belastungen mit hohen spezifischen Wärmeverlusten arbeitet.

In Abb. 5 sind der elektrische Wirkungsgrad des Gesamtsystems sowie die Stack-Leistung als Funktion der eingesetzten Brennstoffleistung aufgetragen. Hierbei wurden bei der niedrigsten Last Brennstoffnutzungsgrade von 65 % am Stack erreicht, was mit der niedrigeren Nennleistung des Stacks zusammenhängt. Die erreichten elektrischen Wirkungsgrade von ca. 20 % würden bei über 30% liegen, wenn der ursprünglich angedachte und entwickelte Stack mit der Nennleistung von 2,5 kW eingesetzt werden könnte.

In Abb. 6 ist eine Zeitreihe beim Betrieb der FlameSOFC-Einheit während der Zertifizierungsprüfungen zu sehen. Besonders erwähnenswert ist hierbei das sehr gute dynamische Verhalten über mehrere thermische Zyklen. Die FlameSOFC-Einheit zeigt über mehrere thermische Zyklen zuverlässig eine gleichbleibende Betriebscharakteristik.

**Schlussbemerkungen**

Im Rahmen des FlameSOFC Projekts wurde ein besonderes Systemkonzept für SOFC-basierte Mikro-KWK-Systeme entwickelt, das bei kleineren elektrischen Wirkungsgraden eine hohe Robustheit, eine Multi-Brennstoff-Fähigkeit, einen hohen Gesamtwirkungsgrad und ein gutes dynamisches Verhalten über eine große Anzahl von thermischen Zyklen aufweist. Im Rahmen der Entwicklung ist deutlich geworden, dass Abdichtungstechnologien für Hochtemperaturapplikationen eine Schlüsselrolle in der zukünftigen Entwicklung von Brennstoffzellensystemen spielen werden. Dies betrifft nicht nur die Abdichtung der Zellen eines SOFC-Stacks, sondern auch alle Verbindungen eines Hochtemperatur-Brennstoffzellensystems. Desweiteren wurde auch klar, dass mehrere, eher als trivial betrachtete Peripherie-Komponenten wie

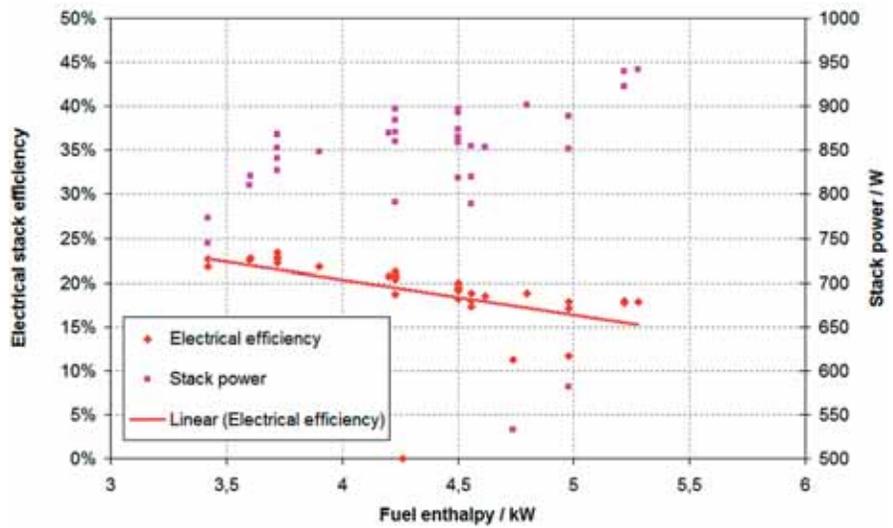


Abb. 5: Elektrischer Wirkungsgrad der FlameBox mit 1 kW STAXERA ISM-MK200

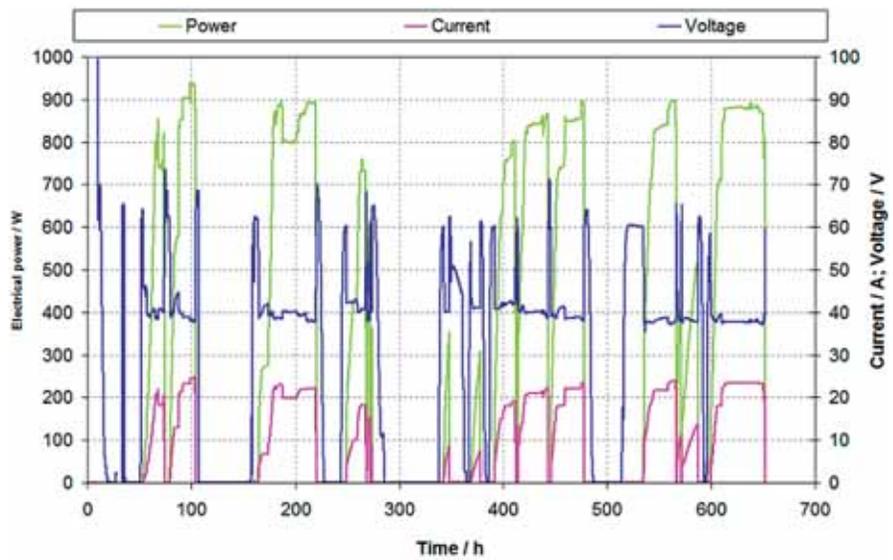


Abb. 6: Betrieb der FlameBox mit 1 kW STAXERA ISM

Gebläse, Flammenüberwachung, Volumen-/Massenstrommessgeräte usw. zurzeit nicht den Systemanforderungen von SOFC-Brennstoffzellensystemen entsprechen und in diesem Bereich weiterführende F/E-Arbeiten notwendig sind.

**Danksagung:**

Die Autoren möchten sich im Namen des FlameSOFC-Konsortiums bei der EU-Kommission für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Vertrags 019875 (SES6) im 6. Forschungsrahmenprogramm bedanken.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG  
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Ingenieur werden.  
Visionen umsetzen.

Wie? Kommen Sie zu uns und lassen Sie sich über unser visionäres Studienprofil beraten, wenn Sie nicht nur Ihre Zukunft gestalten wollen.

[www.tu-freiberg.de](http://www.tu-freiberg.de)

# Solare Welt

Der SolarWorld-Chef über die Zukunft unserer Energieversorgung

Frank Asbeck

Die Sonne ist der Rohstoff des 21. Jahrhunderts. Dass nicht nur Wachstum, sondern auch fossile Energieträger endlich sind, ist keine wirklich neue Erkenntnis. Bereits 1972 haben die Mitglieder des Club of Rome in ihrem Bericht „Grenzen des Wachstums“ auf die drohende Ressourcenknappheit verwiesen. Dennoch beginnt man erst seit wenigen Jahren, sich mit den Konsequenzen von Klimawandel, Bevölkerungswachstum und explodierendem Energieverbrauch auseinanderzusetzen.

Eine ökologische und damit auch gerechtere Energieversorgung ist nur mit Hilfe erneuerbarer Energien möglich. So haben zwei Milliarden Menschen in den ärmsten Ländern der Welt bis heute noch keinen Zugang zu Elektrizität. Während der tägliche Energie-Pro-Kopf-Verbrauch in den westlichen Industrieländern zwischen 4,5 und 6 Kilowattstunden liegt, verbrauchen die Menschen in Entwicklungsländern nur 0,2 Kilowattstunden.

Für die solare Wende spricht schon allein die Tatsache, dass laut UNO-Bericht im Jahr 2050 9,2 Milliarden Menschen auf der Erde leben werden und deren Energiebedarf nicht mit fossilen Brennstoffen zu decken ist. Wenn dieser auch nur auf ein Drittel des Durchschnittsenergieverbrauchs eines Westeuropäers ansteigt, würde sich der Energiefaktor verdreifachen und dies mit großer Sicherheit zu einer ökologischen und ökonomischen Katastrophe führen. Die Lösung dieser Probleme bietet uns daher nur die Sonne mit ihrer unendlichen Energie. Gründe dafür gibt es zur Genüge. Die Sonne hat eine Strahlungsleistung von 178.000 Terawatt. Das entspricht gut 1,5 Trillionen Kilowattstunden pro Jahr, einer Zahl mit 18 Nullen. Ziehen wir davon ab, was Wetter und Vegetation benötigen, so bleibt uns immer noch mehr als das Zehnfache unseres heutigen Energiebedarfs. Gegenwärtig beziehen wir weltweit unsere Energie zu 34 Prozent aus Öl, 26 Prozent aus Kohle, 23,5 Prozent aus Erdgas, 6 Prozent aus Kernenergie und nur zu 10,5 Prozent aus erneuerbaren Quellen. Kurz gesagt: Es fehlen uns

noch runde 90 Prozent zur vollständigen Energiewende. Im Folgenden möchte ich einige Denkanstöße und Thesen zur solaren Energiewende darlegen.

**1. Wie lange sind Erdöl, Erdgas und Kohle noch disponibel?** Diese Frage kann niemand wirklich eindeutig beantworten. Doch wir alle wissen: *Fossile Ressourcen sind nicht unendlich verfügbar.* Einige Experten sind der Meinung, dass der so genannte „peak“ – der Zeitpunkt, bis zu dem die Hälfte aller förderbaren Ressourcen tatsächlich gefördert worden sein wird – schon vorbei sei. Andere Fachleute behaupten wiederum, wir hätten noch ausreichend Zeit. Eins steht fest: Da man zur zweiten Hälfte viel schwerer Zugang erhält, wäre die Förderung mit hohen Kosten verbunden, würden die Rohstoffpreise noch weiter in die Höhe getrieben und für Otto Normalverbraucher unerschwinglich werden. Die Förderung wäre nicht mehr wirtschaftlich. Zudem wird Erdöl nicht nur zur Energie- und Wärmeerzeugung verwendet, es ist auch Rohstoff für die Produktion anderer Grundstoffe und Verbrauchsgüter wie beispielsweise Chemierohstoffe, Kunststoffe, Kosmetika, Bild- & Tonträger, Dünge- und Pflanzenschutzmittel oder auch für Baustoffe. Also sollten wir lieber auf erneuerbare Energien umsteigen und das noch „übrig gebliebene Öl“ lieber den anderen Industriezweigen und damit sinnvolleren Zwecken als dem der Verbrennung überlassen.

**2. Kernenergie ist keine saubere Alternative.** Skeptiker der Solarenergie und Befürworter der Kernenergie stützen sich meist auf folgende Argumente: Atomenergie ist klimafreundlich, preiswert, langfristig und klimaneutral. Doch in Wirklichkeit ist der in Kernkraftwerken erzeugte Strom nur auf dem Papier preiswert, denn er ist mit hohen Kosten für Rohstoffe, Forschung und Entwicklung sowie Endlagerung der Abfälle verbunden. Kernenergie ist in Wirklichkeit die teuerste aller Energiequellen. Die Kosten für Endlagerung und Reak-



Der Autor, Unternehmensgründer und Vorstandsvorsitzende der SolarWorld AG, Dr.-Ing. E. h. Frank Asbeck

torsicherheit werden vom Steuerzahler getragen. Zudem könnten sich die Schäden – verursacht durch den Gau eines Atommeilers – auf bis zu geschätzten fünf Billionen Euro belaufen, die Betreiber haften jedoch gesetzlich nur bis zu einer Haftungssumme von 2,5 Milliarden Euro. Auch der Rohstoff Uran ist endlich. Im Grunde genommen ist ein Atomkraftwerk eine Nachbildung der Sonne, also warum nicht gleich die Energie der Sonne nutzen?

**3. Wir stehen vor der Entscheidung,** ob Energiewende oder Klimakatastrophe. Mir scheint, dass wir uns mit unserer Entscheidung zu viel Zeit lassen. Seit Beginn der Industrialisierung ist die Jahresdurchschnittstemperatur um 0,8 °C gestiegen. Das Erdklima hat sich damit so stark erwärmt wie schon seit 400 Jahren nicht mehr, was sich eindeutig auf die Entwicklung in den Industrie- und Schwellenländern zurückführen lässt. Nur ausgewiesene Optimisten bestreiten heute noch den Klimawandel. Stattdessen scheint es so, dass zahlreiche Forscher die Negativprognosen als noch viel zu niedrig angesehen haben. Fakt ist, dass sich die Erdatmosphäre um nicht mehr als 2 °C erwärmen darf, weil sonst ein Klimakollaps droht. Dafür muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoß weltweit halbiert werden, was für Europa eine Reduzierung um 80 Prozent gegenüber 1990 bedeuten würde. Ein Schritt in die richtige Richtung wäre eine Veränderung unseres Wirtschafts- und Lebensmodells. Beide beruhen auf erschöpfbaren Quellen, sei es die Flugananas aus Brasilien oder die



Blick auf den Freiberger SolarWorld-Standort im Gewerbegebiet Süd

Kiwi aus Neuseeland. In allen unseren Lebensbereichen steckt Potenzial zur Energieeinsparung, sei es in Form von Energiesparlampen oder besseren Wärmedämmungen. Ein Beispiel: Ein durchschnittliches Einfamilienhaus verbraucht an die 3.000 Liter Öl pro Jahr – nur für die Heizung. Moderne Passivhäuser kommen hingegen schon mit 200 Litern aus. Beispiel Mobilität: Für mich ist es keine Frage, dass die Zukunft des Individualverkehrs dem Elektroauto gehört. Wenn nicht die traditionelle Autoindustrie dafür sorgt, dann werden neue, findige und mutige Unternehmer und Ingenieure es übernehmen, bei Antrieben und Batterien zügig die nötigen Innovationen zu schaffen.

#### 4. Solarenergie macht unabhängig.

Derzeit kontrollieren 20 Staaten 85 Prozent der globalen Erdölförderung. Von den westlichen Industrieländern haben nur die USA, Kanada, Großbritannien und Norwegen wirklich große Ölvorkommen, der Rest dieser Länder ist von Importen abhängig. Deutschlands wichtigster Lieferant für Gas und Öl ist mit Abstand Russland, zweitgrößter Ölförderer der Welt und 2007 mit Saudi-Arabien fast gleichauf. Die Ölabhängigkeit ist in unserem alltäglichen Bewusstsein nicht gegenwärtig, wird jedoch in Krisen wie der Ölkrise von 1973 bis 1979 spürbar.

Öl wird so zum Mittel politischer Erpressungen. Das Erpressungspotenzial der russischen Energiemacht können wir jeden Winter erfahren, wenn der Gashahn zuge dreht wird. Westliche Industrieländer sind nicht mehr die einzigen Ölverbraucher, auch Indien, China und die Staaten Südasiens konkurrieren um den Rohstoff. Kohle weist im Ver-

gleich zu Öl und Gas zwar trotz weltweit geringer geschätzter, inzwischen nach unten korrigierter Vorratsangaben die größte Verfügbarkeit auf, dafür ist sie aber für die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Doch anstatt im Bereich erneuerbarer Energien weiter zu forschen, sucht man fieberhaft nach einer Möglichkeit, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Kraftwerke zu verringern – doch würde dies den Wirkungsgrad um 40 Prozent senken. Außerdem besteht bei kohlebasierter Energieerzeugung genau wie bei der Kernenergie das Problem der Endlagerung. Die Technologie der Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (CCS) ist für mich keine nachhaltige Lösung.

Der solare Spitzenwert in der Sahara, im südlichen Afrika, im Südwesten der USA, in Australien oder Guinea beträgt 2.100 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr. In Deutschland liegt der Durchschnitt bei 1.000 Kilowattstunden pro Quadratmeter im Jahr, also bei etwa der Hälfte. Während ein Deutscher seinen gesamten Strombedarf in der Sahara mit einer Solaranlage von fünf Quadratmetern Fläche decken könnte, braucht man bei uns dafür zehn Quadratmeter. Nur zwei Prozent der Fläche Deutschlands würden – mit der heutigen Technik wohlbemerkt – ausreichen, um das gesamte Land mit solarem Strom zu versorgen. Allein 2.300 Quadratmeter Dach- und Fassadenfläche sind nach einer Studie von Ecofys in Deutschland für die Installation von Solaranlagen geeignet, das entspricht 0,65 Prozent der Gesamtfläche Deutschlands. Mit einem Wort: Solarenergie kann bereits heute in Deutschland in ausreichender Menge und mit zufriedenstellenden Wirkungsgraden erzeugt werden.

#### 5. Solarenergie ist dezentral und demokratisch.

Die größten Nachteile jeder fossilen und der atomaren Energieversorgung hingegen sind ihre zentralistischen Strukturen und die sehr langen Investitionszyklen. Nicht selten belaufen sich die Kosten für den Bau eines Kohle- oder Atomkraftwerkes auf einen dreistelligen Millionenbetrag für Laufzeiten von maximal 35 Jahren. Es geht um Marktmacht und viel Geld, das über einen langen Zeitraum investiert und verdient wurde; da findet man nie den richtigen Zeitpunkt für einen Ausstieg. Strom ist ein vorwiegend politisch bestimmtes Produkt und richtet sich nicht nach den Bedürfnissen der Konsumenten – für sie spielt der Strom an sich keine ihnen bewusste Rolle. Erst wenn die Energiekonzerne wieder einmal aufgrund einer Preiserhöhung im Mittelpunkt stehen, werden wir aufmerksam. Ein Drittel der Kraftwerke ist bereits 35 Jahre, die Hälfte zwischen 15 und 35 Jahren alt, und nur 11 Prozent wurden in den letzten 15 Jahren gebaut. Das bedeutet: Normalerweise müssten demnächst große Investitionen getätigt werden, falls die Energieerzeugung so weitergeführt werden soll wie bisher. Doch Investoren werden natürlich keine 50–60 Milliarden € in Kraftwerke pumpen, wenn diese sich in naher Zukunft als überflüssig erweisen würden. Der Modernisierungstau wurde bewusst herbeigeführt, denn jetzt wird sich entscheiden, welchen Energieweg wir einschlagen werden: Den fossilen oder den erneuerbaren? Wenn das letzte Atomkraftwerk in Neckarhau westlich tatsächlich 2021 abgeschaltet werden soll, dann werden ganze 50.000 Megawatt fehlen, die mit erneuerbaren Energien ersetzt werden müssen. Warum also nicht gleich



Einblicke in die Solarzellenfertigung am Standort Freiberg

in erneuerbare Energien investieren, zumal eine Aufdach-Solaranlage mit fünf Kilowatt Leistung – ausreichend für eine 4-köpfige Familie – mit einer Laufzeit von 25–30 Jahren nur 13.000 Euro kostet. Die Modernisierung mit erneuerbaren Energieträgern erfolgt damit also nicht mehr in milliarden schweren, langsamen Investitionszyklen, sondern permanent.

Ein weiterer Vorteil der Solarenergie: Sie ermöglicht sowohl in der Stadt als auch in ländlichen Regionen den Zugang zu Strom. Solarer Strom kann netzunabhängig produziert werden und lässt korrupten Großkonzernen gar nicht erst die Chance, Fuß zu fassen. Dies ist vor allem für Entwicklungsländer, z.B. in Afrika, von großer Bedeutung, denn Elektrizität ist ein essenzieller Grundbaustein für ihre Entwicklung. Etwa zwei Milliarden Menschen haben derzeit keinen Zugang zu einem Stromnetz und erzeugen beispielsweise ihr Licht mit Petroleumlampen oder ihren Strom mit wartungsintensiven, lauten, teuren Dieselgeneratoren. Heißt: das ärmste Viertel der Menschheit kauft jährlich für 24 Milliarden Euro gesundheitsschädliches Leuchtpetroleum. Bei einem Dieselpreis von 70 Eurocent pro Liter, wie man ihn in vielen Ländern Afrikas bezahlt, produziert eine Solaranlage heute schon um die Hälfte günstigeren Strom. Ihre Finanzierung muss nur durch Mikrokredite ermöglicht werden.

Somit verkörpert die solare Revolution gerade in diesen Ländern auch eine politische und wirtschaftliche Befreiung der Menschen. Der Solarstrom bietet ihnen die Möglichkeit, unabhängig Strom zu produzieren: Sie haben Licht, können Medikamente kühlen, Wasserpumpen betreiben und Computer und Mobiltelefone nutzen. Kurz: Solarenergie ist die

ideale Quelle für eine private, dezentrale, ökologisch sinnvolle, korruptionsfreie, gerechte und überall einsetzbare Stromversorgung, die sogar in Entwicklungsländern finanziell erschwinglich ist. Zur Förderung der Photovoltaik unterstützt die SolarWorld seit 2007 mit dem Programm „Solar2World“ Non-Profit-Projekte in Afrika. Gespendet werden einzelne Solarmodule bis hin zu ganzen Solaranlagen für Bildungseinrichtungen, Kranken- und Waisenhäuser.

**6. Solarenergie ist nachhaltig und wirtschaftlich.** 2002 lagen die Erzeugungskosten für Solarstrom in Deutschland je nach Standort und Größe der Anlage noch zwischen 49 und 71 Cent pro Kilowattstunde, das entspricht einem Preis von 6000 Euro pro installiertem kW/p. Bis 2010 fiel dieser Preis um die Hälfte auf 3.000 Euro, was den Strompreis auf unter 30 Cent pro Kilowattstunde drückte. Dieser ist zwar immer noch ein um Drittel teurer als der Steckdosenpreis, er bleibt jedoch über die gesamte Lebensdauer konstant und kann nicht willkürlich angehoben werden, wenn das Öl mal wieder knapp wird oder Russland den Gashahn zudreht. Der Verbraucher erhält keine Rechnung, da der Strompreis den Anschaffungskosten einer Solaranlage entspricht. Bei den Preisen für Strom aus fossiler Energie ist es dagegen sehr realistisch, von Preissteigerungen zwischen vier und fünf Prozent pro Jahr auszugehen.

Wenn sich dieser Trend fortsetzt, dann wäre es nicht mehr eine Frage von Jahren, sondern nur noch von Monaten, bis der Solarstrom genauso viel kostet wie herkömmlicher Strom. Und dafür gibt es genügend Gründe: Da ist zum einen der



In der Solarwaferfertigung kann die Freiburger SolarWorld auf eine mehr als 15-jährige Geschichte zurückblicken

technische Fortschritt, der tendenziell weiter sinkende Kosten ermöglicht. Dazu kommen der Zuwachs des Photovoltaikmarkts um 30 Prozent zwischen 1996 und 2008, der Produktionsüberschuss, der bekanntlich die Preise drückt und das Recycling, das eine Rohstoffknappheit verhindert. Spätestens 2013 kann deshalb eine Kilowattstunde Solarstrom zu einem Preis von 23 Cent produziert werden, das heißt, die so genannte Netzparität ist erreicht: Strom vom Dach kostet ebenso viel, wie der Verbraucher für den Strom aus der Steckdose bezahlt. In Verbindung mit der entsprechenden Speichertechnik, die bereits auf dem Markt verfügbar ist, kann jeder Haushalt zum autarken Selbsterzeuger von Strom werden. Folglich wird die Netzparität einen solaren Wachstumsboom auslösen, zunächst bei den Häuslebauern, dann bei allen Eigenheimbesitzern, schließlich bei Eigentümern von Mietshäusern und Gewerbeimmobilien.

**7. Regenerative Energien begründen eine echte Zukunftsindustrie.** Die Solarenergie ist die einzige Basis einer Energieversorgung, die nicht nur heute, nicht nur in den nächsten zehn oder zwanzig Jahren, sondern über die nächsten zwei bis drei Generationen hinaus großes Wachstumspotenzial hat.

Strom ist der Grundstoff industrieller Gesellschaften. Der Strom von morgen wird demokratisch, dezentral, flexibel



Die letzte Stufe der Waferfertigung ist die Endreinigung und Qualitätskontrolle

und eigenverantwortlich organisiert sein. Und das ist die Welt der Photovoltaik. Auf sie setze ich politisch, wirtschaftlich und unternehmerisch.

Wie wird der Energiemix der Zukunft aussehen? Laut einer Prognose der Bundesregierung wird der Anteil der Solarenergie am weltweiten Primärenergieverbrauch, der zur Zeit selbst bei wohlwollender Betrachtung nur marginal ist, ab 2020 deutlich, ab 2030 prägend und ab 2040 allmählich bestimmend sein. 2100 werden Photovoltaik und Solarthermie zusammengenommen nahezu 60 Prozent des weltweiten Primärenergiebedarfs decken und bereits zur Jahrhundertmitte wird unser gesamter Strom weltweit ausschließlich aus erneuerbaren Energien kommen.

Dagegen sinkt der Beitrag fossiler Energieträger von heute 80 auf weniger als 15 Prozent. Von der Kohle, so die Experten, werden wir uns zwischen 2040 und 2100 völlig verabschiedet haben. Ebenso nimmt ab diesem Zeitpunkt die jetzt schon kaum noch wachsende Rolle des Erdöls im Energiemix ab. Die Atomenergie, die weltweit ohnehin keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat, wird 2040 Geschichte sein.

Die steilen Zuwachsraten der Photovoltaik in den letzten Jahren geben nur einen allerersten Vorgeschmack auf künftige Entwicklungen. Die deutsche Solarzellenproduktion ist in den vergangenen neun Jahren von 16 Megawatt Peak auf über ein Gigawatt Peak bis 2009 angestiegen. Deutsche Solartechnik ist ein absoluter Exportschlager und schafft jede Menge neuer Arbeitsplätze. So werden bis 2030 700.000 Menschen



Die vermessenen Siliziumssäulen werden in einem Zwischenlager ihren Qualitäten entsprechend sortiert

ihr Brot im Bereich erneuerbarer Energien verdienen.

### 8. Photovoltaik ist eine Alternative zum Kraftwerk.

Betreiber von konventionellen Kraftwerken gehen gern auf Nummer sicher und argumentieren gegenüber der Solarenergie: Sie decke weder Grund- noch Spitzenlast ab, da man den Stromfluss nicht einfach so erhöhen könne. Kurz: Strom könnte knapp werden. Mit der gleichen Begründung wird auch die Windkraft abgelehnt. Entscheidend ist jedoch der regenerative Mix, der auch von den meisten europäischen Industrienationen angestrebt wird. Durch die Kombination kann man die Schwanklast wunderbar ausgleichen. Wenn die Sonne nicht mehr scheint, dann weht der Wind. Und scheint mal keine Sonne und weht kein Wind, kann man auf Biomasse- oder Pumpspeicher-Kraftwerke zurückgreifen. Ideal ist also ein Stromnetz aus vielen kleinen dezentralen Stromerzeugern. Ein Beispiel, wie so etwas funktionieren kann, ist das regenerative Kombikraftwerk, das SolarWorld gemeinsam mit der Schrack Biogas AG und Enercon virtuell betreibt ([www.kombikraftwerk.de](http://www.kombikraftwerk.de)) Es verknüpft und steuert 36 über ganz Deutschland verteilte Anlagen.

Sollten tatsächlich alle Stricke reißen und fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen, dann eignen sich Erdgas- (in Zukunft Biogas-)Kraftwerke am besten, um erneuerbare Energien zu ergänzen. Wenn man all diese Möglichkeiten betrachtet, ist es kaum vorstellbar, dass im Mai 2008 17 neue Kohlekraftwerke von der Bundesregierung genehmigt wurden, zumal Berechnungen ergeben haben, dass eine Kilowattstunde, bezogen von einem Kombikraftwerk, gerade mal sechs Cent kosten würde. Die Fachzeitschrift Photon hat prognostiziert, dass schon bald 60 Gigawatt Solarleistung in Deutschland installiert sein könnten. Wenn man diese bei Sonnenschein



Das Herzstück eines Solarmoduls: die mono- oder multikristalline Solarzelle

Strom ins Netz einspeisen lassen würde, wären auf fossilen Brennstoffen basierende Kraftwerke gezwungen, ihre Produktion „herunterzufahren“; schließlich hätten regenerative Energien immer Vorrang. Und dies ist ein Vorteil, den wir unbedingt nutzen müssen. Früher galt der „Grüne Weg“ immer als der teure und weniger wirkungsvolle. Doch aufgrund der derzeitigen Wirtschaftskrise und des Klimawandels werden die regenerativen Energien nun mit ganz anderen Augen gesehen. Bis heute gibt es 230 lokale und regionale Solarinitiativen, die ihren Strom zu 100 Prozent aus regenerativen Energien erzeugen und ihn auf Basis von Solarthermie, Holzbefuerung oder Biomasse beziehen (so genannte Bioenergie-dörfer). Alle Kosten der Solarenergie sind Technikkosten. Der Fortschritt der Technik wird den erneuerbaren Energien den Rücken stärken, denn die Entwicklungschancen sind noch lange nicht ausgereizt. Dank des technologischen Fortschritts und preiswerter Massenfertigung sinken diese Technikkosten beständig. Selbst Papst Benedikt der XVI. bezieht seit November 2008 den größten Teil seines Stroms von 2.394 Solarmodulen. Diese produzieren 300.000 Kilowattstunden jährlich und versorgen damit 300 Haushalte. Somit ist der Vatikan der erste Staat der Erde, der mehr als drei Viertel seines elektrischen Stroms aus Photovoltaik bezieht. Mit Solarenergie können wir die Welt verändern, die Handelsbilanz ins Plus bringen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermindern, den Arbeitsmarkt ankurbeln und die Versorgung mit Wärme und Energie sichern. Wenn wir die vielen Chancen beim Energiesparen mit dem Potenzial der erneuerbaren Energien verbinden, können wir in eine sorglose Energiezukunft blicken, in der wir auch wir nicht im Dunkeln sitzen und frieren, wenn im letzten Kohlekraftwerk die Kohle, aber nicht das Licht ausgeht.

Das ist die solare Welt.

# Elektromobilität und Li-Batterien

Jürgen Garche

Die Elektromobilität als eine Alternative zum klassischen verbrennungsmotorischen Antrieb ist zurzeit wieder in aller Munde. Die Zielstellung der deutschen Bundesregierung ist es, 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf den deutschen Straßen zu haben. Diese Zahlen zu erreichen, erfordert Anstrengungen sowohl im Fahrzeug- als auch im Infrastrukturbereich. Im Fahrzeugbereich steht die Batterie im Mittelpunkt von Forschung und Entwicklung, denn sie bestimmt ganz wesentlich die Reichweite und das Fahrverhalten der Elektrofahrzeuge.

Die EV-Reichweite wird durch die Energie der Batterie und das EV-Fahrverhalten (Beschleunigung, Geschwindigkeit und Anstiegsvermögen) sowie durch die Leistung der Batterie bestimmt. Sicherheit und Kosten sind neben Energie und Leistung Schlüsselparameter für die EV-Batterie. Kritisch im Moment sind vor allem die Kosten und die spezifische Energiedichte.

Die spezifische Energie bestimmt die Reichweite des Fahrzeugs, wobei diese auch vom Fahrzeug (Wind, Rollwiderstand, etc) und dem Fahrverhalten abhängt, wie *Abb. 1* zeigt.

Für ein Kompaktfahrzeug (1.500 kg, davon 300 kg Batterie, entspricht etwa dem Golf blue-e-motion) kann man auf Basis eines durchschnittlichen Energieverbrauchs im Stadtverkehr von 130 Wh pro km und Tonne Fahrzeug-Gesamtmasse näherungsweise die Reichweite wie

folgt errechnen:  $Reichweite (km) \approx spez. Energie (Wh/kg) \times 1,6$ .

Die höchste spezifische Energie hat heute die Li-Ionen Batterie mit max. 100 Wh/kg, was etwa 160 km Reichweite entspricht.

Erste Entwicklungsarbeiten begannen in den 1960er Jahren, nachdem entdeckt war, dass Li in nichtwässrigen Elektrolyten stabil ist. Ende der 60er/Anfang der 70er Jahre wurden die ersten primären Systeme ( $Li/SO_2$ ,  $Li/MnO_2$ ,  $Li/(CF_x)_n$ ) kommerzialisiert. Die erste wieder aufladbare Li-Zelle ( $Li/MoS_2$ ) kam durch Moli Energy Limited 1986 auf den Markt. Die Produktion wurde aber Ende der 1980er Jahre eingestellt, nachdem es mit den Zellen zu Unfällen gekommen war.

Ursache für diese Unfälle waren plötzliches Ablösen (zu dicke Schichten, Vibrationen) von Schutzschichten zwischen Li-Metall und Elektrolyt sowie dendritische Abscheidungen des Li bei der Ladung, die mit steigender Zyklenzahl zu Kurzschlüssen führten. Die Folge von Schutzschichtablösung und Dendritenkurzschluss sind dramatische Temperaturerhöhungen, die partiell zu Explosionen führen können.

Um die Gefahren der heftigen Reaktionen zwischen Li-Metall und Elektrolyt bei der Ablösung der Schutzschichten zu reduzieren, wurden die folgenden Wege gegangen:

a) „Entschärfung“ des flüssigen organischen Elektrolyten mit einem reakti-

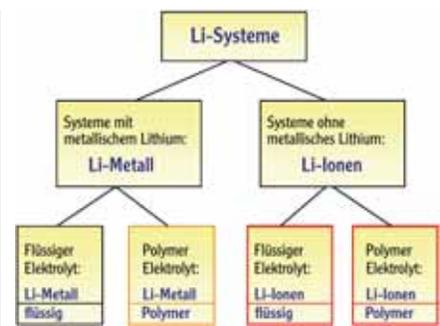


Abb. 2: Übersicht über entwickelte Li-Systeme

- onsträgeren polymeren Elektrolyten, was zu *Li-Polymer-Systemen* führte
- b) „Entschärfung“ der Li-Elektrode durch Li-Intercalationsverbindungen, z. B. in Graphit ( $LiC_6$ ) oder Anwendung von Li-Legierungen, woraus *Li-Ionen-Systeme* entwickelt worden sind.
- c) „Entschärfung“ der Li-Elektrode und des Elektrolyten, was zu *Li-Ionen-Polymer-Systemen* führt.

Aus Sicherheitsgründen sind dann vor allem Li-Ionen Systeme entwickelt worden, die 1991 durch SONY mit einer  $LiCo_2/LiCo_2$ -Zelle kommerzialisiert wurden. Die Hauptanwendungen dieser Zellen, die in der Größe 18650 (18 mm  $\phi$ , 65 mm Höhe) geliefert werden, liegen im Konsumerbereich (Laptop, Kameras, Power Tools etc). Zurzeit werden weltweit ca. 3,5 Mrd. solcher Zellen produziert. Die Kapazität und die Preise beginnen bei 2,0 Ah und 1,50 \$ und gehen bis 3,1 Ah und 3,50 \$. Die hohen Kapazitäten werden mit Li-Si-Anoden erreicht.

Die Technologie der Konsumerbatterien (ca. 10 Wh) ist nicht 1:1 auf die der Fahrzeugbatterien (ca. 30 kWh) übertragbar.  $LiCo_2$  und  $LiNiO_2$  als Kathodenmaterialien sind zu teuer und stellen bei großen Fahrzeugbatterien ein Gefahrenpotenzial dar (Sauerstoffabspaltung bei ca. 200 °C). Weiterhin reicht die Lebensdauer von ca. 600–800 Zyklen nicht; im EV-Bereich sind mindestens 3.000 Zyklen gefordert. Sicherheit, Kosten und Lebensdauer gilt es daher zu verbessern, was nur über neue Materialien geht.

**A – Niedervoltmaterialien.** Dies sind hauptsächlich Zellen mit  $LiFePO_4$ , dessen Entladespannung mit 3,4 V (alle hier gegebenen Potenziale sind auf  $U_{Li^+/Li}$  bezogen) etwa 0,5 V unterhalb der von  $LiCo_2$  und daher im „Electrochemical Window“ des Elektrolyten (Bereich, in dem die Aktivmassen thermodynamisch im Elektrolyten stabil sind) liegt, was das Sicherheitsrisiko enorm reduziert. „Stan-

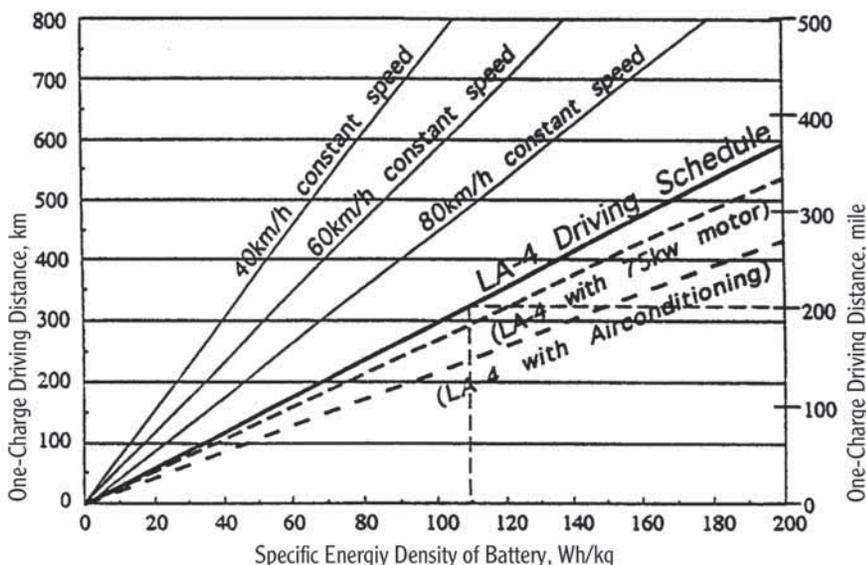


Abb. 1: Reichweite vs. Spezifische Energie der Batterie für unterschiedliche Fahrverhalten und synthetische Testzyklen (LA-4: Los Angeles driving cycle) und Honda Accord

„dard-Elektrolyte“ sind zurzeit Mischungen von Ethylencarbonat (EC) und linearen Carbonaten wie Dimethylcarbonat (DMC), Diethylcarbonat (DEC) oder Ethylmethylcarbonat (EMC) und Leitsalzen wie LiPF<sub>6</sub> oder LiBF<sub>4</sub>. LiC<sub>6</sub>/LiFePO<sub>4</sub>-Systeme erreichen heute etwa 100 Wh/kg. 2000 Zyklen kosten aber noch etwa 1.000 €/kWh. In Deutschland sind an der Entwicklung solcher Zellen vor allem die Firmen Li-Tec, Gaia und Leclanché beteiligt.

Das Potenzial von Graphit (LiC<sub>6</sub>) als Anodenmaterial liegt mit etwa 0,2 V auch außerhalb des „Electrochemical Windows“. Die Folge ist eine Reaktion mit dem Elektrolyten, die zum Aufbau einer widerstandserhöhenden Solid Electrolyte Interphase (SEI) führt, die die Entlade-/Ladestromstärke, das Tieftemperaturver-

halten, die Lebensdauer und auch die Sicherheit negativ beeinflusst. Li-Titanat (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) als Anodenmaterial mit einem Potenzial von etwa 1,2 V liegt innerhalb des „Electrochemical Window“ und hat diese negativen Eigenschaften nicht. Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/LiFePO<sub>4</sub>-Zellen haben jedoch gegenüber LiC<sub>6</sub>/LiFePO<sub>4</sub>-Zellen eine um den Faktor 0,25...0,33 reduzierte spezifische Energie, aber eine wesentlich höhere Lebensdauer (ca. 9.000 Zyklen).

**B – Hochvoltmaterialien.** Dies sind LiMnPO<sub>4</sub>, LiCoPO<sub>4</sub> und doped LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; das sind Materialien im Potenzialbereich um 5 V. Damit liegen sie weit außerhalb des klassischen „Electrochemical Window“. Es müssen daher auch neue Elektrolyte mit höherer Zersetzungsspannung

entwickelt werden, um die Systeme sicher zu machen. Mit diesen Li-Ionensystemen (theoretische spez. Energie ca. 500 Wh/kg) sind in der Langzeitperspektive max. 150–200 Wh/kg praktisch zu erreichen. Höhere Werte sind denkbar mit Li/Schwefel- (theoretisch: 2.600 Wh/kg) [1] und Li/Luftsystemen (theoretisch: 5.200 Wh/kg) [2]. Diese Systeme befinden sich vorerst im Forschungsstadium.

**Quellen:**

- 1 H.-J. Ahn, K.-W. Kim, J.-H. Ahn: Lithium-Sulfur Cells. In: Encyclopedia of Electrochemical Power Sources (ed. by J. Garche), Elsevier, 2009, Vol. 5, p. 155
- 2 S. J. Visco, E. Nimon, L. C. De Jonghe: Lithium-Air Batterys. In: Encyclopedia of Electrochemical Power Sources (ed. by J. Garche), Elsevier, 2009, Vol. 5, p. 376

# Messung der Wärmeleitfähigkeit als Beitrag zur Energieeinsparung Ulrich Groß

**Einleitung**

Das Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg betreibt seit über 25 Jahren ein Hochtemperaturlabor für thermophysikalische Stoffeigenschaften, das sich hauptsächlich auf die experimentelle Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit fester Materialien konzentriert. Die ersten Ansätze gehen auf Prof. Wolfgang Staudte (damals Dozent für Wärmeübertragung) zurück, der sich unter anderem mit Fragen der Anfallenergienutzung beim keramischen Brand beschäftigte. Seither entstand im Lampadiusbau ein Labor, das über zahlreiche Messgeräte zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, spezifischen Wärmekapazität und thermischen Expansion verfügt (s. Tab. 1). In diesem Beitrag wird nach einer kurzen Darstellung der angewandten Messverfahren über ausgewählte eigene Messergebnisse berichtet.

**Messverfahren**

Die Messverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit stützen sich auf die Definitionsgleichung für die Wärmeleitfähigkeit λ (das empirische Grundgesetz der Wärmeleitung)  $\dot{q} = -\lambda \text{ grad } T$  ( $\dot{q}$  = Wärmestromdichte) und die Differentialgleichung für instationäre Temperaturfelder nach Fourier (Energieerhaltungsprinzip)

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \text{div} (\lambda \text{ grad } T) \quad (1)$$

was bei den einzelnen Messverfahren zu angepassten Lösungen führt ( $\rho$  = Dichte;  $c$  = spezifische Wärmekapazität). Die gemessene Wärmeleitfähigkeit stellt bei porösen Medien (z. B. Dämmstoffen) einen Effektivwert dar, der alle wirksamen Transportmechanismen (in der Regel Wärmeleitung und Strahlung) enthält.

**Stationäre Verfahren**

Stationäre Verfahren erfordern meist verhältnismäßig große Proben, in denen örtliche Temperaturunterschiede gemessen werden. Bis zum Erreichen des Beharrungszustandes vergehen oft Stunden, was zu langen Messzeiten führt.

**Platte:** Für die Plattengeometrie ergibt sich eine besonders einfache Lösung

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{A} \frac{\delta}{\Delta T} \quad (2)$$

Dabei ist der Wärmestrom  $\dot{Q}$  eindimensional (senkrecht zur Platte,  $A$  = Fläche,  $\delta$  = Schichtdicke), was in der praktischen Umsetzung sehr große Aufwendungen erforderlich macht, da die Wärmeverluste in die jeweils anderen Raumrichtungen bestmöglich reduziert werden müssen. Das Institut verfügt über vier – zumeist selbst entwickelte und gebaute – Plattenapparaturen für unterschiedliche Parameterbereiche.

**Hohlzylinder (Rohr):** Die Hohlzylindergeometrie

$$\lambda = \frac{\dot{Q}}{L} \frac{\ln(r_a/r_i)}{2\pi\Delta T} \quad (3)$$

mit einem zentralen Heizelement reduziert das Problem der Wärmeverluste teilweise, hat jedoch den Nachteil, dass insbesondere in der Nähe der Zylinderachse sehr große Temperaturgradienten auftreten und bei der Positionierung der Temperaturmessstellen größte Präzision und Sorgfalt erforderlich ist. Zwei derartige Apparaturen wurden gebaut und werden mit unterschiedlichen Gasatmosphären bei Temperaturen bis zu 1450 °C betrieben.

**Stab:** Eine weitere selbstgebaute Versuchsanlage arbeitet nach einem von Despretz (1822) vorgeschlagenen Relativ-Verfahren mit kontrolliertem Wärmeverlust, wobei die Temperaturdifferenz längs einer stabförmigen, einseitig beheizten Probe mit einer Referenzprobe verglichen wird.

$$\lambda = \lambda_{\text{ref}} \frac{\left( \text{ar cosh} \left( \frac{T_2^* - T_{\text{wand}}}{T_1^* - T_{\text{wand}}} \right) \right)}{\left( \text{ar cosh} \left( \frac{T_2 - T_{\text{wand}}}{T_1 - T_{\text{wand}}} \right) \right)} \quad (4)$$

Das Verfahren eignet sich für gute und schlechte Wärmeleiter nahe der Umgebungstemperatur.

Tab. 1: Hochtemperaturlabor für thermophysikalische Stoffeigenschaften (Ausstattung)

Art und Funktion der Apparatur	Stoffe Probengröße/mm	Hersteller	Temperatur t/°C		Messbereich λ/W/mK a/cm²/s	Art der Beschaffung
			von	bis		
Stabapparatur (stationär) 1)	Feste Stoffe: 6 (∅) × 20 (35)	Eigenentwicklung und -bau	20	50	λ = 0,5–300	
Plattenapparatur (stationär) 1)	Feste Stoffe: 250 × 250 × 30	teilweise Eigenbau	-20	50	λ = 0,03–2	
	Feste Stoffe: 300 × 300 × 30	Eigenentwicklung und -bau	300	1450	λ = 0,025–2	
	Feste Stoffe: 400 × 400 × 30	Eigenentwicklung und -bau	300	1650	λ = 0,025–2	SMWK
	Feste Stoffe: 300 × 300 × 20; Atmosphäre und Druck 2) variabel	Eigenentwicklung und -bau	20	1000	λ = 0,001–1	DFG
Rohrapparatur (stationär) 1)	Feste Stoffe 180 × 60 (∅); Atmosphäre variabel	Eigenentwicklung und -bau	400	1450	λ = 0,025–3	
	Schüttstoffe; durchströmt	Eigenentwicklung und -bau	100	1200	λ = 0,03–10	
Heißdrahtapparatur (instationär) 1)	Feste Stoffe: 250 × 125 × 65	Eigenentwicklung und -bau	20	900	λ = 0,03–1,5	
Laserflashapparatur (instationär) 3)	Feste Stoffe: 12,6 (∅) × 2; Schmelzen	Netzsch-Gerätebau Selb	25	2000	a = 0,001–10	HBFG
Hochtemperatur-Kalorimeter (DSC) 4)	Feste Stoffe: 4,9 (∅) × 16; Schmelzen	Setaram Caluire Frankreich	100	1600		HBFG
Dilatometer 5)	Feste Stoffe: 0,4 (0,6)(∅) × 25	Netzsch-Gerätebau Selb	-180	1600		

- 1) – Wärmeleitfähigkeitsmessgerät
- 2) – Druckbereich von 10<sup>-8</sup> bis 100 bar
- 3) – Temperaturleitfähigkeitsmessgerät
- 4) – Messgerät zur Bestimmung der spez. Wärmekapazität
- 5) – Messgerät zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten

### Instationäre Verfahren

Bei instationären Verfahren wird ein anfangs ausgeglichenes Temperaturfeld durch eine plötzlich einsetzende, kurzzeitige oder dauerhafte äußere Beheizung gestört. Die bei stationären Verfahren oftmals sehr schwierige Messung örtlicher Temperaturunterschiede wird dabei durch die wesentlich einfachere Erfassung des zeitlichen Temperaturanstiegs an einer einzelnen Messstelle ersetzt. Instationäre Verfahren gibt es in vielen Varianten, wobei die Versuchsdauer zur Bestimmung der Systemantwort auf eine Störung stets wesentlich kürzer ist.

**Heißdraht:** Beim transienten Heißdrahtverfahren ist in die zunächst isotherme Probe ein dünner Draht eingebettet, der ab einem bestimmten Zeitpunkt konstant beheizt wird. Die Temperatur des Drahtes beginnt zu steigen, und zwar umso rascher, je geringer die Wärmeleitfähigkeit der Probe (d. h. der dadurch bedingte Wärmeverlust) ist. Als Messgröße dient der zeitliche Verlauf der Tempera-

tur, entweder des Drahtes selbst

$$T(r, \tau) - T(\tau = 0) = \frac{\dot{Q}/L}{4\pi\lambda} \ln \left[ \frac{4a\tau}{r^2 C} \right]$$

$$\lambda = \frac{\dot{Q}/4\pi L}{d(\Delta T)/d(\ln \tau)} \quad (5)$$

oder an einer etwas von ihm entfernten Stelle.

**Laser-Flash:** Beim Laser-Flash Verfahren genügt eine sehr kleine Probe, die ungefähr Tablettengröße (12,6 mm Durchmesser) besitzt und in einem Ofen auf einheitliche Temperatur gebracht wird. Der Ofenraum besitzt zwei Fenster. Durch das untere wird die eine Stirnseite der Probe einem extrem kurzen Laserblitz ausgesetzt, der an der Oberfläche absorbiert wird und dadurch das Temperaturfeld stört. Durch das obere Fenster wird mit Hilfe eines IR-Sensors die zeitliche Temperaturentwicklung an der Rückseite der Probe berührungsfrei registriert. Die mathematische Lösung für den (idealerweise) eindimensionalen Temperaturausgleichsvorgang

$$\frac{T(s, \tau) - T(\tau = 0)}{T(s, \tau \rightarrow \infty) - T(\tau = 0)} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \exp(-n^2 \pi^2 a \tau / s^2) \quad (6)$$

wird an das Messsignal angepasst, wodurch sich die Temperaturleitfähigkeit ergibt. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass die Temperatur selbst nicht von Interesse ist, sondern nur deren zeitlicher Verlauf. Die Wärmeleitfähigkeit ergibt sich dann gemäß  $\lambda = a \rho c_p$ , was die zusätzliche Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität und der Dichte erfordert. Dieses Verfahren ist immer dann vorteilhaft, wenn nur kleine Proben zur Verfügung stehen, die jedoch hinreichend homogen sein müssen.

### Ausgewählte Messergebnisse

Es gibt vielfältige Beispiele für die direkte oder mittelbare Energieeinsparung durch optimierten Wärmetransport. Dabei kann das Ziel in einer verminderten Wärmeleitfähigkeit bestehen, was zum Beispiel im Fall von Wärmedämmungen von Interesse ist. In anderen Situationen kann beispielsweise durch Verwendung von gut leitenden Werkstoffen Material – und damit auch Energie – eingespart werden.

### Wärmedämmung

In industriellen Ofenanlagen ist die Wärmedämmung primär für das Erreichen der erforderlichen hohen Temperaturen notwendig. Dabei ist das Potenzial für die Energieeinsparung durch Reduzierung von Wärmeverlusten trotz aller bisherigen Bemühungen sehr groß. Bei der Materialauswahl sind neben der Wärmeleitfähigkeit Fragen der Temperatur- und Alterungsbeständigkeit, Festigkeit und auch Wirtschaftlichkeit von Bedeutung. Nachfolgend werden beispielhaft einige Messergebnisse der effektiven Wärmeleitfähigkeit von Hochtemperaturdämmstoffen vorgestellt. Da es sich dabei stets um poröse Materialien handelt, trägt neben den molekularen Vorgängen der Wärmeleitung im Feststoff und im gasgefüllten Porenraum ganz wesentlich die Strahlung zur sogenannten „effektiven Wärmeleitfähigkeit“ bei. Aus der Kopplung dieser Effekte ergeben sich – je nach Material – charakteristische Einflüsse der Temperatur, wie dies in *Abb. 1* für einige Dämmstoffe zu erkennen ist. *Abb. 2* zeigt beispielhaft eine Glasfasermatte. Man erkennt, dass solche Materialien in der Regel eine sehr hohe Porosität bzw. geringe Rohdichte aufweisen, weshalb die effektive Wärmeleitfähigkeit oft ver-

einfachend als Summe der molekularen Wärmeleitung im Gas, im Feststoff sowie der Strahlung dargestellt werden kann:

$$\lambda_{\text{eff}} = a\sqrt{T} + bT^{-1} + cT^3 \quad (7)$$

Leitungs:    Leitungs:    Strahlung  
 Gase,        kristalline  
 amorphe     Feststoffe  
 Feststoffe

Je nach Materialart und Temperaturbereich dominiert dabei der eine oder andere Term, wie im nächsten Abschnitt anhand von Calciumsilikat gezeigt wird.

**Calciumsilikat:** Tab. 2 enthält Messergebnisse für drei Calciumsilikatmaterialien (unterschiedliche Hersteller). Eine Korrelation der Messdaten mit Gleichung (7) ermöglicht eine ansatzweise Ermittlung der Beiträge der einzelnen Transportmechanismen (siehe die letzten drei Spalten der Tab. 2). Daraus erkennt man beispielsweise, dass bei 25 °C die Strahlung überhaupt keine Rolle spielt, mit steigender Temperatur aber zunimmt und bei Material 1 für 1000 °C den dominierenden Effekt darstellt. Nur bei dem sehr dichten Material 3 ist die Strahlung auch für die höchste Temperatur vernachlässigbar gering. Man erkennt auch, dass in allen Fällen die Wärmeleitung in der Gasphase eine große Bedeutung hat. Wie aus Abb. 1 hervorgeht, ist das hier gezeigte Calciumsilikat im mittleren Temperaturbereich (400 bis 1000 °C) den Fasermaterialien ebenbürtig, die wegen ihrer Beständigkeit vor allem auch bei noch höheren Temperaturen Verwendung finden. Interessant ist auch, dass die Wärmeleitfähigkeit von Material 1 etwas kleiner als diejenige von Luft ist ( $\lambda_{\text{Luft}} = 0,026 \text{ W/mK}$ ). Dies deutet auf die Anwesenheit von Poren hin, deren Durchmesser in der Größenordnung der freien Weglänge von Luft liegt (Knudsen-Bereich), siehe auch das Microporöse Material in Abb. 1.

**Fasermaterialien:** Abb. 3 zeigt Ergebnisse systematischer Messungen mit Polykristalliner Wolle (Keramikfasern), die im Rahmen sehr umfangreicher experimenteller Untersuchungen im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) durchgeführt wurden. Sehr eindrucksvoll ist das Auftreten einer optimalen Dichte zu erkennen, die sich bei genauerer Betrachtung als temperaturabhängig erweist. Unterhalb von ungefähr  $100 \text{ kg/m}^3$  nimmt hier die effektive Wärmeleitfähigkeit wegen der steigenden Porosität (= zunehmenden Wirksamkeit der Strahlung) zu, oberhalb wegen des wachsenden Feststoffanteils. Aufgrund solcher Untersuchungen kann das Mate-

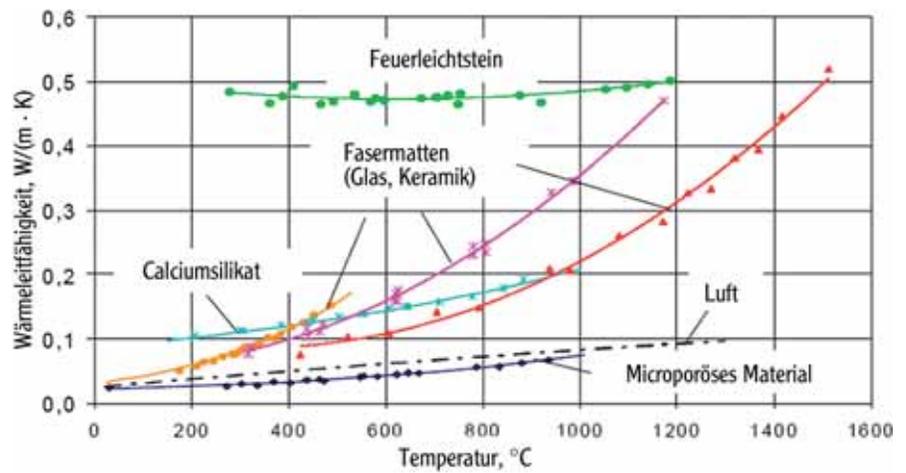


Abb. 1: Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Dämmstoffe

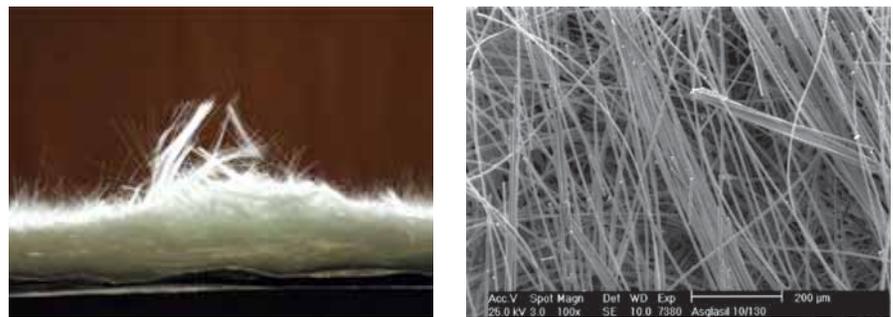


Abb. 2: Glasfasermaterial

Tab. 2: Ergebnisse für Calciumsilikat

Temperatur °C	Calciumsilikat	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{eff}}$ W/mK	$a\sqrt{T}$	$bT^{-1}$	$cT^3$
25 °C	Material 1	230	0,022	63 %	35 %	2 %
	Material 2	240	0,083	88 %	11 %	0,6 %
	Material 3	430	0,033	68 %	32 %	0,06 %
500 °C	Material 1	230	0,032	69 %	9 %	22 %
	Material 2	240	0,130	90 %	3 %	7 %
	Material 3	430	0,040	89 %	10 %	0,9 %
1000 °C	Material 1	230	0,062	46 %	3 %	51 %
	Material 2	240	0,192	78 %	1 %	21 %
	Material 3	430	0,050	92 %	5 %	3 %

Tab. 3: Dämmstoffe, strukturierte Materialien

Gewebe/Gestrick	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	Effektive Wärmeleitfähigkeit W/mK		
		bei 25 °C	bei 500 °C	bei 800 °C
Baumwolle (Gestrick)	55	0,041		
Acryl (Gestrick)	50	0,035		
Wolle/Acryl (Gestrick)	50	0,036		
Glasfaser (Gewebe)	65	0,042	0,220	
	70	0,035	0,210	
	630	0,060	0,125	
	930	0,068	0,116	
Aluminosilikatfaser (Gestrick)	60	0,050	0,170	0,370
	310	0,065	0,150	0,290
<b>Schaum- und andere Strukturen</b>		<b>bei 25 °C</b>	<b>bei 500 °C</b>	<b>bei 800 °C</b>
Polymerschaum		0,043		
Mineralschaum	70	0,043		
Leichtbaustruktur für Hubschrauber	Dach	0,058		
	Bodenplatte	1,27		
Stahl (Hohlkugelstruktur)	340	1,4	1,45	1,5
	773	2,4	2,7	2,7
Korund (Hohlkugelstruktur)	1600	1,80	1,58	1,30
Bremsbelag	3080	2,0	1,8	

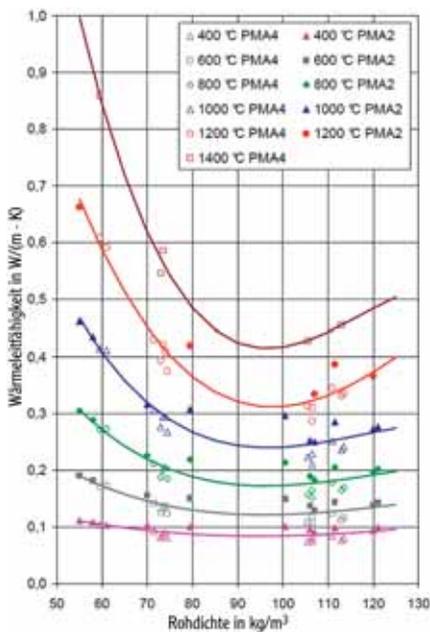


Abb. 3: Wärmeleitfähigkeit von Matten aus polykristalliner Wolle

rialverhalten modelliert werden, um die Auswahl geeigneter Dämmstoffe für die praktische Anwendung zu unterstützen.

Es gibt zahlreiche Dämmmaterialien, bei denen Fasern zu einem Gewebe oder Gestrick verarbeitet werden. Tab. 3 zeigt dazu im oberen Teil Messergebnisse, bei denen je nach Material unterschiedlich hohe Temperaturen erreichbar waren. Dazu gehören Natur- und Kunstfasern für den Bekleidungsbereich ebenso, wie Dämmstoffe aus Glasfasern oder Aluminiumsilikatfasern. Bei den beiden letztgenannten Gruppen ist deutlich zu erkennen, wie die effektive Wärmeleitfähigkeit mit wachsender Dichte bei Raumtemperatur zu – und bei hoher Temperatur abnimmt. Verantwortlich für dieses Verhalten ist eine Verschiebung der optimalen Dichte mit steigender Temperatur, d. h. zunehmender Strahlungsaktivität.

### Strukturierte und Verbundmaterialien

Es gibt eine große Gruppe von strukturierten Materialien aus unterschiedlichsten Anwendungsgebieten. Dabei steht nur noch teilweise die Wärmedämmung im Vordergrund. Oftmals ist eine Energieeinsparung auch durch verbesserten Wärmetransport beabsichtigt, was im Fall von Wärmeübertragern zu kleineren und leichteren Apparaten führt; in manchen Fällen steht die Wärmeleitfähigkeit auch ganz im Schatten der mechanischen Eigenschaften.

Der untere Teil von Tab. 3 enthält einige Messergebnisse für strukturierte Materialien, von denen nur die beiden

Tab. 4: Granulat, Sand, geotechnische Materialien

	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	Effektive Wärmeleitfähigkeit W/mK			
		bei 25 °C	bei 500 °C	bei 800 °C	
Aerosil (pyrogene Kieselsäure)	84	0,025			
Reisschalenasche	200	0,090	0,175	0,435	
	300	0,124	0,208	0,388	
Hausmüll (Granulat)	611	0,12	0,15		
Ofenbelag aus einer Müllverbrennungsanlage (Granulat)	730	0,13	0,20	0,28	
Braunkohle (trocken; Herkunft: Australien)	565	0,075	0,13		
Labelcokohle (Granulat)	825	0,17	0,50	0,68	
Anthrazitkohle (Granulat)	1021	0,29	0,50	0,62	
Sicherungssand	1554	0,3	0,49	0,69	
Formsand	gebunden mit Furanharz	1595	0,42	0,47	0,58
	gebunden mit Epoxidharz	1600	0,46	0,49	0,61
	Zementmischung	1625	0,52	0,53	0,60
Bentonit	pur	1993	0,90		
	mit 30 % Quarzsand	2025	0,91		
Beton	Typ 1	1509	0,587		
	Typ 2	1975	0,941		
Asphalt	Typ 1	1470	1,267		
	Typ 2	2042	1,101		

ersten – Polymerschäum und Mineralschäum – der Gruppe der Dämmstoffe zuzuordnen sind. Für einen Hersteller von Hubschraubern wurden Leichtbaustrukturen untersucht, die als Grundplatte für das Getriebe, als Bodenplatte oder für die Dachkonstruktion eingesetzt werden. Hohlkugelstrukturen aus Stahl verbinden eine verhältnismäßig geringe Dichte mit hoher Festigkeit und einem guten Wärmeleitvermögen.

Ganz am Ende folgt schließlich ein ausgewähltes Ergebnis von Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit von Bremsbelägen, die im Betrieb sehr heiß werden können, und bei deren Entwicklung und Auslegung die Temperaturverteilung wichtig ist.

### Granulat, Sand und geotechnisch interessante Materialien

Die Vielfalt der Stoffe, die als Granulat vorliegen oder daraus hergestellt werden, ist umfangreich (Tab. 4). Die beiden ersten Materialien (Aerosil und Reisschalenasche) sind Stoffe, die für die Wärmedämmung in Frage kommen; auch hier ist die Umkehrung des Dichteeinflusses bei steigender Temperatur zu beobachten. Es folgt dann eine ganze Gruppe von Granulaten, deren Wärmeleitfähigkeit für die Dimensionierung von Verbrennungsanlagen bekannt sein muss. Dazu gehört Hausmüll ebenso, wie Kohle und schließlich Ofenbeläge, die in einer Müllverbrennungsanlage entstanden sind.

Die Wärmeleitfähigkeit von Sicherungssand wurde für einen Hersteller von Schmelzsicherungen gemessen, gebundener Formsand ist für das Gießerei-

wesen wichtig und wurde in Kooperation mit Auftraggebern innerhalb und außerhalb der TU Bergakademie Freiberg untersucht. Schließlich folgen noch einige Baustoffe, bei denen die Wärmeleitfähigkeit in der Regel nicht im Vordergrund steht, aber dennoch oftmals bekannt sein muss.

### Metalle in fester und flüssiger Form

Bei gut leitenden Materialien sind völlig andere Messverfahren erforderlich als bei eher Wärme dämmenden Stoffen. Mit Hilfe der Laserflash Apparatur werden in großem Umfang Legierungseinflüsse auf die Temperaturleitfähigkeit von Metallen untersucht, aus der dann nach Bedarf die Wärmeleitfähigkeit ermittelt wird. Derartige Messdaten sind für eine verbesserte Auslegung – beispielsweise von Wärmeübertragern oder Turbinenschaukeln – notwendig, um am Ende Material und dadurch Energie einzusparen.

Abb. 4 zeigt eigene Messergebnisse für hochreines Kupfer und Zinn aus einem Ringversuch, an dem zahlreiche europäische Labors beteiligt waren. Man erkennt im festen Bereich das für kristalline Stoffe typische Absinken der Temperaturleitfähigkeit mit steigender Temperatur bis zum Schmelzpunkt, bei dessen Überschreiten eine sprunghafte Verkleinerung auftritt. Die zum Vergleich gezeigte Aluminiumlegierung hat eine ganz andere Charakteristik, die von einem allmählichen Übergang während des Erweichungsprozesses geprägt ist.

Abschließend soll in Abb. 5a und 5b der Einfluss von Legierungsbestandteilen auf die Temperatur- bzw. Wärmeleit-

fähigkeit von Stahl dargestellt werden. Die jeweils oberste Kurve zeigt die aus Abb. 4 bekannte Charakteristik reiner Metalle. Mit zunehmendem Anteil von Legierungsbestandteilen (hier bis auf max. 4,4 %) wird sowohl die Temperaturleitfähigkeit als auch die Wärmeleitfähigkeit immer stärker beeinträchtigt, und der Charakter der Kurvenverläufe ändert sich mehr und mehr. Mit wachsender Temperatur schwindet der Einfluss der Fremdbestandteile. Bei ungefähr 760 °C ergibt sich für die Temperaturleitfähigkeit ein scharfes Minimum, und auch die Wärmeleitfähigkeit zeigt Irritationen. Hier ist der Curiepunkt erreicht, der den Übergang vom ferrromagnetischen zum paramagnetischen Zustand markiert. Bei höheren Temperaturen nimmt die Wärmeleitfähigkeit des immer noch festen Stahls leicht zu, bis schließlich nach Überschreiten des Schmelzpunkts oberhalb von 1500 °C wieder ein leichter Rückgang zu erkennen ist (nur für die Temperaturleitfähigkeit in Abb. 5a gezeigt).

**Zusammenfassung, Ausblick**

Die in diesem Beitrag vorgestellten Beispiele für die Messung der Wärmeleitfähigkeit stehen stellvertretend für viele kleinere und größere Projekte auf diesem Gebiet. Zwei erfolgreiche Habilitationen sowie zwei abgeschlossene und drei laufende Promotionen zeigen die Aktivität auf diesem Gebiet. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit folgenden Problemen:

- Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit verbesserter keramischer Schutzschichten für thermisch hoch belastete Teile von Gasturbinen; der Hintergrund ist eine Wirkungsgradsteigerung (und damit die Energieeinsparung) durch Anhebung der maximalen Prozesstemperatur (gemeinsames Projekt mit dem Institut für Werkstoffwissenschaft).
- Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von Polymeren durch Einlagerung von nanoskaligen Strukturen; hier geht es um die Substituierung von Metallen in Wärmeübertragern: solche Apparate werden dadurch leichter, kostengünstiger und weniger energieaufwändig in der Herstellung (EU-Verbundvorhaben mit zahlreichen Partnern aus mehreren europäischen Ländern).
- Veränderung der effektiven Wärmeleitfähigkeit poröser Materialien bei einem Wechsel der Art des Porengases unter den gekoppelten Einflüssen von Gasdruck, Porengrößenverteilung und

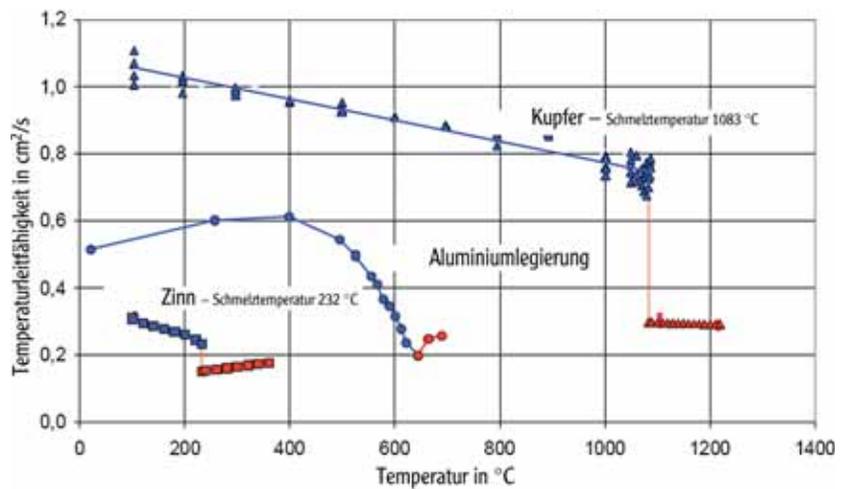


Abb. 4: Temperaturleitfähigkeit von Metallen

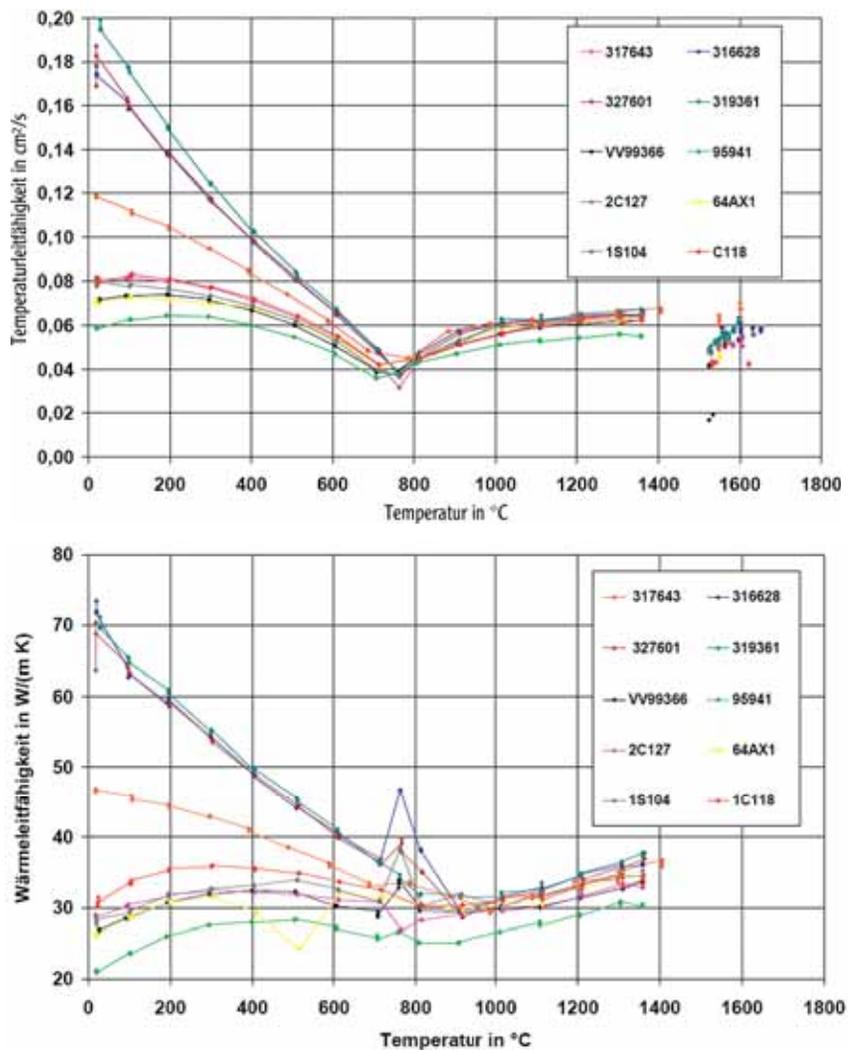


Abb. 5a, b: Einfluss von Legierungsbestandteilen auf die Temperaturfähigkeit (a) (oben) und Wärmeleitfähigkeit von Stahl (b) (unten)

Temperatur. In einem von der DFG geförderten Vorhaben werden dabei vor allem die Besonderheiten bei hohen Knudsen-Zahlen untersucht, die für die praktische Anwendung mikroporöser Dämmstoff hochinteressant sind.

Aus Sicht des sparsamen und nach-

haltigen Umgangs mit Energie in ihren unterschiedlichen Erscheinungsformen kommt der Messung der Wärmeleitfähigkeit von Werkstoffen aller Art und den darauf gestützten Optimierungsmaßnahmen eine wichtige und oftmals kaum wahrgenommene Bedeutung zu.

# Neue Entwicklung von Gläsern für die solare Energienutzung

Heiko Hessenkemper

Bedingt durch die steigende Nachfrage nach Solarthermie und Photovoltaik wächst auch der Bedarf an qualitativ angepasstem Glas. Im Bereich der Photovoltaik werden die Produktionskapazitäten zwischen 2008 und 2011 um mehr als 20 Gigawattpeak (GWp) weltweit ausgebaut. Auf Deutschland bezogen, bedeutet dies eine Zunahme um 20%. Auf dem Gebiet der Solarthermie wuchs der Markt 2008 in Europa auf mehr als 3 Mio. m<sup>2</sup>, wovon allein in Deutschland 50% dieser Menge installiert worden sind. Dieser Trend ist anhaltend, und es sind erste solarthermische Kraftwerke mit einer Leistung von 50 Megawatt (MW) gebaut worden. Kraftwerke mit einer Leistung von 250 MW sind in Bau. Der dabei entstehende Glasbedarf ist stark technologieabhängig und liegt für die viel Glas verbrauchende Photovoltaikproduktion bei 60–300 kg pro Kilowattpeak. Der zusätzliche Glasbedarf, der sich aus diesem wachsenden Markt ergibt, wird für 2011 auf 2 Mio. Jahrestonnen geschätzt.

Der Kostenanteil des Glases am Modulpreis liegt bei Dickschichtmodulen bei über 5%, bei Dünnschichtmodulen sogar bei 25%. Um wie geplant bis spätestens 2012 Netzparität (*grid parity*) zu erreichen, müssen die Modulpreise um 50% gesenkt werden. Dies hat zur Folge, dass der Glaskostenanteil für Dickschichtmodule auf etwa 15% bzw. bei Dünnschichtmodulen auf über 50% ansteigt. Die Konsequenz dessen ist, dass Dünnschichtmodulhersteller immer mehr zu Glashändlern werden.

Die Herstellung des derzeit verwendeten Floatglases ist sehr teuer, da qualitativ hochwertige Rohstoffe mit geringen Eisengehalten eingesetzt werden müssen. Der Formgebungsprozess in der Floatkammer schafft zwar qualitativ hochwertige Oberflächen, verschiebt aber durch die reduzierende Atmosphäre den Redoxzustand des Eisens – Eisen(III)- werden zu Eisen(II)-Verbindungen reduziert – im Glas. Dies bedeutet eine Verschlechterung der Transmission des Glases, was

bezogen auf Photovoltaik und Solarthermie eine Reduktion des Wirkungsgrades bedingt. Nach der Herstellung des Rohglases durchläuft das Glas noch mehrere Konfektionierungs- und Veredelungsschritte, die, bedingt durch räumliche Entfernungen, einen erheblichen Logistikaufwand mit sich bringen und die Kosten des Rohglases um ein Mehrfaches ansteigen lassen.

Dabei gibt es durchaus Möglichkeiten, die Kosten für thermisch gehärtetes Glas von 8 EUR/qm auf etwa 3 EUR/qm zu senken. Ein neuartiger Weg wird dafür am Lehrstuhl für Glas- und Emailtechnik der TU Bergakademie Freiberg aufgezeigt. Die Umsetzung der Idee ist ein innovatives Walzglaswerk mit integrierter Veredelung und Konfektionierung direkt neben der eigentlichen Modulproduktion. Das Glas soll in einer kleineren U-Flammenwanne geschmolzen und dann auf Dicken von 1,5 bis 2 mm anstatt der bisher üblichen Dicke von 3 bis 4 mm gewalzt werden

Im heißen Zustand wird das Glasband getrennt, und im gleichen Verfahrensschritt erfolgt die Kantenbearbeitung. Die noch sehr heiße Glasoberfläche kann nun chemisch veredelt und ab-

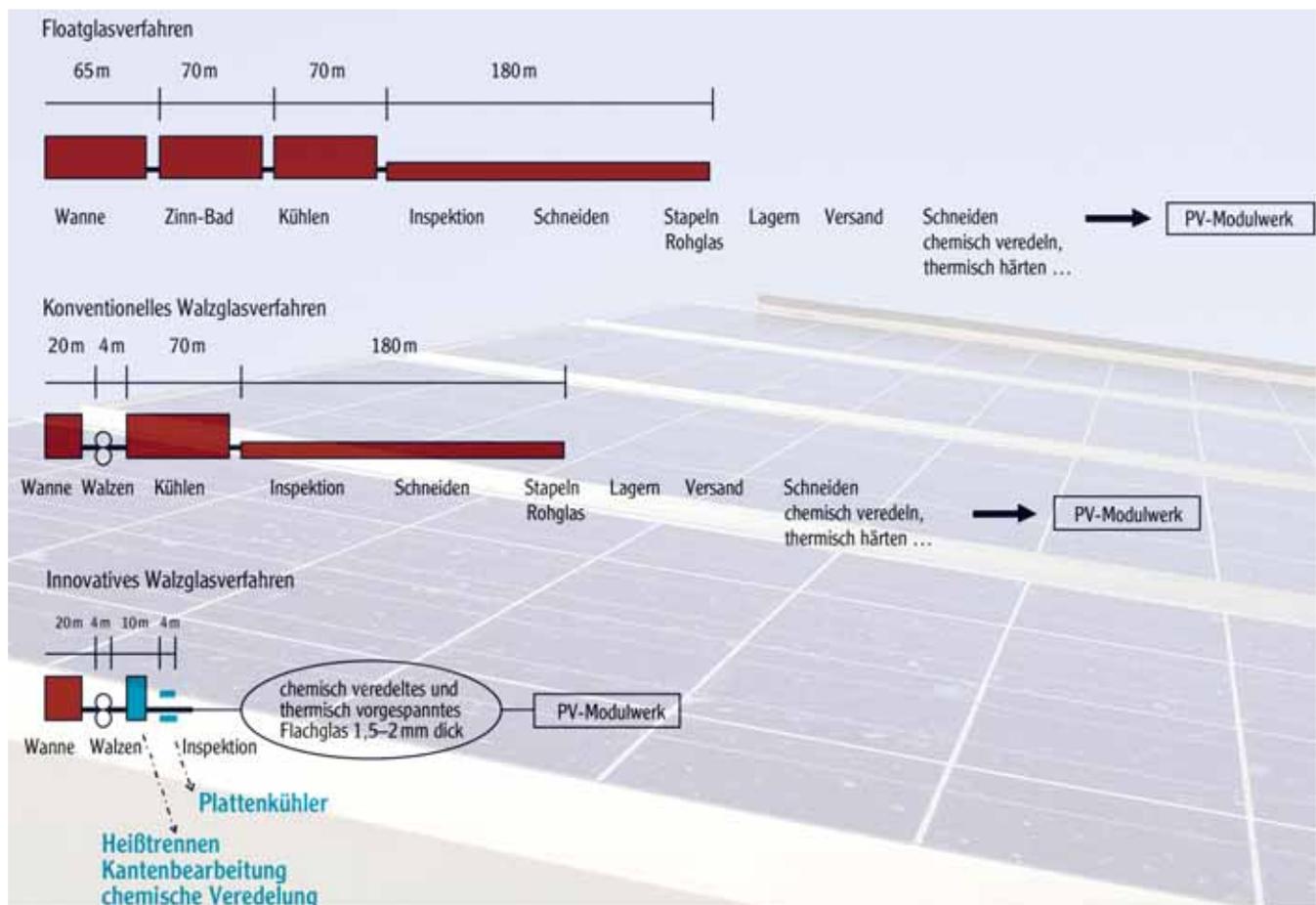


Abb. 1: Vergleich der herkömmlichen und des innovativen Glasherstellungsverfahren für die Photovoltaik-Industrie

schließend durch einen neuartigen Plattenkühler thermisch gehärtet werden. Als Produkt ergibt sich ein chemisch veredeltes, thermisch vorgespanntes Glas mit einer Dicke von 1,5 bis 2 mm, das sofort im angrenzenden Photovoltaikwerk prozessiert werden kann. Der Vorteil liegt klar auf der Hand. Das auf diesem Prozessweg erzeugte dünnere Glas hat eine höhere Transmission. Bei der Walzglasherstellung kann auf weniger reine und damit preiswertere Rohstoffe zurückgegriffen werden, da kein transmissionsverschlechternder Prozess (keine Floatkammer und damit keine Reduktion) stattfindet. Gleichzeitig entfällt der Logistikaufwand, da sofort nach dem formgebenden Prozess Konfektionierung, chemische Veredelung und

thermische Härtung erfolgen. Die beiden letztgenannten Prozesse führen zu einer höheren Qualität des Glases, das hydrolytisch beständiger ist, da Transport und Lagerung entfallen. Durch die neue Technologie des Glashärtens mit einem Plattenkühler kann das Glas dünner und obendrein fester als konventionell thermisch gehärtetes Glas hergestellt werden, da höhere Festigkeitseigenschaften als mit 4-mm-Floatglas erreicht werden. Die sich sofort anschließende Modulproduktion hat den Vorteil, dünneres Glas einsetzen und damit leichtere Module mit einem höheren Wirkungsgrad produzieren zu können.

Weiterhin kann bei Dünnschichtmodulen die Rückseite durch Glaserzeugnisse aus industriellen Reststoffen, die

sehr preiswert zu erhalten sind, ersetzt werden. Sie weisen die Vorteile einer optimalen Natriumionenkonzentration und -bindung sowie einer höheren Transformationstemperatur auf, was eine höhere Prozess- und Kristallisationstemperatur erlaubt.

Die regenerativen Energien eröffnen eine Wachstumschance für Glasprodukte. Entwicklungen der Glastechnologie haben strategische Bedeutung für die Photovoltaikindustrie. Es ist denkbar, die Quadratmeterpreise für veredeltes PV-Glas auf etwa ein Drittel der heutigen Kosten bei gleichzeitiger Qualitätsoptimierung zu senken. Wesentlich hierfür wird eine engere Kooperation beider Industrien sein.

## Untersuchung des Festigkeitsverhaltens beim Schweißen druckbelasteter Gashochdruckleitungen

Marco Enderlein, Meinhard Kuna

### Einleitung

Trotz des Strebens nach verstärkter Nutzung regenerativer Energiequellen kommt dem Energieträger Erdgas in der heutigen Zeit nach wie vor eine große Bedeutung zu. Da Gasquelle und Verbraucher nur selten nah beieinander liegen, muss das Gas über weite Rohrstrecken transportiert werden. Dazu wird das Erdgas nach der Gewinnung über Hochdruckferngasleitungen mit einem Druck von ca. 67 bis 80 bar eingespeist und über eine entsprechende Anzahl von Verdichterstationen kontinuierlich gefördert. Die Verteilung des Gases erfolgt dann über regionale Hochdrucknetze und weiter in die Orts- und Niederdrucknetze. Zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Betriebs müssen die Anlagen und Rohrleitungen regelmäßig kontrolliert und gewartet sowie im Bedarfsfall auch erweitert werden. Aus betriebswirtschaftlicher und technischer Sicht ist bei der Durchführung der dabei häufig erforderlichen Schweißarbeiten eine Stilllegung der Gasleitung bzw. eine Druckabsenkung oftmals nicht möglich. Vielmehr muss eine unterbrechungsfreie Gasversorgung für die angeschlossenen Verbraucher sichergestellt sein. Aus diesem Grund werden Gasleitungen im Rahmen von Reparaturen oder Erweiterungen zumeist im Betriebszustand geschweißt.

Vor diesem Hintergrund wird am Institut für Mechanik und Fluidynamik

(IMFD) im Auftrag der Verbundnetz Gas AG ein Forschungsprojekt bearbeitet, das sich mit der Simulation des Schweißens von Gashochdruckleitungen bei laufendem Betrieb beschäftigt. Ziel des Projekts ist die sicherheitstechnische Bewertung der geschweißten Rohrleitung unter Berücksichtigung lokaler Materialveränderungen infolge der Erwärmung beim Schweißen sowie die Optimierung der Technologie des „Schweißens unter Druck“.

Die Vorgehensweise bei einer derartigen Schweißung ist in *Abb. 1* beispielhaft für das Anbringen einer Anschlussverweiterung dargestellt. Vor dem eigentlichen Schweißvorgang wird der Bereich der Schweißnaht mittels einer Induktionsglühanlage auf 80–100°C vorgewärmt, wobei die Glühkabel je nach Gasdurchflussmenge in geeigneter Anordnung auf das Grundrohr aufgewickelt werden.

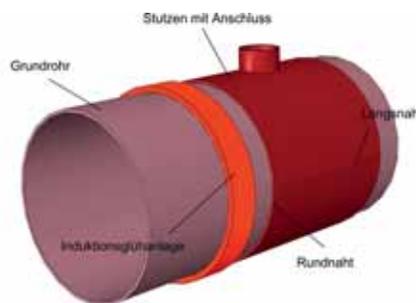


Abb. 1: Vorgehensweise beim Schweißen einer Anschlussverweiterung an einer Rohrleitung

Stellt sich im Nahtbereich ein stationärer Wert im geforderten Temperaturintervall ein, beginnt das Lichtbogenhandschweißen. Dabei werden zunächst die Längsnähte ausgeführt, um die beiden Stutzenhälften miteinander zu verbinden. Durch das anschließende Schweißen der Rundnähte erfolgt der Stoffschluss zwischen Leitung und Stutzen. Nach Beendigung des Schweißvorgangs wird die Glühanlage langsam heruntergefahren, und es kann mit den Anbohrarbeiten begonnen werden.

### Vorwärmung durchströmter Rohrleitungen

Eine kritische Größe für das Festigkeitsverhalten der Schweißverbindung stellt die erhöhte Abkühlgeschwindigkeit infolge des Wärmeabflusses durch die Gasströmung dar. Hierdurch wird die unerwünschte Martensitbildung begünstigt, und die Eigenspannungen im Bereich der Schweißnaht nehmen zu. Dem wird durch die Rohrvorwärmung entgegengewirkt. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Rohrleitung nicht zu stark erwärmt wird, um ein Versagen infolge des Innendrucks und der gleichzeitig bei erhöhter Temperatur herabgesetzten Festigkeit auszuschließen.

Zur Simulation der Rohrvorwärmung wurde ein Berechnungsmodell, basierend auf der eindimensionalen Theorie der Rippen, entwickelt [1]. Ausgangspunkt

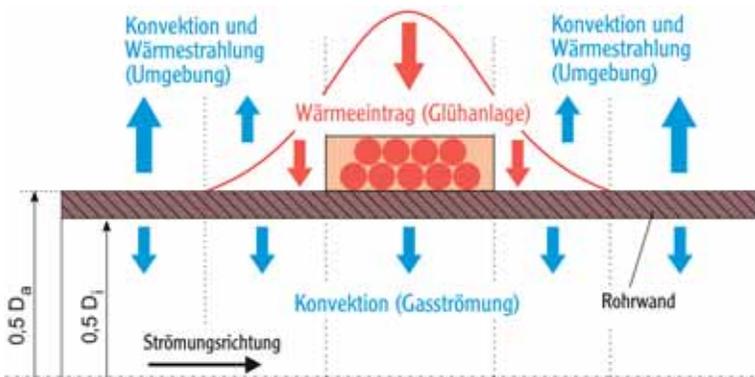


Abb. 2: Modell zur Simulation der Rohrvorwärmung mittels Induktionsglühanlage

ist hierbei die Wärmeleitungsgleichung nach Fourier, wobei das Temperaturprofil vereinfacht nur eindimensional in axialer Richtung der Rohrleitung betrachtet wird. Die Temperatur über der Dicke der Rohrwand wird als konstant angenommen. Die Festlegung der erforderlichen Rand- und Übergangsbedingungen geht aus der Modellskizze in *Abb. 2* hervor.

An der Rohraußenwand erfolgt der Wärmeübergang durch freie Konvektion und Wärmestrahlung, wobei die Umgebungstemperatur als konstant angenommen wird. Der Energieeintrag erfolgt im Bereich der Heizanlage durch Vorgabe eines Wärmestroms. An der Rohrinneinnenseite wird die Wärmeübertragung im Wesentlichen durch erzwungene Konvektion bestimmt, was zu einer Erhöhung der Gastemperatur führt. Strahlungsaustausch zwischen den Rohrwandabschnitten sowie Wärmeleitung im Gas (diffuser Wärmetransport) können vernachlässigt werden. Die sich ergebenden Differenzialgleichungen zur Beschreibung der Wärmeübertragung werden mit Hilfe des Finite-Differenzen-Verfahrens numerisch gelöst.

Da der Wärmeübergang zum strömenden Gas von besonderem Interesse hinsichtlich der Abkühlgeschwindigkeit beim Schweißen ist, wurde dieser zum einen mit empirischen Lösungsansätzen, basierend auf den Ähnlichkeitskennzahlen der Strömung, und zum anderen mithilfe numerischer Strömungssimulationen eingehend untersucht. Die Schwierigkeit besteht hierbei darin, dass die Gasströmung bereits hydrodynamisch ausgebildet ist, sich aber aufgrund der lokal begrenzten Wärmezufuhr im Bereich der Induktionsheizung im thermischen Einlauf befindet. Die Dicke der thermischen Grenzschicht, die maßgebend für

den Wärmeübergang im Schweißnahtbereich ist, ändert sich also im betrachteten Rohrabschnitt.

Neben der korrekten Abbildung des Wärmeübergangs hat die Modellierung des Wärmeeintrags einen entscheidenden Einfluss auf die sich einstellende Temperaturverteilung im Rohr. Die Induktionsglühanlage ruft im Rohr Wirbelströme hervor, die aufgrund des Ohmschen Widerstands zur Erwärmung des elektrisch leitenden Rohrmaterials führen. Dieser Effekt wird durch eine charakteristische Verteilung innerer Wärmequellen modelliert, welche die Wirkung der Induktionsheizung adäquat wiedergeben. Auch hier wurden verschiedene empirische Lösungsansätze untersucht und mit numerischen Simulationen der elektromagnetischen Felder und der daraus resultierenden Temperaturverteilungen verglichen.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass mit dem entwickelten Modell der axiale Temperaturverlauf in der Rohrwand in guter Übereinstimmung mit auf Baustellen gemessenen Werten abgebildet werden kann, s. *Abb. 3*. Nach Abschluss der Arbeiten steht damit ein Software-Tool zur Verfügung, mit dem auf der Baustelle vor Ort die für eine effektive und sichere Vorwärmung einzustellenden Prozessparameter ermittelt werden können.

### Thermomechanische Schweißsimulation

Neben den Untersuchungen zur Vorwärmung steht die Simulation des eigentlichen Schweißprozesses im Mittelpunkt des Forschungsprojekts. *Abb. 4* zeigt die in der Literatur gängige Unterteilung einer solchen Schweißsimulation in Prozess-, Konstruktions- und Werk-

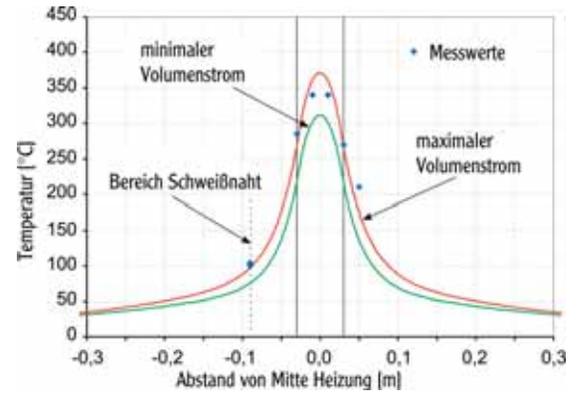


Abb. 3: Berechneter Temperaturverlauf entlang der Rohrwand für verschiedene Gasvolumenströme im Vergleich mit gemessenen Temperaturwerten

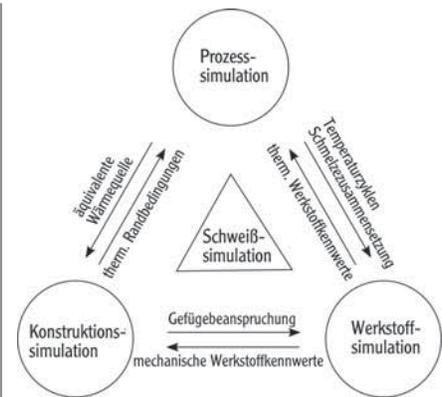


Abb. 4: Teilgebiete und Wechselwirkungen in einer Schweißsimulation [2]

stoffsimulation sowie die Wechselwirkungen der einzelnen Teilgebiete.

Die zentrale zu lösende Aufgabe besteht in der Berechnung des instationären Temperaturfeldes im Bereich der Schweißnaht, da die Festigkeit der Schweißverbindung im Wesentlichen durch die Gefügeumwandlungen und die thermischen Dehnungen beim Durchlaufen des Temperaturzykluses während des Schweißprozesses bestimmt wird. Ist die Temperaturverteilung berechnet, lassen sich daraus mittels Spannungsanalyse Aussagen zur Belastung im Bereich der Schweißung sowie zu sich einstellenden Eigenspannungen ableiten. Ebenso können anhand des Temperaturverlaufes Vorhersagen bezüglich zu erwartender Gefügeumwandlungen getroffen werden. Hierzu wird im Rahmen des Projekts an der AGH University of Science and Technology in Krakau, Polen, ein Phasentransformationsmodell zur Beschreibung der Umwandlungskinetik der vier Phasen Ferrit, Perlit, Bainit und Martensit entwickelt [3]. Die erforderlichen Modellparameter werden anhand von Dilatometerversuchen bestimmt.

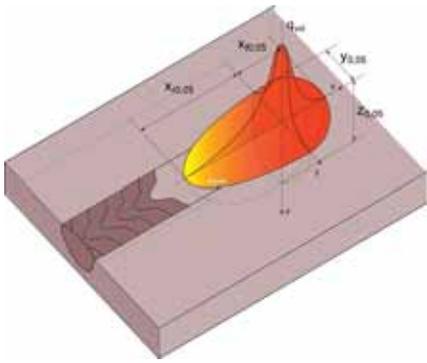


Abb. 5: Normalverteilte unsymmetrisch ellipsoide Volumenwärmequelle nach Goldak [5]

Die thermische Simulation des Lichtbogenhandschweißens erfolgt numerisch auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) [4]. Die Schweißelektrode wird hierbei als sich in Nahrichtung bewegend Wärmequelle modelliert, wobei eine halb-ellipsoide Volumenquelle mit Normalverteilung der Wärmeleistungsdichte angenommen wird, s. Abb. 5.

Diese Art der Modellierung hat sich gegenüber ebenen Wärmequellflächen durchgesetzt, da die durch Wärmeleitung und Schmelzbadkonvektion hervorgerufene Wärmeverteilung in Tiefenrichtung des Bauteils hierdurch deutlich besser berücksichtigt werden kann. Zudem ermöglichen verschiedene Parameter eine sehr gute Anpassung des Modells an die reale Schweißquelle.

Synchron zur Bewegung der Wärmequelle erfolgt die Einbringung des Schweißzusatzwerkstoffes im Nachlauf der Elektrode. Das geschieht durch eine Aktivierung der entsprechenden finiten Elemente des Zusatzwerkstoffes auf Basis einer Zustandsvariablen, mit der zwischen den beiden Zuständen „Material noch nicht vorhanden“ und „Material durch Lichtbogen aufgetragen“ umgeschaltet werden kann, verbunden mit der Zuweisung entsprechender Materialeigenschaften. Komplettiert wird das Modell durch die Vorgabe von Anfangs-, Rand- und Übergangsbedingungen.

Abb. 6 zeigt das Finite-Elemente Modell einer Schweißprobe mit Kehlnahtschweißung, das zur Modellverifikation und -kalibrierung verwendet wurde. Im Ergebnis der Simulation erhält man die Temperaturverteilung im Modell für jeden Zeitpunkt analog zur Schnittdarstellung in Abb. 6 rechts unten.

Die Qualität der Berechnungsergebnisse lässt sich durch Vergleich mit Schlibfbildern der realen Schweißprobe anhand der Ausdehnung des aufge-

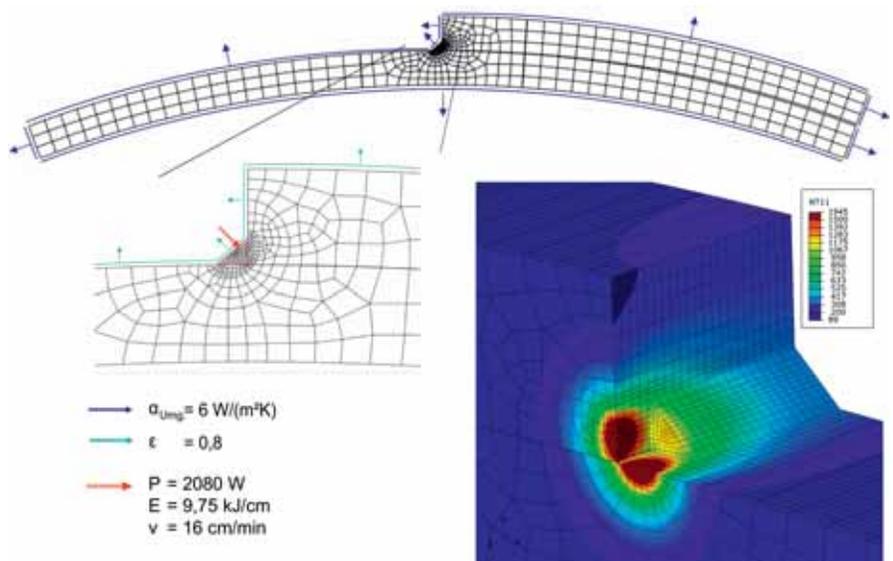


Abb. 6: Finite-Elemente-Modell für die transiente thermische Simulation einer Kehlnahtschweißung an einer Schweißprobe und berechnete Temperaturverteilung mit eingebrachtem Zusatzwerkstoff im Bereich der Schweißelektrode

schmolzenen Bereiches (Fusionslinie) und der Wärmeeinflusszone (WEZ) beurteilen. Beispielhaft ist diese Vorgehensweise in Abb. 7 dargestellt.

Die Fusionslinie ist im Schlibf als Übergang des hellen Schweißnahtbereiches zum dunkleren Ring der WEZ erkennbar. Eine exakte Übereinstimmung der Fusionslinie mit der 1500 °C-Isolinie der Simulation wird für das dargestellte Beispiel noch nicht erreicht. Ursache dafür ist u. a., dass die geradlinige Bewegung der Schweißelektrode in Nahrichtung in der Realität durch eine seitwärts gerichtete Pendelbewegung überlagert wird. Dadurch kommt es zu einer ellipsenähnlichen Ausprägung der WEZ wie im Schlibfbild, während bei fehlender Pendelbewegung die Simulationsergebnisse kreisförmige Konturen zeigen.

Zur Verbesserung der Simulationsergebnisse werden zurzeit weitere Untersuchungen durchgeführt. Hierbei erfolgt eine intensive Zusammenarbeit mit der Fachgruppe Fertigungstechnik der Hochschule Mittweida, durch die auf Basis von Probeschweißungen unter exakt definierten Rahmenbedingungen die instationären Temperaturfelder während des Schweißvorgangs aufgezeichnet und metallographische Analysen durchgeführt werden. Experimentelle Daten werden dabei nicht nur für Einlagen- sondern auch für Mehrlagenschweißungen erhoben, deren Simulation im Vordergrund derzeitiger und zukünftiger Arbeiten steht.

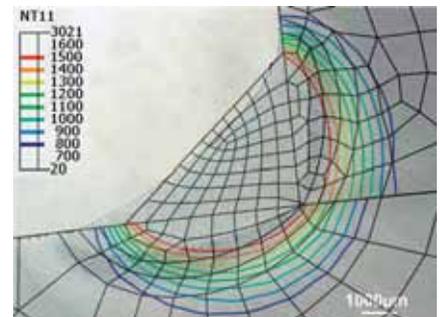


Abb. 7: Vergleich der berechneten Temperaturverteilung mit dem Schlibfbild einer Probeschweißung

Die Autoren bedanken sich bei den maßgeblich beteiligten Mitarbeitern Dr. M. Scherzer, S. Rasche, H. Fischer, den Studenten F. Koch, M. Pönitz sowie bei Prof. M. Pietrzyk (AGH Krakau) und Prof. P. Hübner (Hochschule Mittweida).

**Literatur**

- 1 M. Pönitz: Vorwärmung von gasdurchströmten Rohrleitungen. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 2008.
- 2 D. Radaj: Schweißprozesssimulation. Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999.
- 3 M. Pietrzyk, R. Kuziak, T. Kondek: Modelling of plastic deformation of steels in the transformation range of temperatures. In: Plasticity of metallic materials. Eds. E. Hadasik, I. Schindler. Publ. Politechnika Śląska, Gliwice, 2004, 223-238.
- 4 F. Koch: Thermische und mechanische Analyse des Schweißvorgangs von Rohren unter Gasdruck. Studienarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 2008.
- 5 J. Goldak, A. Chakravarti, M. Bibby: A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. In: Metallurgical Transactions B (1984), 15 (2), S. 299-305.

# Energieeffizienz bei Zerkleinerungsprozessen Jan Lampke, Thomas Folgner

Unter Zerkleinerungsprozessen wird im Wesentlichen die Zerteilung von Festkörpern in Teilstücke verstanden. Die Überwindung der Kohäsionskräfte im Inneren des Festkörpers kann nach Erkenntnissen der Festigkeitslehre durch Zug, Druck, Stoß, Schlag, Biegung, Abscherung oder Torsion erreicht werden. Charakteristisch für die technische Praxis ist die Zerkleinerung von Kornkollektiven. Daher scheiden Zug und Torsion aus.

Zerkleinerungsprozesse finden Anwendung bei der Erzeugung definierter Korngrößen- und Kornformverteilungen, zur Vergrößerung der spezifischen Oberfläche, für das Aufschließen von Wertstoffen sowie mit dem Ziel der physikalischen und chemischen Stoffänderung.

Da für die Zerkleinerung von festen mineralischen Rohstoffen relativ große Arbeitsbeträge aufgewendet werden müssen, weisen Zerkleinerungsprozesse im Rahmen der Wertkette der mineralischen Rohstoffindustrie eine überproportional hohe Wertaktivität auf. Die Wahl eines effizienten, energiesparenden und dennoch robusten Zerkleinerungssystems birgt demnach ein hohes Potenzial zum wirtschaftlichen und gleichermaßen ressourcenschonenden Betrieb von Zerkleinerungsmaschinen.

Während Kirchberg noch im Jahr 1953 für das Mahlen harten Gutes Sturzmühlen eine beherrschende Rolle zuschrieb, nimmt deren Bedeutung – außer in China – jährlich ab. Als Sturzmühlen werden alle Mühlen bezeichnet, die einen horizontal gelagerten, zylindrischen oder zylindrisch-konischen, um einen festen Drehpunkt rotierenden Arbeitsraum besitzen. Diese Mahltrommel ist meist mit verschleißfesten Mahlkörpern unterschiedlicher Korngröße gefüllt. Es werden die Grundtypen Trommelmühle ( $L/D < 2$ ) und Rohrmühle ( $L/D > 2$ ) unterschieden, wobei als Mahlkörper Kugeln, Stangen sowie Cylpebs unterschiedlicher verschleißfester Materialien eingesetzt werden können. *Abb. 1* zeigt eine Trommelmühle mit Kugelfüllung.

Durch die spezifische Materialbettkinematik zerreiben, zerdrücken und zerschlagen die Mahlkörper das Mahlgut. Mahlkörperfüllungsgrade von 20–45% sind die Regel. Der spezifische Arbeitsbedarf der Sturzmühlen bewegt sich mahlgutabhängig in weiten Grenzen. Daher

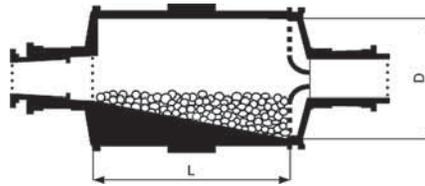


Abb. 1: Kugelmühle für Trockenmahlung mit Austragskammer

enthält *Tab. 1* nur ausgewählte Daten zu in der Praxis eingesetzten Mahlanlagen.

Ein weiterer, in der Zementindustrie vielfach verwendeter Mühlentyp sind Wälzmühlen. Diese zeichnen sich durch das zwangsläufige Abrollen der Mahlkörper auf einer ebenen, zylindrischen, schüssel- oder kegelförmigen, waagrecht oder senkrecht stehenden angetriebenen Mahlbahn aus. Unterschieden werden Schwerkraftmühlen (z. B. Kollergang – historische Ölmühlen), Fliehkraftmühlen und Fremdkraftmühlen (z. B. Walzenschüsselmühlen).

Das zwischen Mahlbahn und Mahlkörper eingezogene Mahlgut wird durch Druck- und Scherbeanspruchung, seltener durch Schlagbeanspruchung, zerkleinert. Der spezifische Arbeitsbedarf

Tabelle 1: ausgewählte Beispiele von Sturzmühlen (nach 6)

D	L	L/D	P	P/V	$\dot{M}_A$	$W_0$
[m]	[m]	[-]	[kW]	[kW/m <sup>3</sup> ]	[t/h]	[kWh/t]
Zementklinker						
4,6	14,0	3,0	4600	19,8	150	30,7
2,2	12,75	5,8	526	10,85	10,1	52,1
Erz						
6,5	9,65	1,48	8100	25,3	< 1000	> 8,1

D Mahlräumdurchmesser  
V Mahlräumvolumen  
L Mahlräumdurchmesser  
 $\dot{M}_A$  Massenstrom  
P inst. Antriebsleistung  
 $W_0$  spezifischer Arbeitsbedarf

solcher Mühlen liegt, ebenfalls mahlgut- und produktabhängig, zwischen  $W_0 = 3$  kWh/t und  $W_0 = 15$  kWh/t.

Der Vorteil der Wälzmühlen liegt im relativ niedrigen Energieverbrauch und der optionalen gleichzeitigen Sichtung innerhalb der Mühle bei Durchsätzen von bis zu 1000 t/h. Zudem scheint das Entwicklungspotenzial von Kugelmühlen ausgeschöpft, auch wenn teilweise neue Konzepte wie konische Mahltrommeln, individuell angepasste Mühlenausklei-

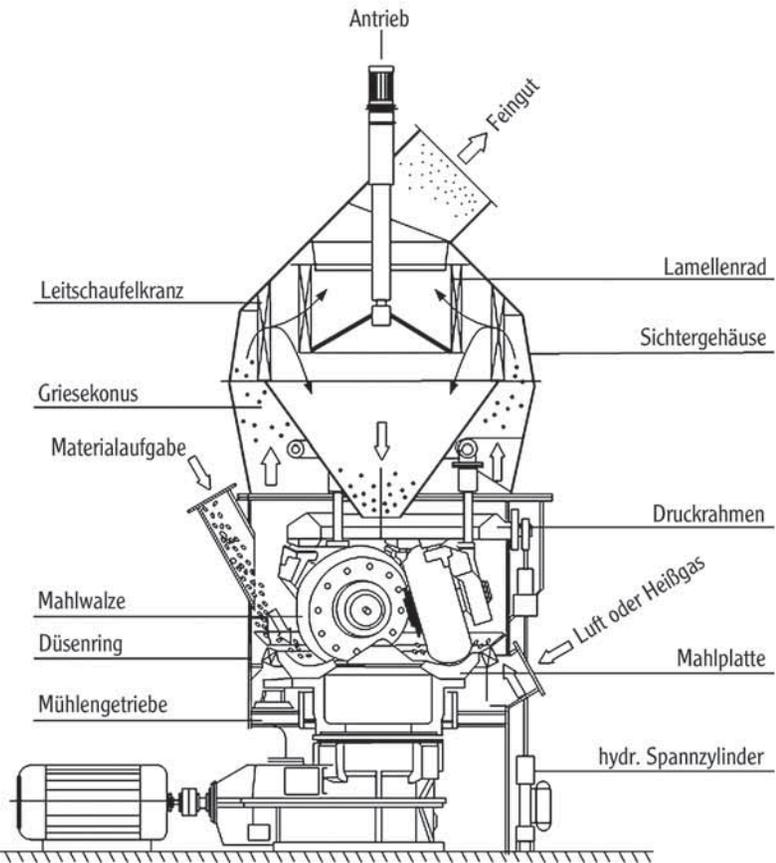


Abb. 2: Walzenschüsselmühle mit integriertem Sichter (nach 6)

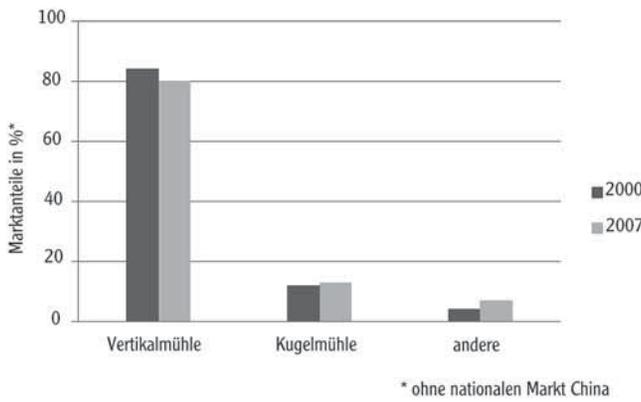


Abb. 3: Marktanteil relevanter Mühlentypen zur Rohmehlvermahlung [1]

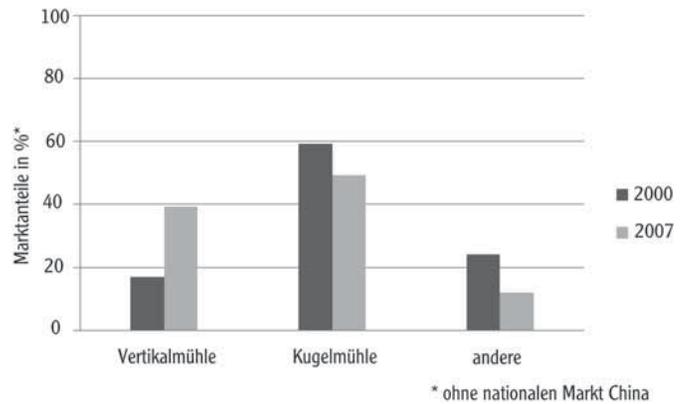


Abb. 4: Marktanteil relevanter Mühlentypen zur Klinkervermahlung [1]

ung sowie variable L/D-Verhältnisse untersucht werden. Daher ist bei Neuaufträgen in der Zementindustrie der Anteil von Kugelmühlen auf unter 30% gefallen. Es kommt verstärkt zum Einsatz von energieeffizienteren Mahlverfahren mit Vertikalmühlen, deren Anteil auf über 60% angewachsen ist.

Bei der Rohmaterialvermahlung soll ein homogenes Rohmehl aus vielen, teilweise variablen Komponenten erzeugt werden. Die Aufgabefeuchten liegen in der Regel zwischen 3 und 8 Ma.%, teilweise auch über 20 Ma.%. Die Feinheitsanforderungen liegen meist bei < 10 bis 15 Ma.% Rückstand auf dem 90 µm Sieb (< 1 bis 2 Ma.% Rückstand auf dem 200 µm Sieb) mit Aufgabekorngrößen von 100–200 mm [1]. Gemäß Abb. 3 entfallen auf Vertikalmühlen 80% aller neuen Mahlverfahren in diesem Sektor. Von allen renommierten Herstellern von Vertikalmühlen werden mittlerweile Mühlen-durchsätze von über 600 t/h erreicht.

Beispielsweise erzielen Vertikalmühlen mit einem Mahlbahndurchmesser von 7 m und 6 Mahlwalzen bei Antriebsleistungen von 6,6 MW in der Aufbereitung mittelhartes Zementrohmeihls Durchsätze bis zu 1200 t/h. Durch die hohe Anzahl unabhängiger Mahlwalzen kann auch ein Teillastbetrieb bei Ausfall

einzelner Mahlwalzen garantiert werden.

Bei der Vermahlung von Klinkern bietet sich jedoch ein anderes Bild. Bei der Klinkervermahlung werden trotz schlechterer Energieausnutzung und somit höherer spezifischer Mahlkosten noch immer vorzugsweise Kugelmühlen eingesetzt. Dies liegt vor allem an der hohen Verfügbarkeit und leichten Handhabung in der Fertigmahlung, dem Einsatz in Kombimahlanlagen, als Stand-by-Mühlen für Vertikalmühlen und nicht zuletzt am günstigeren Anschaffungspreis. Dem steht die hohe Variabilität von Vertikalmühlen gegenüber. Aufgrund der kurzen Materialverweilzeiten können Fertigprodukte schnell ohne Maschinenstopp unter Beachtung unterschiedlicher Mahlparameter gewechselt werden.

Schlussfolgernd kann davon ausgegangen werden, dass der vermehrte Einsatz von technisch komplexen Vertikalmühlen gegenüber einfachen Kugelmühlen weiterhin ausgebaut wird. Dabei besteht für die Hersteller von Vertikalmühlen der Anspruch, diese wartungsärmer und servicefreundlicher zu gestalten. Zudem muss die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, auch für andere Einsatzbranchen (z. B. für die Erzaufbereitung), verbessert werden. Abschließend sei auf die Verwendung von Gutbettwalzenmüh-

len in der Rohmaterial- und Klinkervermahlung hingewiesen. In Kombination mit statischen oder dynamischen Sichern bilden Gutbettwalzenmühlen eine kompakte Alternative zu Vertikal- und Kugelmühlen. Zudem konnten durch neue Werkstoffe den Ermüdungserscheinungen des Walzenmaterials aufgrund der hohen Mahldrücke entgegengewirkt werden. Aufgrund dieser hohen Materialdrücke und der kurzen Beanspruchungsdauer sind geringe spezifische Arbeitsbedarfe von  $W_0 = \text{ca. } 15 \text{ kWh/t}$  in der Fertizementmahlung erreicht worden [1]. Diese Aggregate bieten auch für die Erzaufbereitung interessante Alternativen zu konventionellen Mahlverfahren.

**Literatur:**

- 1 Harder, J.: Grinding trends in the cement industry. ZKG INTERNATIONAL, (2010); Nr. 4, Seite 46–58
- 2 Höfl, K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985
- 3 Kirchberg, H.: Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe Bd. 1. Jena: Wilhelm Gronau Verlag 1953
- 4 Schubert, H.: Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik Bd. 1. Weinheim: WILEY-VCH 2003
- 5 Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe 2. Auflage. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1968
- 6 Stieß, M.: Mechanische Verfahrenstechnik 2. Berlin: Springer Verlag 1994

## Expertendialog im Jahr 1 nach der Weltfinanzkrise: „Rohstoffe gegen Entwicklung“ als neuer Weg der Versorgungssicherheit

**Innovative Erschließung der zwei größten Rohstoffquellen: Energieeffizienz entlang der Rohstoffkette und zukunftsfähige Projekte bei Erneuerbaren Energien** Alexander Wirp

Das Deutsch-Russische Rohstoff-Forum – 2006 in Dresden von Bundeskanzlerin Angela Merkel und dem damaligen russischen Präsidenten Wladimir Putin offiziell aus der Taufe gehoben – fand nach

Wiesbaden (2007) und St Petersburg (2009) diesmal in Freiberg statt. In seinem Rahmen wurde vom 17. bis 19. März 2010 die älteste Montanuniversität der Welt zum Mekka für deutsche und russi-

sche Rohstoffexperten. Diese 3. Rohstoff-Konferenz brachte über 200 Teilnehmer aus Deutschland und der Russischen Föderation zusammen, die die vielfältigen Aspekte einer bilateralen strategischen

Rohstoff-Partnerschaft beleuchteten. Unter dem Titel „Versorgungssicherheit bei Rohstoffen“ diskutierten Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik (darunter Sachsens Ministerpräsident Tillich, der ehemalige Amtsinhaber Biedenkopf und sein bayrischer Kollege Steubers sowie die Staatsministerin im Auswärtigen Amt Cornelia Pieper) im Festsaal „Alte Mensa“ der TU Bergakademie Freiberg, welche konkreten Beiträge beide Länder für eine auch künftig stabile und verlässliche Rohstoffversorgung leisten können und wollen.

„Auf dem diesjährigen Veranstaltungshöhepunkt des Deutsch-Russischen Rohstoff-Forums haben vor allem bilaterale, wirklich gemeinsame Vorhaben und Initiativen den Expertendialog geprägt.“, so der Schirmherr des Rohstoff-Forums Prof. Dr. Klaus Töpfer. Tatsächlich war und ist der Diskussionsbedarf zur Versorgungssicherheit bei Rohstoffen groß. Dabei wurden – angefangen von den neuen Technologien bei der Exploration und dem Transport von Rohstoffen über die Notwendigkeit zur Installation stabiler geopolitischer Verhältnisse bis hin zur wissenschaftlichen Zusammenarbeit bei der Verbesserung der Energieeffizienz – einmal mehr zukunftssträchtige Ideen für den Rohstoffsektor zusammengetragen.

Die an der Rohstoff-Konferenz teilnehmenden Experten vieler Fachgebiete waren sich darüber einig, dass das wechselseitige Interessengeflecht und die Forcierung der wissenschaftlich-technischen Kooperationen beider Partner auf dem Rohstoffsektor die besten Voraussetzungen für die Stabilität und Verlässlichkeit bei der Rohstoffversorgung sind. Auf der Basis der traditionellen Zusammenarbeit beider Länder könne sich Deutschland mit Exporten von Hochtechnologie in die Russische Föderation einen hohen Grad an Versorgungssicherheit für den Import russischer Energie-Rohstoffe und Bodenschätze sichern. Die Strategie „Rohstoffe gegen Entwicklung“ wird laut Michail Aleksandrowitsch Sutjaginskij, Abgeordneter der Staatsduma der Russischen Föderation und Eigentümer des Mischkonzerns TITAN, von russischer und deutscher Seite „gleichsam akzeptiert“, wie er in seinem Konferenzvortrag betonte. Der frühere Unter-Generalsekretär der Vereinten Nationen, Prof. Dr. Klaus Töpfer, bestätigt, dass ein solcher neuer Weg der Zusammenarbeit im Rohstoffsektor „keine Einbahnstraße“, sondern

ein guter Ansatz zur Herstellung fairer und stabiler Beziehungen ohne einseitige Abhängigkeiten sei.

Der Vizepräsident der Staatsduma der Russischen Föderation, Valerij Jasew, der zugleich russischer Co-Schirmherr des Russisch-Deutschen Rohstoff-Forums ist, betonte erneut, dass die russische Administration verstärkt auf Erneuerbare Energien und die Nutzung modernster Technologien zur Energieeffizienz setzt. Dabei stehen – nicht zuletzt dokumentiert durch die Gründung der Russisch-Deutsche Energieagentur (RUDEA) – der Ausbau der deutsch-russischen Zusammenarbeit und deutsche Investitionen in diesen Bereichen im Vordergrund. Der Vorsitzende des Ausschusses für Finanzmärkte beim russischen Förderationsrat, Dimitrij Ananjew, forderte die deutsche Wirtschaft auf, sich an der Erkundung weiterer Rohstofflagerstätten, insbesondere bei Erdöl und Erdgas, zu beteiligen. Das Investitionspotenzial läge bis zum Jahr 2030 bei rund 500 Milliarden Euro. Vertreter deutscher Industrieunternehmen und Kreditinstitute zeigten sich auch bereit, die Russische Föderation entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Rohstoffen mit Wissen, Technik und Investitionen zu unterstützen.

Die Repräsentanten der deutschen Wirtschaft, unter ihnen der Vorsitzende des Vorstands der Linde AG, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reitzle, und der Vorsitzende des BDI-Ausschusses Rohstoffpolitik, der Unternehmer Ulrich Grillo, forderten im Gegenzug aber den weiteren Abbau von Handelshemmnissen. Die Staatsministerin im Auswärtigen Amt, Cornelia Pieper, kritisierte die bestehenden Exportbeschränkungen für die deutsche Industrie in Russland. Subventionen für die russische Rohstoffindustrie und Exportzölle beeinträchtigten die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Unternehmen in Russland. Zugleich widersprach sie dem Eindruck, dass Deutschland in Energiefragen zu sehr von der Russischen Föderation abhängig sei. „Russland ist mindestens so abhängig von Exporten nach Europa wie wir von Energieimporten aus Russland“, betonte Cornelia Pieper.

Die Rohstoff-Konferenz reflektierte auch die Ergebnisse der Arbeitsgruppen des Rohstoff-Forums, deren Leiter für eine intensive Mitarbeit bei neuen Projekten und produktive Teilhabe an bilateralen Forschungsvorhaben warben. Die Arbeitsgruppen „Technologie“, „Energieeffizienz und Erneuerbare Energien“ und

„Chemie“ widmen sich insbesondere der weiteren Erschließung der zwei größten globalen Rohstoffquellen:

- Energieeffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei Rohstoffen und
- Initiierung innovativer Projekte bei der Nutzung alternativer Energien.

„Die auf einer sehr guten wissenschaftlichen Basis gründenden Initiativen des Deutsch-Russischen Rohstoff-Forums sind Vorreiter einer wirklichen Modernisierungspartnerschaft zum beiderseitigen Vorteil. „Bei der Umsetzung der Projekte unserer Arbeitsgemeinschaften können die russischen Firmen von den Erfahrungen ostdeutscher Firmen und Kommunen bei der Modernisierung der Industrie und Infrastruktur nach der Wende profitieren“, zeigt sich Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, Rektor der TU Bergakademie Freiberg und Leiter der AG „Technologie“, vom Erfolg der bilateralen Zusammenarbeit überzeugt.

Neben der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft sind auch die deutsch-russischen Forschungsaktivitäten eine wichtige Säule der Tätigkeit des Rohstoff-Forums. Im Rahmen der Deutsch-Russischen Rohstoff-Konferenz fand die feierliche Unterzeichnung einer Absichtserklärung zur Gründung eines „Instituts für Nanomaterial-Produktion und -Technologie“ zwischen der TU Bergakademie Freiberg und zwei Moskauer Partneruniversitäten, der Staatlichen Lomonossow-Universität (MSU) und der Nationalen Universität für Wissenschaft und Technologie (MISIS), statt. Dabei geht es um die Forschung für die zukunftssträchtige Nutzung von Nanomaterialien, beispielsweise in den Bereichen Gesundheit und Werkstofftechnologie.

Zugleich unterzeichnete die TU Bergakademie Freiberg im Beisein des Gouverneurs Leonid Polezhaew eine Absichtserklärung für die wissenschaftlich-technologische Kooperation mit der russischen Region Omsk. Die Kooperation soll sich auf die Veredelungstechniken für Erdöl und Erdgas, den Informationsaustausch im biotechnologischen Bereich und die Verbesserung der wirtschaftlichen Nutzung der Photovoltaik konzentrieren. „Die Konferenz hat gezeigt, dass die TU Bergakademie Freiberg die Schlüsseluniversität für die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit Russland auf dem Gebiet Ressourcen ist“, resümierte Magnifizenz Prof. Dr. Bernd Meyer.

# Freiberger Innovationen 2010 „Rohstoffe und Energie“ am 22./23. April 2010

Jörg Matschullat, Martin Bertau, Jens Gutzmer, Peter Kausch

Uns Deutschen wird oft der Vorwurf gemacht – nicht zuletzt von uns selbst – dass wir die Fähigkeit verloren hätten, Visionen zu entwickeln und mit Zuversicht in die Zukunft zu schauen. Allein das Symposium „Freiberger Innovationen 2010“ zeigte ein davon stark abweichendes Bild. Die Veranstalter hatten sich vorgenommen, eine Sachanalyse vorzunehmen und Empfehlungen für die Zukunft abzuleiten. Unser Blick reichte dabei von der Wende zum 20. Jahrhundert bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Warum ein solch bedeutsames Thema an einer so kleinen Universität in einer sächsischen Kleinstadt? Vor knapp 30 Jahren publizierte E. F. Schumacher sein Buch „Small is beautiful“, („Die Rückkehr zum menschlichen Maß“). Vielleicht ist es einfacher, an solch einer kleinen Universität gerade die wesentlichen Themen in den Vordergrund zu rücken, weil dort der Druck, sich auf Wesentliches zu konzentrieren, höher erscheint. Freiberg hat den Schritt von einer Stadt im Schwarzen Dreieck zu einer sehr lebenswerten Lokalität im Grünen Dreieck vollzogen. Die altehrwürdige TU Bergakademie Freiberg – die älteste Rohstoffuniversität der Welt – begab sich im gleichen Zeitraum auf den Weg von einer im Westen beinahe vergessenen Provinzuniversität zu einem globalen Spieler und ist heute eine der drittmittelstärksten Universitäten (pro Professor) Deutschlands.

Das Symposium bot 15 Vorträge in drei Themenkomplexen: Wo stehen wir heute – Bewertung von Konzepten – Das Zeitalter nach Öl und Gas. Gut 80 Teilnehmer aus Deutschland, Frankreich und der Schweiz verfolgten die hochrangigen Beiträge und füllten den großen Vortragssaal der Alten Mensa mit außerordentlich offenen und spannenden Diskussionsbeiträgen nach jedem Vortrag.

Der Eröffnung durch den damaligen Prorektor für Forschung, Prof. Dr. Rudolf Kawalla, und den Oberbürgermeister von Freiberg, Bernd-Erwin Schramm, folgte der Einführungsvortrag durch Ministerialdirektor Detlef Dauke (BMW) zum Thema „Rohstoff und Kreislaufwirtschaft – eine volkswirtschaftliche Chimäre“. Er zeigte lebendig den Zusammenhang von Rohstoff und Kreislaufwirtschaft und stellte die Konzepte in den globalen

Wirtschaftszusammenhang. Er machte deutlich, dass die Bundesregierung inzwischen die Bedeutung einer eigenen Rohstoffpolitik wieder als prioritäre Aufgabe erkennt und entsprechend handelt. Daneben betonte er die Notwendigkeit der Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz als Schlüssel für Technologieführerschaft.

Dr. Gernot Kalkoffen, Vorstandsvorsitzender ExxonMobil Central Europe Holding GmbH und Esso Deutschland GmbH, stellte höchst anregend „Status und Aussichten der weltweiten Öl- und Gasproduktion“ vor. Er diskutierte drei Kernthesen: 1) Alle Energieträger werden gebraucht und der Energiemarkt wächst weiter. Es kann nicht um Konkurrenz zwischen diesen Trägern gehen, sondern auf absehbare Zeit um intelligente Kombination und gegenseitige Ergänzung; 2) Der Markt ist sehr groß, und es sind große Investitionen auf der Kapitaleseite und in Knowhow und damit Menschen notwendig, Stichwort „more-brain-per-barrel“; 3) Technologie ist der Schlüssel auf der Angebots- und Nachfrageseite. Technologie und Innovation setzen Netzwerke voraus, um Innovationen zu schaffen.

Wie in einer Brückenfunktion zwischen den Beiträgen von Dauke und Kalkoffen präsentierte Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel, Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie Mitglied des Hochschulrates der TU Bergakademie Freiberg, seinen Beitrag „Zur Situation der nationalen und globalen Energierohstoffe – in Retrospektive und Ausblick“. Er erweiterte das Spektrum auf alle fossilen Energieträger einschließlich Uran und zeigte überzeugend, dass in absehbarer Zukunft nicht mit Versorgungsproblemen zu rechnen ist, was jedoch kurzfristige Lieferengpässe bei bestimmten High-Tech-Metallen nicht ausschließt. Zugleich machte er deutlich, dass die Kosten für Exploration und Förderung steigen werden, weil weniger einfach zu nutzende Lagerstätten ausgebeutet werden (müssen).

Dr. Carsten Rolle vom Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) sprach zu „Industrieanforderungen an eine sichere Rohstoffversorgung“. Er untersetzte die Bedeutung einer komplexen arbeitsteil-



gen Herangehensweise vor dem Hintergrund der Importabhängigkeit Deutschlands, die Bewusstseins-schaffung (vor allem im Bereich der nicht-energetischen Rohstoffe), Innovation (z. B. Materialalternativen und -einsparungen sowie Recycling) und unternehmerische Verantwortung integriert.

Dr. Marco Ziegler von McKinsey & Company in Zürich beschloss die Betrachtungen zum Status quo mit einem beeindruckenden Beitrag zu den „Kosten des globalen Klimawandels“. Ähnlich den Aussagen des Stern-Reports zeigte er deutlich und mit überzeugenden Daten auf, dass uns Fehlentscheidungen, die heute getätigt werden, in Zukunft sehr viel größere Summen kosten als es jetzt moderate Investitionen in eine nachhaltige Zukunft von Energie- und Rohstoffversorgung erfordern würden.

Der zweite Themenblock „Bewertung von Konzepten“ begann mit dem Vortrag zur „Zukunft von Photovoltaik und ihrer Einbindung in die Rohstoff- und Energiewirtschaft“ durch Prof. Dr. Armin Müller, Geschäftsführer der SUNICON AG (Solar-World Gruppe). Das nach wie vor große Potenzial der Technologieentwicklung und die wesentliche Rolle, die selbst in unseren Breiten mittel- bis langfristig durch Solarenergie getragen werden kann, wurden eindrucksvoll dargelegt.

Dass Kernreaktoren weder hochgiftiges Plutonium produzieren, noch ein solches Endlagerrisiko wie bei heutigen Reaktoren nach sich ziehen müssen, machte der mitreißende und humorvolle Vortrag von Prof. Dr. Antonio Miguel Hurtado, Direktor des Instituts für Energietechnik der TU Dresden, zu „Kernenergie und ihre Zukunft“ deutlich. Im



Prof. Dr. Rudolf Kawalla bei der Eröffnung

Zeitalter nach Öl und Gas sei die Kernenergie als Brückentechnologie wohl unverzichtbar. Die Hochtemperaturprozesswärme aus Kugelbettöfen eröffnet große Chancen, gerade im Hinblick auf den Umweltschutz und die Darbietung kostengünstiger Energie. Für die meisten Zuhörer war dies sicherlich neu.

„Die Umwandlung natürlicher Kohlenwasserstoffe zu Produkten“ war Thema von Dr. Martha Heitzmann, Vize-Präsidentin der Air Liquide-Gruppe und dort verantwortlich für Forschung und Entwicklung. Dabei stand der Einsatz von Wasserstoff ebenso in der Diskussion wie andere Techniken, mit denen die Emission von Treibhausgasen weiter reduziert werden kann. Die Firma investiert viel in Forschung und Innovation und folgt inzwischen der Philosophie, dass ein Systemdenken nötig ist, um die anstehenden Herausforderungen zu lösen. Solche Ansätze sind nur in enger Zusammenarbeit von Kunde und Anbieter möglich.

Einen ganz besonderen Vortrag hielt Hermann Josef Werhahn, Unternehmer und Energiepolitiker aus Neuss am Rhein mit dem Titel „Die Einführung der Euro-Kraftstoffe in die Soziale Marktwirtschaft“. Es gelang ihm, mit Weisheit und Witz sowie einem wirklich historisch zu nennenden Erfahrungsschatz, die gesamte Nachkriegszeit bis heute Revue passieren zu lassen. Dabei wurde deutlich, welche „Irrungen und Wirrungen“ in der Energiepolitik dieser Jahrzehnte erlebt wurden und wie sehr es doch einer vorausschauenden und wiederum systemischen Sicht bedarf, um sowohl nachhaltige als auch wirtschaftlich robuste Lösungen zu entwickeln.

„Das Zeitalter nach Öl und Gas“ wurde durch einen engagierten Vortrag von Prof. Dr. Alois Heißenhuber von der TU München eingeleitet: „Biodiesel und grüne Energie“. Aus klimaschutzpolitischer Sicht sollte die Politik die Förderung der Bioenergieerzeugung darauf ausrichten, (a) nicht in Konkurrenz zur



Die Veranstalter (v.l. Jörg Matschulat, Jens Gutzmer, Peter Kausch und Martin Bertau) am Ende der erfolgreichen Veranstaltung. Fotos (2): Detlev Müller

Nahrungsmittelproduktion zu stehen, (b) zur Vermeidung von Methan-Emissionen aus Gülle beizutragen oder (c) besonders niedrige CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bzw. ein sehr hohes CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenzial aufweisen. Zudem wies er auf das Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie der Biokraftstoffherstellung hin und belegte dies durch Daten.

Prof. Dr. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg, lieferte in seinem Beitrag zu „CO<sub>2</sub>, ein Rohstoff mit großer Zukunft“ ein wahres Feuerwerk aus Ideen und Ansätzen, um dieses Gas nicht als Last, sondern als Chance zu sehen. Es war einer der anregendsten und provokantesten Beiträge, der von allen als Bereicherung empfunden wurde.

„Optionen einer nachhaltigen Energietechnik“ von Dr. Michael Weinhold, Leiter der Stabsabteilung Technik und Innovation bei der Siemens AG, provozierte nicht minder mit Beispielen systemischen Denkens. Er stellte die Hypothese auf, „dass wir stramm in Richtung eines neuen Energiezeitalters marschieren, mit einer sehr starken Betonung der elektrischen Energie. Dieses neue Stromzeitalter ist insbesondere gekennzeichnet durch die Symbiose von klassischer Elektrotechnik, auch mit Innovationen sowie Informations- und Kommunikationstechnik“. Als Beispiel nannte er Projekte wie Desertec und die Elektromobilität. Besonders eindrucksvoll waren seine Erläuterungen zu kontinentalen und supra-kontinentalen „smart grids“.

Dr. Volker Steinbach, Abteilungsleiter für Energierohstoffe und Mineralische Rohstoffe bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, erörterte die „Verfügbarkeit von Rohstoffen mit Blick auf Zukunftstechnologien“. Er schloss den Kreis, den Manfred Dauke und Carsten Rolle begonnen hatten, und zeigte, dass bei umsichtiger Herangehensweise große und bislang ungenutzte

Potenziale für absehbare Zeit eine Verfügbarkeit sicherstellen und zugleich einen konstruktiven Innovationsdruck bewirken können, von dem unsere Volkswirtschaft besonders profitieren kann.

Passend dazu folgte der ebenfalls durchaus provokante Beitrag von Prof. Dr. Klaus-Peter Wiedmann, Leibniz Universität Hannover, unter dem Titel „Ist die Industrie weiter als die Politik zum Thema Klimawandel?“. Mit zehn Thesen diskutierte der Vortragende interaktiv mit den Teilnehmern vor allem Aspekte der Systemträchtigkeit: Obwohl wir bestimmte (technologische) Möglichkeiten haben, werden diese bei uns entweder kaum oder nur extrem zeitverzögert umgesetzt. Schließlich sollten seine Thesen die Politik animieren, mutiger zu sein und in Kooperation mit der Wirtschaft Vorteile sowohl für den Wirtschaftsstandort Deutschland als auch für eine nachhaltige Entwicklung zu erarbeiten.

Das Symposium schloss mit einem Fazit der Veranstalter, vertreten durch Prof. Dr. Jörg Matschulat. Wirklich herausragende, engagierte Redner hoben diese Veranstaltung ebenso aus der Masse hervor, wie die Qualität und Offenheit der erfreulich undogmatischen Diskussion. Die gesteckten Ziele wurden nicht nur erreicht, sondern übertroffen. Konkrete Ansätze zu intelligenten Lösungen und einer vernetzten Förderung aller Energietechniken für eine umwelt- und klimafreundliche sowie sozial verträgliche Energiebereitstellung bei wachsender Weltbevölkerung waren deutlich zu erkennen – und machen Hoffnung. Die zugleich klare Erkenntnis zur Begrenztheit der Ressourcen und zu den voraussichtlichen Kosten des globalen Klimawandels fördern neue Wege der Zusammenarbeit zwischen den Universitäten und den Wirtschaftspartnern. Gedanken, die noch vor 30 Jahren in die „Schmuddel-ecke“ gedrängt wurden, wie zur Dezentralisierung (Siemens-Beitrag zum zukünftigen „Prosumer“ von Energie und Dienstleistungen), zu „intelligenten Versorgungsnetzen“ und generell hohe, intelligente Diversifizierung anstelle von Pauschallösungen kennzeichneten die Beiträge und deren Diskussion. „Ob es um Kostenfragen des Klimawandels oder vielversprechende Energiekonzepte der Zukunft ging – als Gastgeber haben wir als Ressourcenuniversität erneut klare Akzente in der aktuellen Energie- und Rohstoffdebatte gesetzt“, fasste Prof. Jörg Matschulat die Ergebnisse zusammen.

# Die wachsenden Herausforderungen der internationalen Rohstoffwirtschaft und der Freistaat Sachsen – Betroffenheit, Chancen, Aktivitäten Manfred Goedecke

## Veränderung der internationalen Rohstoffmärkte

Die Gewinnung und die Aufbereitung von Rohstoffen sind seit Urzeiten die Grundlage für menschliches Leben und Wirtschaften. Diese Erkenntnis, u. a. von Agricola in seiner *De Re Metallica* so formuliert: *Denn wenn die Metalle nicht wären, so würden die Menschen das abscheulichste und elendste Leben unter wilden Tieren führen* [1], war jahrhundertlang für Politik, Wirtschaft und Bevölkerung selbstverständlich. In den letzten Jahrzehnten gerieten der Bergbau und nachfolgende Stufen der Rohstoffwirtschaft speziell in Deutschland aus unterschiedlichen Gründen immer stärker auf das gesellschaftliche Abstellgleis, oft sogar auf die Anklagebank. Einheimische Bergwerke, Tagebaue, Hütten und Recyclingbetriebe werden von wachsenden Bevölkerungsteilen nicht mehr als unverzichtbare Ausgangspunkte vielfältiger industrieller Wertschöpfung, sondern undifferenziert und pauschal als Umwelt- und Klimazerstörer sowie Subventionsempfänger wahrgenommen.

Die Rohstoffwirtschaft erhielt so bei Politikern und Bevölkerung bestenfalls den Status einer Auslaufbranche – mit fatalen Folgen für staatliche Unterstützung, Fachkräfteentwicklung, Standortakzeptanz und objektives Medieninteresse. Verstärkt wurde diese Entwicklung nach der Wiedervereinigung durch die großen Sanierungsaufgaben in der ostdeutschen Rohstoffwirtschaft sowie die Beendigung vieler Rohstoffengagements deutscher Firmen im In- und Ausland.

Rohstoffe sind nach verbreiteter Meinung ständig verfügbar: sie würden auf den Weltmärkten billig gekauft und ihre Gewinnung und Aufbereitung erfolge überwiegend in fremden Ländern. Dass ein 70-jähriger Deutscher in seinem Leben rund 1.000 t Rohstoffe verbraucht [2], von denen ca. 80 % in Deutschland gewonnen werden, ist nur wenigen Menschen bewusst. Die gravierenden Disparitäten im spezifischen Rohstoff- und Energieverbrauch zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (*Abb. 1*) schienen gottgegeben, sie waren kein dominantes Thema in der öffentlichen Meinung.

Zu Beginn des neuen Jahrtausends vollzogen sich dauerhafte, tiefgreifende Veränderungen in der Weltwirtschaft, die sehr deutliche Auswirkungen auf die internationalen Rohstoffmärkte hatten.

Eine stark wachsende Nachfrage, systematische Verschiebungen bei den Strukturen und Anteilen der Käufer, die Konzentration der Produzenten und Händler sowie systembedingt unterschiedliche Strategien bei der langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung von Ländern und Unternehmen führten zu steigenden Rohstoffpreisen und veränderten Machtverhältnissen auf den Rohstoffmärkten. Zwangsweise und schmerzlich rückten Rohstofffragen, in den einzelnen Ländern mit unterschiedlicher Dynamik und Brisanz, wieder in das Zentrum der Aktivitäten von Politik und Unternehmen [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Wichtige *Ursachen für grundlegende Veränderungen der Rohstoffmärkte* sind:

- eine steigende Weltbevölkerung/

- Wirtschaftsleistung vor allem in den Schwellen- und Entwicklungsländern
- eine langsame, aber stetige Angleichung der Lebensbedingungen
- dynamische technologische Entwicklungen
- begrenzte Rohstoffvorkommen
- die ungleiche geografische Verteilung/Konzentration der Rohstoffe
- die wachsende Konzentration der Anbieter von Rohstoffen
- die weltweit steigenden Anforderungen an die Nachhaltigkeit der Rohstoffwirtschaft

Die Veränderungen sind dauerhaft, dazu einige ausgewählte Belege:

- Das prognostizierte Wachstum der Weltbevölkerung auf 9,2 Milliarden Menschen bis 2050 [10] und die Vervierfachung der Weltwirtschaftsleistung im gleichen Zeitraum verursachen auch bei Ausschöpfung aller Effizienz- und Substitutionspotenziale mindestens eine Verdoppelung des Primärenergie- und Rohstoffverbrauchs. [11]

- Neue Produkte und Technologien bedingen höhere Verbräuche bekannter Rohstoffe, den Einsatz neuer Materialien bzw. neue Kombinationen unterschiedlicher Rohstoffe. So wird allein für die Zukunftstechnologien Dünnschicht-Photovoltaik und integrierte Schaltkreise 2030 das Sechsfache der Galliumweltproduktion von 2008 von 111 t [12] benötigt. Der Verbrauch von Neodym wird bei Eintreffen der Prognosen für die zukünftige Produktion von Hybrid- und Elektroautos nur für diesen Anwendungsbereich um das Vierfache auf 30.000 t/a steigen. [13]

- Es ist aus humanistischer Sicht und aus Wettbewerbsgründen nicht akzeptabel, dass bei der Rohstoffproduktion trotz aller internationalen Regeln und Konventionen gravierende Unterschiede bei den Arbeits-, Umwelt- und Sicherheitsstandards fortbestehen, wie sie gegenwärtig z. B. im weltweiten Großbergbau, besonders aber im legalen und illegalen Kleinbergbau vorherrschen. Als Beispiele seien genannt:

- die tödlichen Unfälle in wichtigen Kohlebergbauländern (*Abb. 2*),
- die exzessive Kinder- und Frauenarbeit (30% der im weltweiten Kleinbergbau Beschäftigten, ~ 3,5 bis 4 Mio. Menschen) [14],

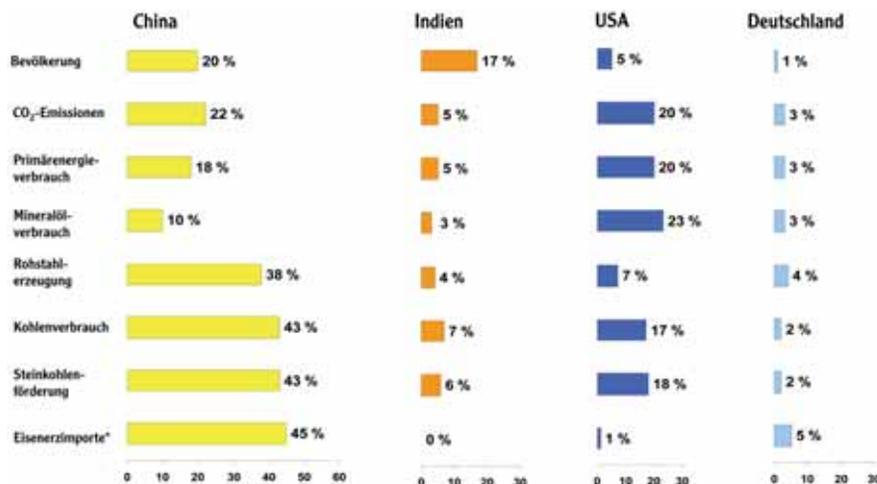


Abb. 1: Ressourcenverbrauch im internationalen Vergleich 2007. Quelle: Gesamtverband Steinkohle 2009

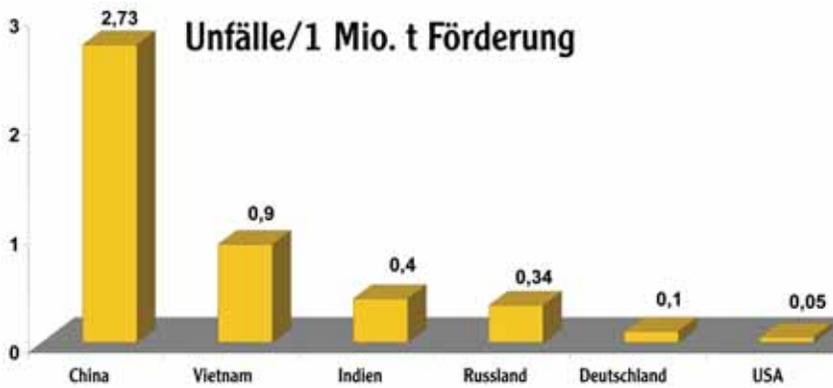


Abb. 2: Tödliche Unfälle im internationalen Kohlebergbau 2006

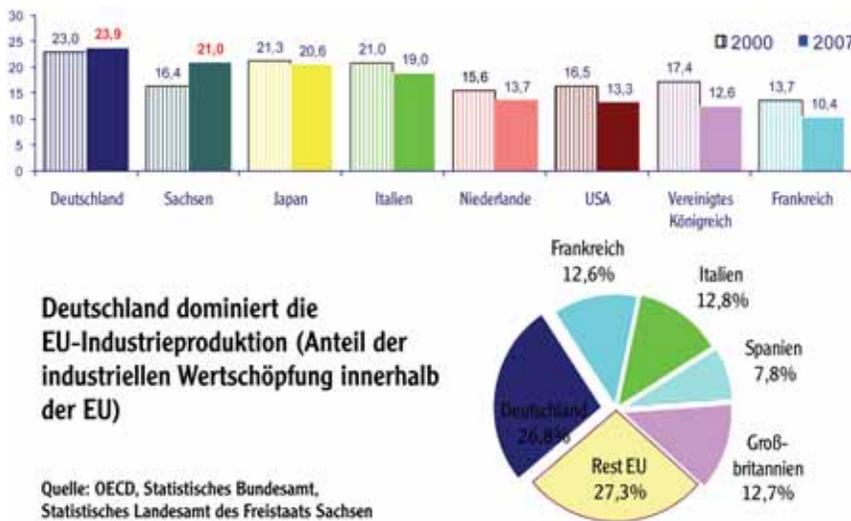


Abb. 3: Bedeutung der deutschen Industrie im internationalen Vergleich

- die starken Umweltbelastungen durch den Kleinbergbau, z. B. mit Quecksilber (ca. 1.000 t/a) [15].
- Aus dieser Dimension, Dringlichkeit und Komplexität des Rohstoffproblems lassen sich als *Herausforderungen* ableiten:
  - Steigerung der Rohstoffproduktivität
  - Neubewertung und Nutzung einheimischer Rohstoffvorkommen
  - Ausweitung/Intensivierung der internationalen Rohstoffexploration
  - Nutzung ärmerer, kleinerer und komplizierterer Lagerstätten
  - bessere Ausbeutung von Lagerstätten
  - Umfassende Nutzung von Sekundärrohstoffen
  - Gezielte Substitution von Rohstoffen
  - Strategien/Kapazitäten zur Prävention/Lösung von Rohstoffkonflikten
  - neues Rohstoffbewusstsein in Gesellschaft und Politik
  - Ausweitung/Konzentration/internationale Vernetzung der Rohstoffforschung
  - Verbesserung der Arbeits-, Sicher-

- heits- und Umweltbedingungen
- Sicherung des Bedarfs an qualifizierten Fachkräften
- Sie sind globaler Natur, auch wenn sie in den einzelnen Ländern sehr unterschiedlich wahrgenommen und gelöst werden. Die Langfristigkeit und Vielfalt der notwendigen Lösungen, die unterschiedliche Betroffenheit der rohstoffverbrauchenden Länder sowie die wachsenden Konfliktpotenziale bei der Verfügbarmachung von Rohstoffen erfordern klare, langfristig verbindliche Strategien der Staaten und Unternehmen. Ihre zentralen Elemente sind
  - Zugang zu ausländischen Rohstoffen
  - Optimale Nutzung einheimischer Rohstoffpotenziale
  - Verbesserung der Rohstoffproduktivität
- Die konkrete Ausgestaltung der Rohstoffstrategien in den einzelnen Ländern ist von vielen Einflussfaktoren abhängig:
  - Einfluss des Staates in der und auf die Rohstoffwirtschaft

- Einheimische Rohstoffvorkommen
  - Größe und Struktur des Rohstoffverbrauchs
  - Gesellschaftliche Akzeptanz der Rohstoff- und Energiewirtschaft
  - Größe und Leistungsfähigkeit der einheimischen Rohstoffwirtschaft
  - Gesetzliche Rahmenbedingungen für Rohstoff- und Energiewirtschaft
  - Kapazitäten und Kompetenzen der einheimischen Rohstoffforschung
- Besonders große Unterschiede werden in den Rohstoffstrategien der Länder beim Strategieelement – Zugang zu ausländischen Rohstoffen – sichtbar. Die Bandbreite der Ansätze liegt zwischen den Positionen eigener Besitz von Rohstofflagerstätten auch im Ausland (Vertreter z. B. China) sowie freier Welthandel mit Rohstoffen (Vertreter ist z. B. Deutschland). Dazwischen existieren vielfältige Mischformen. Deutschland muss wegen seiner hohen Importabhängigkeit bei Energie- und Industrierohstoffen sowie seiner wachsenden und in Europa dominierenden Industrie (vgl. Abb. 3) an einer möglichst europäischen Strategie für die nachhaltige Rohstoffversorgung ein besonderes Interesse haben. Maßgeblich initiiert durch die deutsche Industrie (BDI-Rohstoff-Konferenzen 2005, 2007; BDI-Rohstoffforderungen) [16], deren Rohstoffstrategien in den letzten Jahrzehnten eher kurzfristig und diskussionswürdig (z. B. bei der Frage Rückwärtsintegration) gestaltet waren, sind in den letzten Jahren wichtige nationale und europäische Grundlagen für eine Rohstoffstrategie gelegt worden, deren breite praktische Umsetzung und Erfolge allerdings noch ausstehen. Zu den Aktivitäten zählen:
- Strategiepapier „Elemente einer Rohstoffstrategie“ der Bundesregierung 2007 [17]
  - Bildung eines interministeriellen Ausschusses Rohstoffe bei der Bundesregierung 2008 [18]
  - Rohstoffinitiative der EU-Kommission 2008 [19]
  - Paradigmenwechsel in der deutschen Entwicklungspolitik hin zu stärker interessenorientierter Entwicklungshilfe (u. a. im Rohstoffsektor) [18, 20]
  - Jahresbericht 2009 der Generaldirektion Handel der EU-Kommission zur Rohstoffpolitik [21]
  - Report zu für die EU-Länder 2010 kritischen Rohstoffen [22]
- Diese richtigen, z. T. überfälligen Politikansätze und Aktivitäten für eine sichere

und nachhaltige Rohstoffversorgung werden zurzeit in Deutschland kontrovers diskutiert, vor allem die Neuausrichtung der deutsche Entwicklungshilfe, die Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Abbau einheimischer Lagerstätten und die Instrumente für eine Sicherung der Rohstoffversorgung.

### Der Freistaat Sachsen und die Rohstoffproblematik

Bei aktuellen Überlegungen und Maßnahmen zur nachhaltigen Rohstoffversorgung in Deutschland und der EU wird der Schwerpunkt der optimalen Nutzung einheimischer Rohstoffpotenziale nicht genug beachtet. Nicht nur wegen seiner Kompetenzen zu diesem Punkt kommt dem Freistaat Sachsen bei der Ausgestaltung und Umsetzung der europäischen/deutschen Rohstoffstrategie eine besondere Verantwortung zu. Diese Feststellung ist weder Größenwahn noch Lokalpatriotismus, wie folgende Argumente belegen:

- Sachsen ist durch die wachsende Bedeutung der Industrie für sein Bruttoinlandsprodukt, deren Branchenvielfalt, ihre Material- und Energieintensität sowie ihre mittelständische Struktur existenziell von einer sicheren und nachhaltigen Rohstoffversorgung abhängig. 2008 lag der Materialverbrauch der sächsischen Industrie bei ca. 8 Mrd. €, im Durchschnitt des Verarbeitenden Gewerbes erreichen die Materialkosten fast 50 % der Betriebskosten mit weiter steigender Tendenz (Abb. 4).
- Sachsen verfügt über eine leistungsfähige Rohstoffwirtschaft mit rund 5.000 Unternehmen, die rund 70-75.000 Arbeitskräfte beschäftigen.
- Sachsen genießt durch seine jahrhundertalte Tradition und aktuelle Stärke im Rohstoffbereich hohe Wertschätzung in wichtigen Bergbauländern, vor allem Afrikas, Lateinamerikas und Asiens.
- Sachsen gehört zu den geologisch/geophysikalisch besterkundeten Regionen der Welt und besitzt erhebliche Rohstoffvorkommen

Durch diese große Betroffenheit einerseits und die vielfältigen Chancen, von den Entwicklungen an den internationalen Rohstoffmärkten zu partizipieren andererseits, zählt die Rohstoffproblematik zu den zentralen politischen Themen für Unternehmen und Politik im Freistaat Sachsen. Die insbesondere durch die steigenden Preise für Energie- und Industrierohstoffe und deren langfristige Auf-

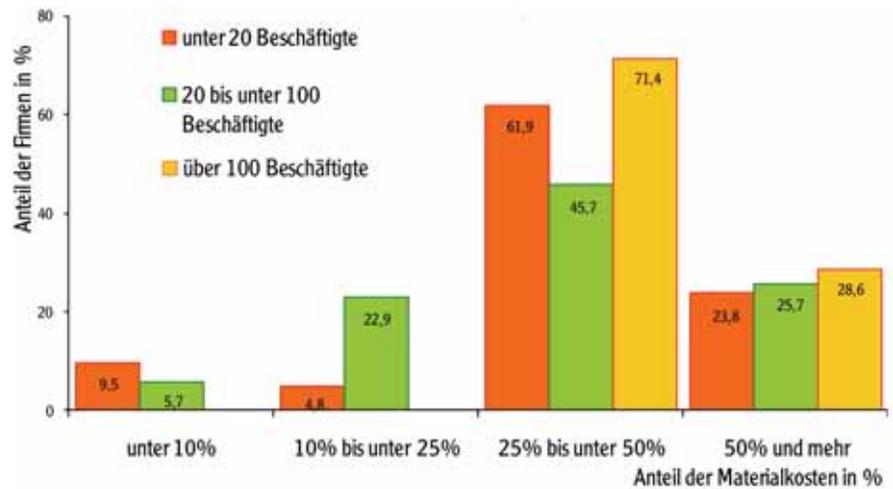


Abb. 4: Anteil der Materialkosten an den Gesamtbetriebskosten in Abhängigkeit von der Betriebsgröße. Quelle: IHK-Umfrage zur Energie- und Rohstoffkostensituation in Südwestsachsen 2007

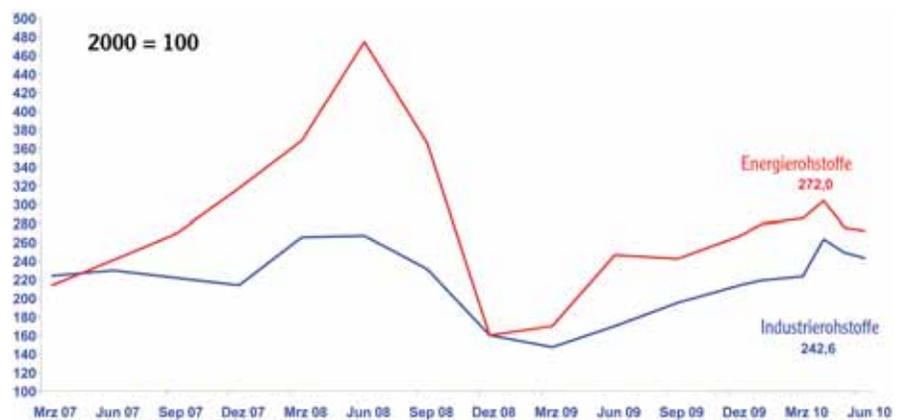


Abb. 5: Rohstoffpreise – Index der Weltmarktpreise für Rohstoffe. Quelle: HWWI Hamburg

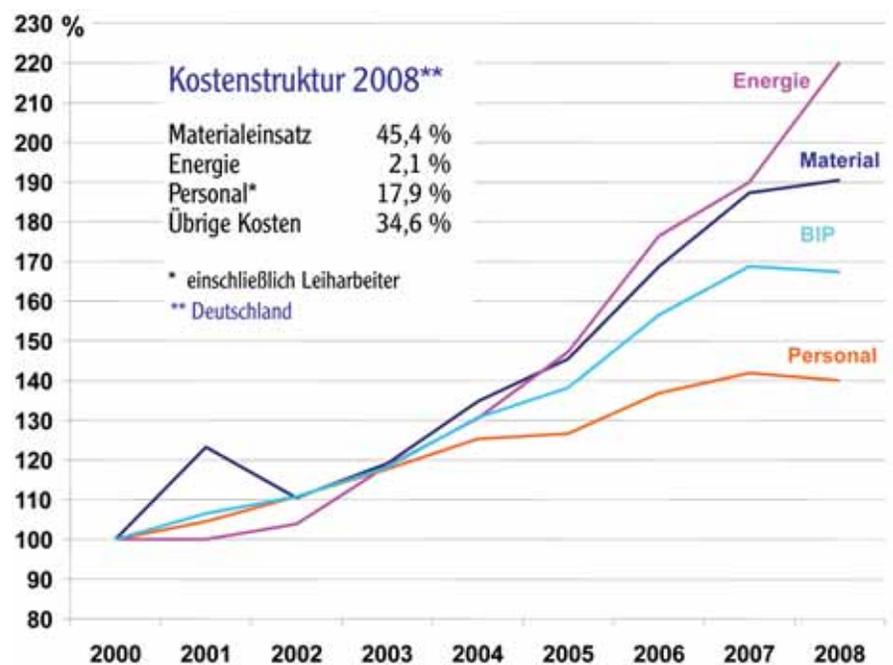


Abb. 6: Entwicklung der Kostenstruktur in der sächsischen Industrie. Quelle: Statistisches Bundesamt, IHK Chemnitz

wärtsentwicklung (Abb. 5) betroffenen sächsischen Unternehmen haben diesen Schwerpunkt eindeutig realisiert, da er sich seit längerem in ihrer Kostenstruktur niederschlägt (Abb. 6).

In der jüngsten Konjunkturumfrage der sächsischen Industrie- und Handelskammern vom Februar 2010 [23] wurde die Entwicklung der Rohstoff- und Energiepreise trotz zwischenzeitlicher krisenbedingter Beruhigung der Rohstoffpreise von ca. 2.000 Unternehmen als zweitgrößter Risikofaktor der zukünftigen Entwicklung benannt. Diese Beurteilung widerspiegelt auch die Besonderheiten der überwiegend kleineren und mittleren Unternehmen Sachsens bei der Rohstoff- und Energiebeschaffung:

- beim Materialverbrauch bestehen branchendifferenziert in der sächsischen Industrie Reserven von 15-20%, was sich deutlich auf die Rohstoffproduktivität auswirkt (Abb. 7)
- die Energiepreise für sächsische Firmen liegen 10-15% über denen für deutsche Wettbewerber, im internationalen Vergleich noch deutlich darüber
- die sächsischen Mittelständler besitzen zu geringe Marktmacht beim Rohstoffeinkauf
- die Finanzkraft der sächsischen Unternehmen gestattet kaum antizyklische Rohstoffkäufe und größere Lagerhaltungen
- moderne Sicherungsinstrumente für volatile Rohstoffpreisentwicklungen sind noch ungenügend bekannt und wenig in Anwendung

Die Ausschöpfung dieser Effizienzreserven, die Nutzung der vielfältigen Möglichkeiten im Rohstoffeinkauf (Kooperationen, Diversifizierung der Lieferanten u. a.) sowie die gezielte Substitution von Materialien sind kurz- und mittelfristige Schwerpunktaufgaben nicht nur sächsischer Industrieunternehmen [24]. Mit den Forschungs- und Technologieförderprogrammen von Freistaat, Bund und EU, den Bundesprogrammen zur Verbesserung der Materialeffizienz, den Material- und Energieagenturen auf Landes- und Bundesebene sowie den Energiecoaches bei den sächsischen Kammern stehen ausreichende und wirksame Hilfsmöglichkeiten für die Unternehmen bereit, ihre Abhängigkeit von den Rohstoffpreisentwicklungen zu verringern.

So hilfreich diese staatlichen Programme sind, so belastend sind die z. T. gravierenden fiskalischen Einflüsse auf die deutschen Energie- und Rohstoff-

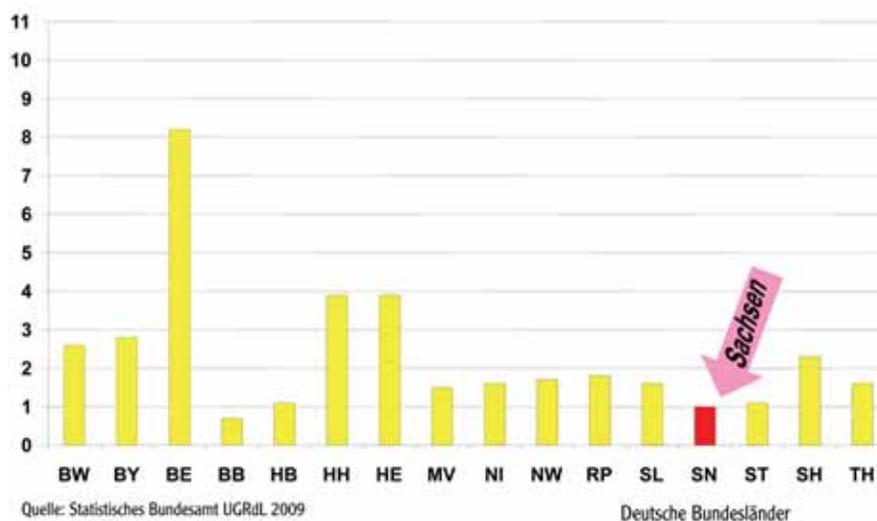


Abb. 7: Rohstoffproduktivität in jeweiligen Preisen 2007 in 1.000 EUR/t

preise. Vorreiterrollen im Klima- und Umweltschutz, ideologisch begründete Kreuzzüge gegen ausgewählte Energie- und Industrierohstoffe belasten die deutschen/sächsischen Unternehmen erheblich und gefährden Wettbewerbsfähigkeit und Standorte, insbesondere mittelständischer Firmen nachhaltig.

Neben der großen Zahl betroffener Industriebetriebe, die mit den langfristig steigenden Rohstoffpreisen konfrontiert sind, gibt es gerade in Sachsen die bedeutende Gruppe der *Nutznieser* dieser Entwicklung:

- Geologische, geotechnische Dienstleister
- Bergbau-, Bergbausanierungsfirmen
- Hütten- und Recyclingunternehmen
- Maschinen- und Anlagenbauer
- Metallhändler und Rohstofflogistiker
- Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen mit Kompetenzen in der gesamten Rohstoffkette
- Technische Consulter/Ingenieurbüros (Werkstoffe, Recycling, Effizienz u. a.)

Sie können bei der Mitwirkung an der Lösung der Herausforderungen in der internationalen Rohstoffwirtschaft neue und zusätzliche Geschäfte generieren und Arbeitsplätze schaffen. Die nutznießenden Firmen sind ebenfalls überwiegend kleine und mittlere Unternehmen, was den Zugang zu den Projekten der Rohstoffwirtschaft, besonders im internationalen Bereich, nicht einfacher macht, zumal diese zunehmend komplexer werden.

Die Vernetzung der sächsischen Rohstoffakteure und ihre intensive arbeitsteilige Kooperation waren und sind daher die notwendige Bedingung für eine größere Teilhabe an internationalen Projek-

ten. Der im Jahr 2003 gegründete Verein Geokompetenzzentrum Freiberg stellt sich dieser Aufgabe mit folgenden Zielen:

- Vernetzung der sächsischen Rohstoffakteure
- Stärkung ihrer internationalen Wettbewerbssituation
- Initiierung von Forschungsprojekten
- Verbesserung von Aus- und Weiterbildung



Abb. 8: Mitgliederstruktur des Geokompetenzzentrums Freiberg e. V.

Betriebe der Rohstoffwirtschaft, Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen, Ämter und Verwaltungen bilden das größte rohstoffrelevante Netzwerk Europas. Mit seiner Denkschrift an den Ministerpräsidenten zur sächsischen Rohstoffpolitik vom Juli 2005 [25] hat der Verein maßgebliche Impulse der Staatsregierung für die Priorisierung von Rohstofffragen im Freistaat Sachsen ausgelöst und unterstützt. Mit Ausnahme des Themas Vermeidung und Beherrschung von Rohstoffkonflikten können die GKZ-Mitglieder zur Lösung der anderen Herausforderungen kreative, erfolgreiche Beiträge liefern. Dazu Beispiele aus drei Bereichen:

Zu den traditionellen Beiträgen Sachsens bei der Entwicklung und Stärkung der internationalen Rohstoffwirtschaft zählt seit Jahrhunderten die Aus- und Weiterbildung von ausländischen Fach-

kräften bzw. der direkte Transfer von Spezialisten in wichtige Rohstoffländer. Dabei spielt die TU Bergakademie Freiberg eine zentrale Rolle; *Tab. 1* zeigt dies am Beispiel der Absolventenzahlen aus wichtigen Bergbauländern. Gegenwärtig studieren rund 400 ausländische Studenten aus 50 Ländern an der TU Bergakademie Freiberg.

Tab. 1: Absolventen der TU Bergakademie Freiberg aus wichtigen Bergbauländern

Land	1766/1945	1945/94	1995/2008
Russland	367	22	265
China	4	11	375
Mongolei	–	36	71
Chile	20	11	4
Bolivien	1	33	11
Australien	7	–	2
Peru	8	11	5
Brasilien	16	2	9
Sambia	–	10	2

Diese Absolventen, die sich meist zeitlebens ihrer Alma mater Freibergensis verbunden fühlen, stellen ein unschätzbares, leider noch nicht optimal genutztes Potenzial für sächsische Wirtschaftsaktivitäten in ihren Heimatländern dar. Viele von ihnen arbeiten in rohstoffrelevanten Schlüsselpositionen ihrer Länder, z. B.:

- der Chef der Chamber of Mines of Namibia, Mr. Malongo, hat in Freiberg Bergbau-Tiefbau studiert
- der Direktor des chilenischen Kupferforschungsinstituts, Dr. Malea, hat an der Bergakademie Freiberg studiert und promoviert
- Dr. Claros von der bolivianischen Universität Potosi, Partner des aktuellen Lithium-Projektes der TU Bergakademie, hat ebenfalls an der Freiburger Universität studiert und promoviert

Das Geokompetenzzentrum bemüht sich gemeinsam mit der Hochschule, den aktiven Alumnikreis zu erweitern, mit den Absolventen regelmäßig zu kommunizieren und sie zunehmend in Forschungs- und Wirtschaftsprojekte einzubinden. Ergänzt werden diese Aktivitäten in und um die akademische Erstausbildung durch Angebote des GKZ e. V. zur berufsbegleitenden Weiterbildung von Fachleuten aus wichtigen Rohstoffländern. Diese finden vor Ort oder in Sachsen statt. Schwerpunktthemen sind:

- neue Technologien im Bergbau
- Umweltschutzmaßnahmen in Gewinnung und Aufbereitung
- Verwaltung und Kontrolle von Bergbaulizenzen

– Effizienzsteigerungen und Sicherheitsbedingungen im Kleinbergbau Zielländer waren bisher die Mongolei, China, Ghana und Chile, neue Vorhaben werden in Vietnam und Namibia vorbereitet. In der Regel sind die Teilnehmer an diesen Weiterbildungen Mitglieder von Bergbauverwaltungen sowie des Managements von Rohstofffirmen. Aus den Nachkontakten haben zahlreiche sächsische Unternehmer und Wissenschaftler Zugang zu den Explorations-, Gewinnungs-, Sanierungs- und Forschungsvorhaben bedeutender Rohstoffländer gefunden.

Da sich der direkte Zugang unserer zumeist kleinen und mittleren Firmen zu Großvorhaben der internationalen Rohstoffwirtschaft schwierig gestaltet, intensiviert der GKZ e. V. seine o.g. Projekte in den nächsten Jahren vor allem in Asien, Afrika und Lateinamerika deutlich und konzentriert sich dabei besonders auf die Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft und den Kleinbergbau, dessen Anteil an der Weltproduktion beachtlich ist (*Tab. 2*) und weiter steigt. Nach Schätzungen sind im Kleinbergbau (< 50.000 t/a Jahresförderung im Tiefbau, < 100.000 t/a im Tagebau) weltweit 13 Mio. Menschen beschäftigt. [14]

Tab. 2: Geschätzter Anteil des Kleinbergbaus an der Weltproduktion. Quelle: BGR 2007

Metalle	in %	Industriemineralien	in %
Wolfram	80	Flussspat	90
Chrom	50	Graphit	90
Antimon	45	Schwespat	60
Zinn	30	Salz	20
Kobalt	30	Kohle	10

Die vielfach dramatischen Defizite des Kleinbergbaus in der Planung und beim technologischen Niveau, bei den Sicherheitsstandards, beim Umweltschutz sowie in den Arbeits- und Lebensbedingungen machen ihn häufig zur Ursache von gewaltsamen Konflikten und für ein schlechtes Image der Rohstoffwirtschaft. Sächsische Firmen besitzen für die Verbesserung dieser Situation exzellentes Fachwissen, hervorragende Referenzen und langjährige Erfahrungen. Im Gegensatz zu zahlreichen internationalen Mitbewerbern verfügen sie zudem über ein hervorragendes Image in den Zielländern und bei den sensiblen Zielgruppen.

Sehr hoch einzuschätzen sind die Ergebnisse des GKZ e. V. bei der Neubewertung einheimischer Rohstoffvorkommen,

bekannt geworden unter dem Projekttitel ROHSA, d. h. Rohstoffe in Sachsen. Im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit wurde 2008 unter Federführung des Vereins eine investorengerechte Neubewertung von 139 sächsischen Erz- und Spatvorkommen abgeschlossen. [26]

Seit Juli 2010 wird im Rahmen eines EU-Projekts mit der gleichen Methodik eine Neubewertung der Erz- und Spatlagerstätten im deutsch-tschechischen Grenzgebiet gemeinsam mit tschechischen Partnern durchgeführt. Ähnliche Projekte mit anderen Bundesländern befinden sich in der Diskussion. Gleichzeitig bereitet das Geokompetenzzentrum ein Großvorhaben vor, bei dem es um die komplexe Sammlung, Verdichtung und Neubewertung von bis heute vorliegenden geologischen, geophysikalischen und geochemischen Erkundungsergebnissen zum sächsischen Territorium geht. Diese in der Vergangenheit von verschiedenen Unternehmen und Institutionen mit unterschiedlichen Zielstellungen erfassten Daten sind zurzeit über zahlreiche Archive/Standorte in Deutschland und Sachsen verstreut. Eine Neugewinnung vergleichbarer Daten, wenn in diesem Umfang überhaupt möglich, würde mehrere Jahrzehnte dauern und nach vorsichtigen Schätzungen heute Kosten von 500–600 Mio. € verursachen.

Mit dem Projekt ROHSA III sollen zum einen diese wertvollen Informationen gesichert sowie für modernste Auswertetechnologien modifiziert werden und andererseits neue Erkenntnisse zu sächsischen Vorkommen von Industriemineralen, Energierohstoffen und Geothermiepotenzialen gewonnen werden. Daraus können Ansatzpunkte für neue private und öffentliche Explorationsaktivitäten abgeleitet werden. Die Bewertung der Rohstoffpotenziale von Halden des ehemaligen sächsischen Bergbaus ist in das Projekt integriert. Das dabei gewonnene Knowhow der bearbeitenden sächsischen Firmen und Institutionen, z. B. bei der Datenverarbeitung, dem Aufbau von Datenbanken und der Auswertetechnik, kann in den nächsten Jahren mit hoher Rendite im In- und Ausland verkauft werden.

Die Wichtigkeit derartiger Rohstoffkataster und investorengerechter Informationen hat sich bei der Beantragung und Umsetzung mittlerweile zwölf neuer Bergbauberechtigungen in Sachsen auf Erze und Spate eindrucksvoll bestätigt:

- Spremberg-Graustein-Schleife
- Weißwasser
- Delitzsch
- Granulitgebirge
- Altenberg/TINCO
- Ehrenfriedersdorf/Geyer
- Pöhl-Globenstein
- Antonsthal
- Gottesberg
- Breitenbrunn
- Niederschlag EFS GEos
- Pöhl-Hämmerlein/Tellerhäuser

Mit der Vergabe der 1. Konzession für den Fluss- und Schwespatabbau in Niederschlag durch das sächsische Oberbergamt an ein einheimisches Unternehmen besteht die berechtigte Hoffnung, dass dort noch 2010 das erste neue deutsche Bergwerk seit Jahrzehnten seinen Betrieb aufnimmt.

Mit seinem Braunkohlenkataster, dem beabsichtigten Natursteinkataster und dem 2009 fertiggestellten Atlas der oberflächennahen Geothermiepotenziale sowie der in Kürze zu erwartenden sächsischen Rohstoffstrategie [27] gehört der Freistaat Sachsen neben Österreich zu den Vorreitern bei der Schaffung guter Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die bessere Nutzung einheimischer Rohstoffe in der EU:

Bei der Lösung der o.g. Herausforderungen kommt der Ausweitung, Konzentration und Internationalisierung der rohstoffrelevanten Forschung eine Schlüsselstellung zu. Der Freistaat Sachsen verfügt mit seinen Kompetenzen und Kapazitäten in der Rohstoffforschung in Hochschulen, allen voran die Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg, außeruniversitären Forschungsinstituten und in den Unternehmen über weltweit wettbewerbsfähige Potenziale für alle Wertschöpfungsstufen der Rohstoffwirtschaft. Wenn dieser europäische Spitzenplatz dauerhaft gesichert und verbessert werden soll, müssen allerdings die Forschungskapazitäten deutlich ausgebaut, stärker interdisziplinär orientiert und noch besser vernetzt werden. Dieser Anspruch ist nur mit der Stärkung aller Träger der Rohstoffforschung – Hochschulen, außeruniversitäre Forschungsinstitute, Unternehmen – und deren optimaler arbeitsteiliger Zusammenarbeit zu erfüllen.

Alleinvertretungsansprüche, Wettbewerbsängste, Fehlbeurteilungen der Aufgabenkomplexität oder Selbstüberschätzung der eigenen Kompetenzen durch die einzelnen Partner gefährden die interna-

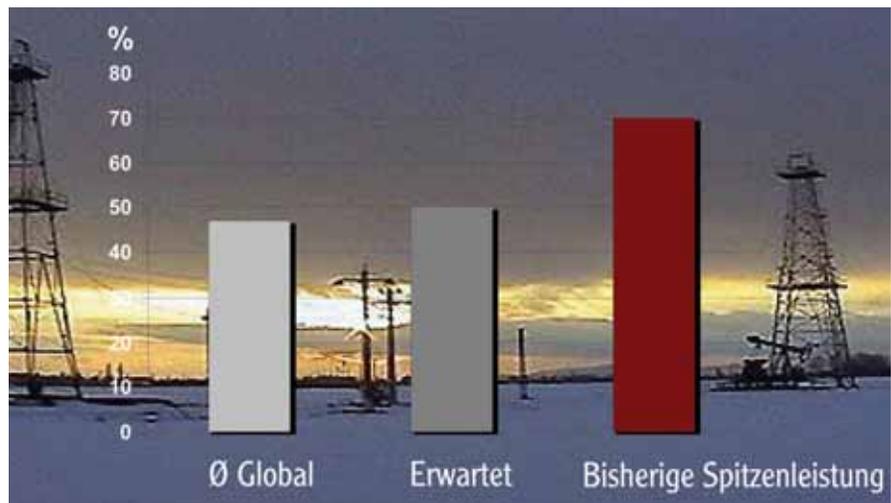


Abb. 9: Fortschritte in der Ausbeute von Erdöllagerstätten. Quelle: Picard MWV 2008

tionale Wettbewerbsfähigkeit des Rohstoffforschungsstandortes Freiberg bzw. Sachsen. Die bestmögliche Unterstützung durch alle genannten Partner einschließlich des Freistaats für die gegenwärtig intensiven Bemühungen der TU Bergakademie, des Helmholtzzentrums Dresden-Rossendorf und der sächsischen Rohstoffwirtschaft zur Ansiedlung eines außeruniversitären Großforschungszentrums Ressourcentechnologien in Freiberg ist deshalb sowohl zwingende Notwendigkeit für den zügigen Ausbau der Forschungskapazitäten als auch der Gradmesser für die Ernsthaftigkeit und Weitsichtigkeit sächsischer Forschungs- und Wirtschaftspolitik.

Welche umfangreichen und komplexen Probleme von der internationalen Rohstoffforschung mittel- und langfristig zu lösen sind, hat die *European Technology Platform on Sustainable Mineral Resources*, in der mehr als 30 Unternehmen, Hochschulen, geologische Dienste und Forschungsinstitute mitarbeiten, 2009 zusammengetragen. [28]

Die *aktuellen Forschungsaktivitäten* von GKZ-Mitgliedern belegen, dass die sächsische Rohstoffforschung substantielle Beiträge zur Lösung der internationalen Forschungsthemen liefern kann, so beispielsweise:

- Zulässige geotechnische Restrisiken im Sanierungsbergbau
- Verbundprojekt „Geobiotechnologie“ zur Rohstoffgewinnung aus Halden und Armerzen
- Erhöhung der Ausbeute von Erdöl- und Erdgaslagerstätten und Speicherung dieser Energieträger
- Entwicklung und Optimierung von Abdecksystemen für Bergbauhalden
- Aufbereitung von Hartmetallschrott

mit Industriediamanten

- Recycling von komplex zusammengesetzten Nichtedelmetallkatalysatoren
- Neue Aufbereitungstechnologien für tonmineralische Rohstoffe durch mikrobiologische Reaktionen
- Entwicklung innovativer Verfahren zur in-Situ-Behandlung von Grubenwässern
- Verbundforschung „Syngas to Fuel“ zur Gewinnung synthetischer Kraftstoffe aus Synthesegas

Welche enorme wirtschaftliche Bedeutung die Ergebnisse dieser Forschungen haben, belegen folgende Beispiele:

- Durch die Verbesserung der Ausbeute von Erdöl- und Erdgaslagerstätten können Milliarden t bzw. m<sup>3</sup> dieser wertvollen Energieträger gewonnen werden (Abb. 9). 1 % zusätzliche Ausbeute entsprach 2008 ca. 3,9 Mrd. t Erdöl. Mit den in Freiberg in Entwicklung befindlichen Vergasungstechnologien können z. B. in Zukunft bisher abgefackelte Erdölbegleitgase zu hochwertigem Kraftstoff verarbeitet werden. Allein bei der Erdölförderung im Nigerdelta werden 20 Mrd. m<sup>3</sup> Gas/a abgefackelt. Mit dem sächsischen Verfahren können daraus ca. 7-8 Mio. t Kraftstoff hergestellt werden, das entspricht mehr als 3 Jahresverbräuchen im Freistaat. Gleichzeitig wird dadurch die Emission von 35 Mio. t CO<sub>2</sub> und 12 Mio. t Methan vermieden.

Bei den Forschungen zur Rückgewinnung von Metallen z. B. aus Elektronikschrott geht es um ähnliche Nutzeffekte (Tab. 3). Gegenwärtig liegt die Recyclingquote von Elektronikschrott weltweit unter 40 % [29], bei umweltgerechtem Recycling sogar unter 20 %. Daher taxiert man den Wert der jährlichen Metallverluste durch nicht recycelten Elektronik-

schrott auf 8–10 Mrd. US-Dollar. Von den rund 1,3 Mrd. Handys, die 2008 weltweit produziert wurden, gelangen nur rund 3% ins Recycling [30]. Die Konsequenzen werden besonders plastisch am Beispiel des Goldgehalts. Die derzeitige Untergrenze für eine wirtschaftliche industrielle Goldgewinnung aus Festgestein liegt bei 1,8–2 g Gold/t. In einer Tonne Handyschrott sind dagegen rund 340 g Gold enthalten.

Tab. 3: Metallgehalt in Mobiltelefonen.  
Quelle: C. Hagelüken 2008

Element	Masse (kg/t)	Element	Masse (kg/t)
Silber	3,5	Eisen	70,0
Kupfer	130,0	Blei	6,0
Palladium	0,144	Gold	0,344
Zink	11,0	Zinn	10,0
Nickel	14,0		

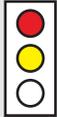
Aus Sicht des Autors bestehen beim Ausbau der sächsischen Kapazitäten in der Rohstoffforschung für die einzelnen Wertschöpfungsstufen sehr unterschiedliche Notwendigkeiten und Wichtungen. Tab. 4 soll dies in Form einer Ampelschaltung verdeutlichen. Rot steht dabei für einen besonders dringlichen Kapazitätszuwachs, die anderen Farben für einen entsprechend weniger dringlichen. Schwerpunkte des Ausbaus sind dabei das geplante außeruniversitäre Rohstoffforschungsinstitut in Freiberg und die personelle und materielle Stärkung der TU Bergakademie Freiberg, wie sie auch der Sächsische Innovationsbeirat 2009 gefordert hat [31].

### Strategische Aufgaben der sächsischen Wirtschaft und Forschung im Rohstoffbereich

Dem Freistaat Sachsen erwachsen aus der großen Betroffenheit seiner Industrie durch die tiefgreifenden Veränderungen der internationalen Rohstoffmärkte und die sich bietenden Chancen aus dieser Entwicklung besondere Verpflichtungen im Rohstoffbereich. Dazu gehören:

- Verabschiedung und Umsetzung einer langfristigen Rohstoffstrategie
- gezielte sächsische Auslandsprojekte in ausgewählten Bergbauländern zu Themen mit Landeszuständigkeit
  - Bergbauverwaltung/Investorenmanagement
  - Aus- und Weiterbildung von Fachkräften
  - Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz
  - Exploration

Tab. 4: Schwerpunkte eines sächsischen Forschungsprogramms „Rohstoffe“

Lagerstätten- erkundung	Gewinnung/ Sanierung	Aufbereitung/ Recycling	Verhüttung/ Veredlung	Rohstoffvorsorge und -logistik	Effizienz/ Substitution
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerstätten-generese</li> <li>• Erkundungs-methoden</li> <li>• Datenbanken</li> <li>• Fernerkundung</li> <li>• Modellierungs-methoden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologien für Kleinbergbau</li> <li>• Bergbau in großen Teufen</li> <li>• Havarieprognose/-bekämpfung</li> <li>• Sanierungstechnologie/-monitoring</li> <li>• Verfahren zur Steigerung der Ausbeute</li> <li>• Laugung und geobiotechnologische Gewinnung</li> <li>• maritimer und extraterrestrischer Bergbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anreicherung von Spurenelementen</li> <li>• mobile Aufbereitungstechnik</li> <li>• Weiterentwicklung der Flotation</li> <li>• Aufbereitung von komplexen Schrotten</li> <li>• sensor- und röntgengestützte Sortierung</li> <li>• Recycling von Kleinstgehalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stoffliche Nutzung der Kohle</li> <li>• Entwicklung von Verbundwerkstoffen</li> <li>• Vergasungstechnologien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückwärtsintegration</li> <li>• Optimierung Rohstofftransport/Rohstofflagerung</li> <li>• Nachhaltigkeitsmodelle</li> <li>• Strukturen/Rahmenbedingungen im Kleinbergbau</li> <li>• Bewertung von Rohstoffvorkommen</li> <li>• Prognose von Technologietrends</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung der Ressourceneffizienz</li> <li>• Spezifische Werkstoffentwicklung</li> <li>• gezielte Materialsubstitution</li> </ul>
					

mit der wirtschaftspolitischen Zielsetzung: Knowhow – gegen langfristige Rohstofflieferungen.

- Gezielte Erfassung der sächsischen Rohstoffpotenziale in Halden, Deponien, Siedlungen, Infrastruktur u. a. sowie Pilotprojekte zur ihrer Nutzung mit dem Ziel eines Sächsischen Sekundärrohstoffkatasters (ROHSA IV).
- Schaffung eines speziellen Forschungsprogramms „Rohstoffe“
- Erweiterung des Auftrages der sächsischen Energieagentur (SAENA) um das Thema Materialeffizienz
- Programm zur Vermittlung eines ideologiefreien Rohstoffwissens und -bewusstseins an die Bevölkerung; besonderer Schwerpunkt sind Kindergärten und Schulen
- Wirtschaftspolitische Gleichstellung der Rohstoffwirtschaft mit den durch sächsische Verbundinitiativen besonders unterstützten Wirtschaftsbereichen
- Aktive politische Unterstützung bei der Sicherung der sächsischen Mitarbeit in wichtigen nationalen, europäischen und internationalen Gremien und Netzwerken der Rohstoffforschung und -wirtschaft (z. B. ETP Sustainable Mineral Resources, Raw Materials Group, UN-Initiative StEP u. a.)
- Wiedereingliederung des Bergbaus in die deutsche Investitionsförderung (GA)

### Fazit

Seit mehr als 800 Jahren werden in Sachsen Erze, Spate, Kohle und Naturstein

erkundet, gewonnen und verarbeitet. Immer hat die sächsische Rohstoffwirtschaft die damit verbundenen Herausforderungen durch das enge Zusammenwirken von Unternehmen, Wissenschaft, Verwaltung und Bevölkerung gelöst. Große Namen, wie Agricola, Lomonossow und Alexander von Humboldt stehen stellvertretend für Tausende sächsischer oder in Sachsen ausgebildeter Fachkräfte, die das dabei gewonnene Wissen in die ganze Welt getragen haben. Dieser internationale Austausch ist nie abgerissen; er bietet heute für Sachsen neue Chancen und Perspektiven.

Der Austausch von „Rohstoff-Know-How“ gegen Rohstoffe muss in Zukunft zum wichtigen Bestandteil deutscher und sächsischer Wirtschaftsstrategien werden. Das hilft den Betroffenen und den Nutznießern der Veränderungen an den Rohstoffmärkten gleichermaßen. Zudem sind solche Geschäfte spekulations-sicher.

Auf dem Weg zu dieser Strategie und bei ihrer Umsetzung müssen die Menschen mitgenommen werden, indem ihnen das Wissen und das Vertrauen in die Richtigkeit des Spruchs „Alles kommt vom Bergwerk her“ oder in der modernen Version von Prof. Fettweis (Leoben) „Die Zukunft beginnt mit dem Bergbau“ überzeugend vermittelt wird. Die Firmen der Rohstoffwirtschaft und die Institutionen der Rohstoffforschung im Freistaat Sachsen stehen bei dieser Aufgabe in einer großen Verantwortung.

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- 1 Georg Agricola: De Re Metallica Libri XII Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, Erstes Buch. Matrix Verlag Wiesbaden 2006, S. 11
- 2 Autorenkoll.: Entwicklung von Beurteilungssystemen für die Nachhaltigkeit bei der Rohstoffgewinnung. Endbericht RWTH Aachen/ZKD Ingenieurgesellschaft, Aachen/Bochum 2003, S. 3
- 3 Eugen Weinberg u.a.: Zur Rohstoffsituation in der Elektroindustrie. Commerzbank, ZVEI 2010
- 4 C. Rolle, W. Specht: „Für eine strategische und ganzheitliche Rohstoffpolitik“. BDI-Strategiepapier zur Rohstoffsicherheit, Berlin Juni 2010
- 5 Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation und zur möglichen rohstoffpolitischen Handlungsoptionen. BMWI-Projektgruppe Rohstoffe, Berlin 2005
- 6 Autorenkoll.: Rohstoffsituation Bayern: Keine Zukunft ohne Rohstoffe – Strategien und Handlungsoptionen. Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V., 2009
- 7 F. Ch. Matthes, H.-J. Ziesing: Sicherheit der Rohstoffversorgung – eine politische Herausforderung?! Kurzstudie für die Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen, Berlin 2005
- 8 Thesen zur Rohstoffpolitik. BMWI, Berlin 2005
- 9 H. Bardt: Sichere Energie- und Rohstoffversorgung – Herausforderungen für Politik und Wirtschaft. IW-Positionen Nr. 36, Köln 2008
- 10 Energy Technology Perspectives 2008 – Scenarios and Strategies to 2050. IEA Publications, Paris 2008
- 11 Energietechnologie 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung. ISI-Schriftenreihe „Innovationspotenziale“, Fraunhofer-Verlag Stuttgart 2010
- 12 Mineral Commodity Summaries 2010. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Washington 2010
- 13 G. Angerer u.a.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Schlussbericht zum BMWI-Forschungsauftrag. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung Karlsruhe, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin 2009
- 14 Compendium on Best Practices in Small-Scale Mining in Africa. Economic Commission for Africa, Addis Ababa 2002
- 15 Working Together – How Large-scale mining can engage with artisanal und Small-scale miners. International Finance Corporation/World Bank, 2009
- 16 Für eine strategische und ganzheitliche Rohstoffpolitik – BDI-Kernforderungen zur Rohstoffpolitik. Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., Berlin 2008
- 17 Elemente einer Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Berlin 2007
- 18 Zwischenbilanz der Rohstoffaktivitäten der Bundesregierung (Schwerpunkt nichtenergetische Rohstoffe). Berlin 2008
- 19 Die Rohstoffinitiative – Sicherung der Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern. Mitteilung der EU-Kommission an das europäische Parlament und den Rat Brüssel, KOM (2008) 699
- 20 A. Wittenberg u.a.: Entwicklungsfaktor extraktive Rohstoffe. Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. BMZ spezial 166, 2010
- 21 Raw materials policy 2009 annual report. EU-Kommission DG for Trade. EU-Kommission
- 22 Critical raw materials for the EU. Report of the ad-hoc working group on defining critical raw materials. EU-Kommission DG Enterprise and Industry, Brüssel 2010
- 23 Konjunkturbericht LAG der Sächsischen Industrie- und Handelskammern. 2010
- 24 D. Mager: Denkbare Lösungen: „Kritische Materialien“. Symposium zur Versorgung Europas mit nichtenergetischen Rohstoffen, Paris 3./4. Juni 2010
- 25 Anregungen für eine zukunftsorientierte sächsische Rohstoff- und Energiepolitik. Denkschrift des Geokompetenzzentrums Freiberg e.V., 2005
- 26 Sächsisches Rohstoffkataster der Spat- und Erzvorkommen. Stand Oktober 2008. Geokompetenzzentrum Freiberg e. V., 2008
- 27 Rohstoffland Sachsen. Antrag der CDU-Fraktion und der SPD-Fraktion im Sächsischen Landtag Dresden, März 2009
- 28 Strategic Research Agenda Revision 3. European Technology Platform on sustainable mineral resources, 2009
- 29 M. Burkhard u.a.: Verbesserung der Edelmetallkreisläufe. Analyse der Exportströme von Gebrauchts-PKW und Elektro(nik)geräten am Hamburger Hafen. Kurzbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes Dessau. Öko-Institut Darmstadt, 2007
- 30 Germanwatch. In: Zeitung für zukunftsfähige Nord-Süd-Politik 1/2009, S. 3
- 31 Nachhaltige Rohstoffversorgung. Positionspapier des Sächsischen Innovationsbeirats, 2. Februar 2009
- 32 Ch. Hagelüken: Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from electronic devices. OEDC-UNEP Conference on Resource Efficiency, Paris 2008
- 33 K. Picard: Heizen mit Öl – ein wesentlicher Beitrag zur Versorgungssicherheit und Klimaschutz. Mineralölwirtschaftsverband 2008
- 34 Globalisierung braucht Sicherheit. Gesamtverband Steinkohle 10/2009

# Lithium: Salar de Uyuni – der neue Silberschatz Boliviens

## Universitäre Partnerschaft für weltweite Elektromobilität und soziale Entwicklung Wolfgang Voigt

### Salar de Uyuni

Der Salar de Uyuni ist mit einer Ausdehnung von ca. 100 × 100 km der größte Salzsee der Erde, eine Hochebene auf ca. 3.700 m Höhe, umgeben von den noch höheren Gebirgszügen der Anden (Kordillieren). Der Begriff See ist nicht ganz richtig, denn er ist ausgetrocknet und stellt damit eine 10.000 km<sup>2</sup> große, abso-

lut ebene Salzplatte dar (Abb. 1). Die Bolivianer erzählen stolz, dass die Amerikaner bei ihrer ersten Mondlandung auf der Erde etwas weiß blitzen sahen und sich fragten, was das wäre. Spätere Auswertungen ergaben: Es war der Salar de Uyuni, die größte weiß reflektierende Ebene auf der Erde. Tatsächlich werden heute Abstandskalibrationen von Satelliten an

dieser Fläche vorgenommen. Auf dem Salar können Flugzeuge landen, und man kann mit dem Auto mit 100 km/h über die Fläche donnern, um dann mitten drin an einer Kakteeninsel (Abb. 2) vorbeizukommen oder nach einer reichlichen Stunde die andere Seite zu erreichen. Dies alles sind Touristenattraktionen, allerdings auch mehr für Kenner. Ihre Zahl



Abb. 1: Salar de Uyuni



Abb. 2: Kakteeninsel (Isla de Incahuasi) im Salar de Uyuni

wächst jedoch schnell, denn mit der vor ca. zwei Jahren eingeleiteten, fieberhaften Suche nach Lithium-Ressourcen für die zukünftige Produktion großer Lithiumbatterien für umweltfreundliche Elektrofahrzeuge gingen auch die Bilder des Salars durch Presse und Fernsehen, verbunden mit der Botschaft: hier liegt die weltgrößte Reserve an Lithium – in Form einer Salzlösung. In den Porenräumen der Salzablagerungen – beginnend etwa 30 cm unter der Oberfläche bis in mehrere Meter Tiefe – befindet sich eine an NaCl gesättigte Lösung, die noch größere Mengen an Magnesium- und Kalisalzen enthält, aber eben auch 0.5–4.0 g/L Lithium in Form von gelöstem Lithiumsalz. Nach neueren Schätzungen (O. Ballivian BHT 2010) beträgt die Lösungsmenge etwa 1.400 Mrd. m<sup>3</sup> mit einer auf das Element Lithium umgerechneten Menge von 146 Mio t. Daraus könnte man ca. 730 Mio t Lithiumcarbonat herstellen – Ausgangsstoff für die Lithiumbatterien.

### „Bergbau“ im Salzsee – Neue Felder einer Partnerschaft

Die TU Bergakademie Freiberg verbindet eine mehr als 40-jährige Partnerschaft mit der Autonomen Universität „Tomas Frias“ in Potosi auf den Gebieten Bergbau, Geologie und Aufbereitungstechnik. Im Mittelpunkt stand dabei der Erzbergbau, denn das Departement Potosi ist ein Zentrum des Bergbaus von Zinn-, Blei-, Zink- und Silbererzen. Potosi, in 4.000 m Höhe am Cerro Ricco (dem



Abb. 3: Fahrt durch den vom Regen überfluteten Salar im März 2009

Reichen Berg) gelegen, verdankt seine Stadtgründung wie Freiberg dem Silber. Gleichzeitig ist Potosi die dem Salar de Uyuni am nächsten liegende (180 km Entfernung) größere Stadt (140.000 Einwohner) mit einer Universität. Daher hat man über das Lithium auch in den 1980er und 90er Jahren hin und wieder einmal nachgedacht, und Prof. Dr. Manfred Wolf hat dort bereits einige grundsätzliche geologische Untersuchungen vorgenommen, aber die harten Metalle waren zu diesen Zeiten doch wichtiger. Das änderte sich schlagartig mit dem Ruf der Welt nach Lithium für Batterien. Allerdings ist das Profil der Universität in Potosi auf diese Art der Rohstoffgewinnung – der Salzverarbeitung – gar nicht ausgerichtet. Daher kam ein Hilferuf nach Freiberg nach einem Salzspezi-

alisten von einem Alumnus unserer TU, Dr. Jaime Claros (Absolvent des Instituts für Bergbau), an die Bergleute – genauer an Dr. Jürgen Weyer –, der postwendend am Institut für Anorganische Chemie anklopfte. Wir hatten zwar bisher über viele Salzprobleme gearbeitet, angefangen bei den deutschen Kalisalzen in den Gruben und ihrer Verarbeitung, über die Salzhydrate als Latentwärmespeichermaterialien bis hin zu Salzlösungen und -schmelzen für chemische Reaktionen – aber Salzseen und Gewinnung von Lithium, das war neu. Nach einem Informationsbesuch auf Einladung unserer Potosinos im März 2008, an dem auch Prof. Gerhard Heide (Institut für Mineralogie) teilnahm, war klar: Wir können und wollen helfen. Dies ist eine Chance für beide Universitäten.



Abb. 4: Salzgewinnung im Salar de Uyuni nach der Regenzeit

## Erste Schritte: Sonne – Wind – Chemie und Salzbauern

Zunächst wurde ein Kurs zur Salzchemie in Freiberg (November 2008) für drei Dozenten der Chemie aus Potosi und Dr. Claros organisiert. Die Zeit wurde genutzt, um Strategien und Pläne für das weitere Vorgehen zu schmieden. Das Grundprinzip der Lithiumsalzgewinnung aus Salar-Salzlösungen wird beim Weltmarktführer der Lithiumsalzgewinnung, dem Nachbarland Boliviens, Chile, im Salar de Atacama (1/3 der Größe des Salars de Uyuni) schon viele Jahre praktiziert: Die Salzlösung wird in große flache Verdunstungsbecken gepumpt (jeweils mehrere Quadratkilometer groß), wo unter Nutzung der intensiven Sonneneinstrahlung und des Windes über einen mehrstufigen Prozess des Eindunstens Steinsalz, Kali- und Magnesiumsalze größtenteils auskristallisieren. Dann werden noch Calciumchlorid und Löschkalk in die Becken gegeben, um störende Sulfate als Gips auszufällen. Schließlich wird die Restlösung mit ca. 300–400 g/L Lithiumchlorid, LiCl, in die chemische Anlage abtransportiert, wo das noch enthaltene Magnesiumchlorid und Borat abgetrennt werden. Finaler Schritt der Prozesskette ist die Ausfällung von Lithiumcarbonat mit reiner Soda.

Nun ist der Salar de Uyuni nicht der Salar de Atacama: Die Bedingungen sind andere. Auf bolivianischer Seite gibt es eine Regenzeit (Abb. 3), die Verdunstungsgeschwindigkeit ist nur halb so groß wie in der Atacama. Die Lösungen enthalten viel mehr Magnesiumsalz, das vom Lithiumsalz abgetrennt werden muss. Der Salar wird intensiv zur Speisesalzgewinnung genutzt (Abb. 4). Er ist in seiner unzerteilten Schönheit ein Touristenmagnet und gleichzeitig Symbol für die indianische Bevölkerung. Dies alles galt und gilt es bei einer zukünftigen Nutzung zu berücksichtigen. Schnell waren die zunächst wichtigsten Ziele klar:

- eine intensivere, Flächen sparende Eindampfungstechnologie und
- eine effiziente Trennmethode für das Lithium vom Magnesium bei der nur wenig Abfallprodukte entstehen.

### Der Freiburger Kegel

Noch während des Seminars im November 2008 wurde die Idee des Eindampfkegels geboren. Kleine, solargetriebene Pumpen sollten die Salzlösung auf die Spitze eines bespannten kegelförmigen Rahmens befördern, von wo



Abb. 5 und 6: Aufbau der Eindampfkegel im Salar de Uyuni durch Studenten der TU Bergakademie



Abb. 7: Der Autor und Dr. Claros (Bildmitte) erklären vor den Einwohnern aus den Dörfern der Umgebung die Wirkungsweise der Eindampfkegel. Im Vordergrund Photovoltaik-Panels zum Betrieb der Salzlösungspumpen, gespendet von der SolarWorld GmbH Freiberg

sie beim Herunterrieseln schneller eindampfen sollte als eine stehende Lösung in einem Becken. Dieses Konzept galt es schnell umzusetzen, zu prüfen und zu präzisieren. Dazu waren Mittel, Hände und Köpfe nötig. So entstanden die ersten Versuchsmuster im Labor (Februar bis April 2009), betrieben von Anke Hertam und Carmen Beltz (Studentinnen der Angewandten Naturwissenschaft). Dann wurde das erste 1:1-Modell im Hof der Chemie (Juni 2009) mit viel Initiative vom Technischen Bereich der chemischen Institute (Ing. St. Braun, Meister A. Damm und Herr A. Riedel) gebaut und von Sebastian Köcke (Student Verfahrenstechnik) betrieben. Im September bauten Anke und Carmen die ersten Kegel im Salar auf (Abb. 5, 6). Nur Eingeweihte können sich eine Vorstellung davon machen, wie viel Improvisationsvermögen es bedarf, um in einer sehr strukturschwachen Region mit dem Vorhandenen sein Ziel zu erreichen. Natürlich gehört dies zum Konzept: Die Kegel sind so aufgebaut und so preisgünstig,

dass sie von der regionalen Bevölkerung erstellt, finanziert und betrieben werden können. Inzwischen fand das Konzept in der ganzen Salarregion Interesse (Abb. 7).

### Für Nachhaltigkeit von Anbeginn – schnelle Hilfe aus Hannover

Nachhaltige Nutzung der Ressourcen des Salars – und das sind neben dem Lithium auch die Borate und Kalisalze – erfordert vor allem auch, das Wissen über den Salar zu erweitern, seine Struktur genauer zu kennen, die Bildung der Salzlösung und ihre Bewegungen unter der Kruste zu studieren. Deshalb fuhren die Professoren Merkel und Voigt zur BGR Hannover (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) und warben für ein Bohrprogramm im Salar (die bisher verfügbaren Daten wurden vor ca. 30 Jahren von einem französisch-bolivianischen Team mit Bohrungen bis 4 m erstellt), um parallel zu den Plänen der stofflichen Nutzung die notwendigen hydrogeologischen und geochemischen



Abb. 8a und b: Bohrarbeiten im Salar de Uyuni

Untersuchungen zu betreiben. Mit finanzieller Unterstützung der BGR wurden so von einem Team beider Universitäten (seitens der TU Bergakademie Robert Sieland, Nadja Schmidt, Michael Zauner, seitens der UATF Ing. Pedro Lopez, Ing. Juan Carlos Erquicia, Dr. Jaime Claros und Studenten der Geologie und des Bergbaus) in der Zeit von Juli bis Oktober 2009 vier bzw. fünf Bohrungen an zwei Standorten bis 12,5 m Tiefe nieder gebracht (Abb. 8) und dabei ca. 35 m Bohrkern gewonnen. Die Bohrkern wurden und werden an der BGR und an unserer Universität einer genaueren Untersuchung unterzogen. Die Bohrarbeiten werden im Oktober dieses Jahres fortgesetzt.

### Ein chemisches Technikum an einer bolivianischen Universität

Von Februar bis April 2009 absolvierte Julia Schmitt (8. Semester Angewandte Naturwissenschaft) ihren Praxisaufenthalt im Bereich Chemie der Universität Potosi. Zusammen mit Dozenten der Chemie leitete sie eine Gruppe bolivianischer Chemiestudenten an und führte die Analysenmethoden ein, die die Grundlage für Prozessanalysen bilden (Abb. 9). Anschließend wurden in einer Vielzahl von Laborexperimenten der Prozess der Eindampfung der Salarlösung und unterschiedliche Varianten der Abtrennung des Lithiums studiert. Aus fünf Litern Lösung wurden so im optimalen Falle jeweils 10–20 g Lithiumcarbonat gewonnen. Schnell war klar: Verfahrensparameter für einen großtechnischen Prozess kann man so nicht ableiten; ein chemisches Technikum wird benötigt. Technikum ist ein Begriff, der in Bolivien noch weitgehend unbekannt ist, und so bedurfte es zunächst vieler Erläuterungen dazu, was das eigentlich sei und was man damit will. Dann, von dessen Not-



Abb. 9: Lithiumteam der Chemiker im Laboratorium der UATF Potosi 2009. Patricia Romero, Edgar Copa, Rosmery Fajardo, Ivan Munoz, Abad Alvis, Autor, Julia Schmitt, Miguel Cruz, Ing. Heriberto Rizzo, Lic. Luis Ferrufino, Dr.-Ing. Jaime Claros (v.l.)

wendigkeit überzeugt, fällte das Rektorat der UATF Potosi zügig Entscheidungen, und über alle bürokratischen Hürden hinweg wurde ein arbeitsfähiges Technikum aufgebaut (Abb. 10). Dabei mussten teils ungewöhnliche Wege gegangen werden: Die Apparate wurden selbst konstruiert, in einer Freiluftwerkstatt gebaut und die meisten Teile speziell heranorganisiert. Auch die häufige und teils mehrere Wochen durchgängige Anwesenheit des Autors vor Ort in Potosi war eine wesentliche Bedingung für das schnelle Vorankommen. Möglich wurde dies mit großzügiger Unterstützung durch unsere Universität, die Kollegen der Fakultät für Chemie und Physik und schließlich auch der Arbeitsgruppe des Autors, die in dieser Zeit oft nur per E-Mail oder Skype Kontakt halten konnten. Gegenwärtig wird das zum Patent angemeldete Verfahren zur Lithiumsalzabtrennung im Technikum optimiert und es werden Verfahrensunterlagen erarbeitet.



Abb. 10: Blick in das chemische Technikum der UATF Potosi zur Herstellung von Lithiumcarbonat aus Salzlösung des Salars de Uyuni (August 2010)

### Ressourcen-Universität startet Lithium-Initiative Freiberg

Parallel zu den Arbeiten in Bolivien ergab es sich, dass Prof. H.-J. Seifert (Institut für Werkstoffwissenschaft) von der DFG mit der Koordinierung des Schwerpunktprogramms WeNDeLIB (Werkstoffe mit neuem Design für verbesserte Lithium-Ionen-Batterien) beauftragt wur-

de, das 2010 anläuft. Die Entwicklungen machten deutlich, dass „Lithium“ als Zukunftsthema sich quer durch die Profillinien der Universität zieht. So wurde am 5. Mai 2009 mit einem Gründungsakt die „Lithium-Initiative Freiberg“ gegründet. Im Rahmen dieser Initiative werden nun auch die einheimischen Lithiumrohstoffe, z. B. der Zinnwaldit aus dem Erzgebirge, unter die Lupe genommen. Zusammen mit regionalen Partnern der Industrie wird nach effizienten Ver-

fahren einer Verarbeitung gesucht. Die Freiburger Lithium-Aktivitäten blieben nicht ohne Resonanz in der Presse und den Fachorganen. Es schien gerechtfertigt, bereits zum Freiburger Forschungsforum 2010 zu einem internationalen Kolloquium „Lithium für die Li-Ionen-Batterien – Ressourcen und Gewinnung“ einzuladen, an dem namhafte Experten aus Lateinamerika, China und Deutschland teilnahmen. Der Autor ist davon überzeugt, dass das Element Lithium mit

seinen spezifischen Eigenschaften in vielen Bereichen zukünftiger Technologien eine bedeutende Rolle spielen wird, allerdings nur, wenn es in großer Menge, in hoher Qualität und zu akzeptablen Preisen zur Verfügung steht. Dies zu sichern, erfordert Grundlagen- und angewandte Forschung auf vielen Gebieten. Die TU Bergakademie kann hier zusammen mit ihren Partnern wesentliche Beiträge liefern und sich dabei selbst zu einem Kompetenzzentrum entwickeln.

## Die Hydrierung von Pflanzenölen zur Herstellung von hochwertigen Dieselkraftstoffkomponenten

Thomas Kuchling, Beate Nitz, Matthias Endisch, Jan Roscher

### Einführung

Der sich gegenwärtig abzeichnende Klimawandel wird eng mit der Nutzung fossiler Energieträger in Verbindung gebracht. Gleichzeitig verknappen sich die zur Verfügung stehenden Reserven an Erdöl und die Rohölqualitäten werden schlechter (Siedelage, Schwefelgehalt). Vor diesem Hintergrund ist es auch im Verkehrssektor erforderlich, den Energiebedarf zunehmend durch erneuerbare Energien abzudecken. Um dieses Ziel voranzubringen, schreibt in Deutschland der Gesetzgeber Mindestanteile für Biokraftstoffe vor [1]. Seit dem 1. Januar 2010 betragen die Gesamtquote 6,25 % (energiebezogen) und die Einzelmindestquoten für Ottokraftstoffe (OK) und Dieselkraftstoffe (DK) jeweils 5 % (volumenbezogen).

Für die Realisierung stehen gegenwärtig ausschließlich sogenannte Kraftstoffe der ersten Generation zur Verfügung. Das sind Bioethanol bzw. aus Ethanol herstellbare Ether für OK und Fettsäuremethylester (FAME) für DK. Letztgenannter Stoff ist landläufig als Biodiesel bekannt und wird aus Pflanzenölen durch eine Umesterung mit Methanol hergestellt. Er kommt mit seiner chemischen Struktur den idealen Molekülen für Dieselkraftstoff (n-Alkane mit 11 bis 20 Kohlenstoffatomen) sehr nahe (s. Abb. 1) und ist prinzipiell für die motorische Nutzung gut geeignet.

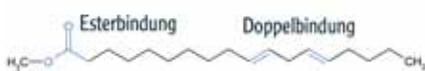


Abb. 1: Chemischer Aufbau eines Fettsäuremethylesters (Biodiesel)

Im Gegensatz zu den n-Alkanen (Paraffinen) enthalten die langen Ketten des

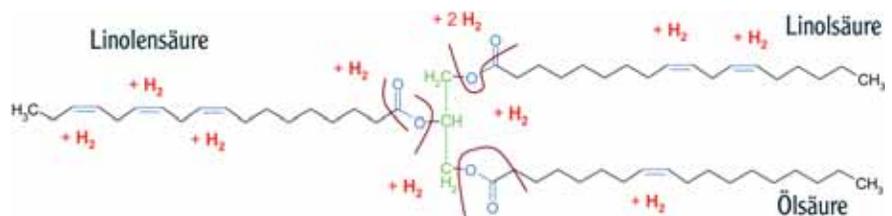


Abb. 2: Struktur natürlicher Öle und Fette sowie mögliche Reaktionswege bei der hydrierenden Spaltung

Biodiesels bis zu drei Doppelbindungen sowie die sauerstoffhaltige Estergruppierung, die für die biologische Abbaubarkeit von Biodiesel verantwortlich ist. Mit diesen chemischen Besonderheiten sind allerdings auch anwendungstechnische Nachteile verbunden:

- geringer Energieinhalt (Biodiesel nur ca. 85 bis 90 % im Vergleich zu konventionellem DK),
- schlechtere chemische Stabilität (→ Lagerfähigkeit, Koksbildung, Ablagerungen),
- Affinität zu Wasser (→ Befall durch Mikroorganismen) sowie
- relative hohe Siedelage (→ Motorenölverdünnung).

Daher begrenzt die Qualitätsnorm für Dieselkraftstoff [2] den maximalen Anteil an FAME auf 7,0 % (volumenbezogen). Mit dieser Festsetzung kommen die ehrgeizigen Ziele zur Nutzung von Biokraftstoffen zunehmend in Konflikt, spätestens mit Wirksamwerden der Europäischen Kraftstoffdirektive [3], die energiebezogene Biokraftstoff-Quoten von mindestens 10 % und darüber hinaus eine signifikante Reduzierung der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen fordert.

Höhere Zumischraten können nur mit Kraftstoffen der zweiten Generation realisiert werden. Diese sogenannten BtL-Kraftstoffe (*Biomass to Liquid*) werden über die Prozessstufen Vergasung und

Synthese hergestellt. Obwohl diese Technologien an verschiedenen Stellen sehr intensiv vorangebracht werden (am weitesten ist die Entwicklung gegenwärtig wohl bei der Freiburger Firma CHOREN Industries gediehen), ist in den nächsten Jahren nicht mit einer Markteinführung im erforderlichen Umfang zu rechnen.

Gefragt sind daher Biokraftstoffe, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung grundsätzlich nicht von konventionellen Kraftstoffen unterscheiden (und daher unbegrenzt mit diesen mischbar sind) und die mit prinzipiell bekannten und zur Verfügung stehenden Technologien herstellbar sind. Als ein geeigneter Prozess kann die **spaltende Hydrierung** der Pflanzenöle angesehen werden.

Natürliche Öle und Fette sind chemisch sehr einheitlich aufgebaut und gehören zur Gruppe der Triglyceride. Das sind – rein formal – Veresterungsprodukte von langkettigen Carbonsäuren (Fettsäuren) mit dem 3-wertigen Alkohol Glycerin (Abb. 2).

Der Unterschied zwischen den verschiedenen pflanzlichen Ölen und tierischen Fetten besteht nur in der Art der Fettsäurereste (Anzahl der Doppelbindungen, Kettenlänge) bzw. im Anteil an freien Fettsäuren. Die Fettsäureprofile ausgewählter Öle zeigt Tab. 1. Es ist augenfällig, dass die Kettenlänge (C-Zahl) der Fettsäurereste stets geradzahlig ist.

Tab. 1: Fettsäureprofile von natürlicher Öle und Fette (molare Anteile in %)

Fettsäure	C-Zahl	Doppelbindungen	Rapsöl	Sojaöl	Palmöl	Jatrophaöl
Myristinsäure	14	0	0	0	0,5	0,1
Palmitinsäure	16	0	4,8	12,8	41,9	15,1
Stearinsäure	18	0	1,9	4,3	6,4	6,6
Ölsäure	18	1	57,8	22,5	41,2	39,6
Linolsäure	18	2	20,4	53,8	10,5	38,1
Linolensäure	18	3	12,6	6,5	0	0,3
Erucasäure	22	0	2,4	0	0	0,2
<b>Molmasse</b>			880	869	848	870
<b>Zahl der Doppelbindungen pro Molekül</b>			4,1	4,4	1,8	3,5

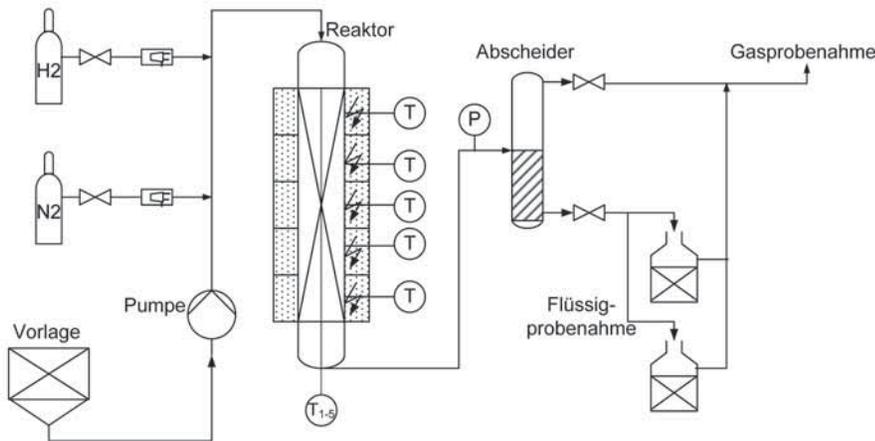


Abb. 3: Schema der Versuchsanlage zur Hydrierung (max. Druck 150 bar, max. Temperatur 450 °C, Durchsatz 100 bis 200 ml/h)



Abb. 4: Frucht der Jatrohapflanze (links) und die zur Ölgewinnung verwendete Jatropha-Nuss. Fotos: R. K. Henning (li), F. Vincentz (re)

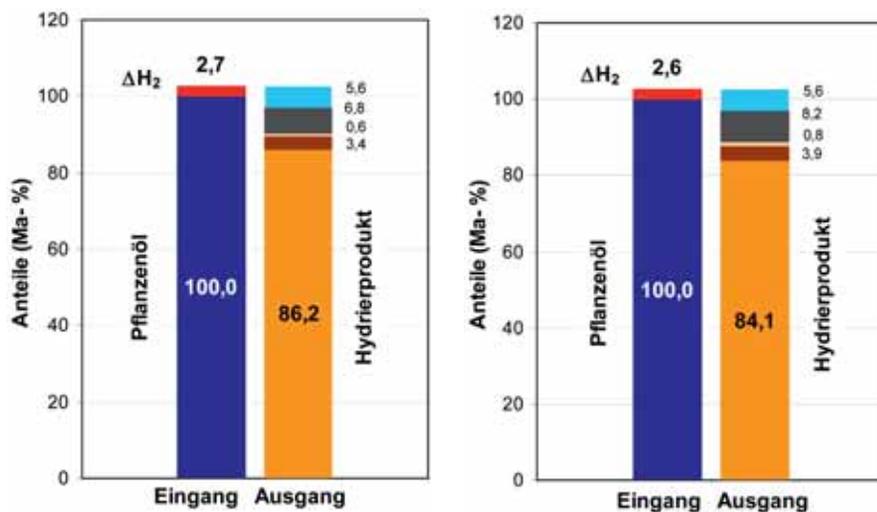


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der Hydrierung von Rapsöl (links) und Jatrophaöl (rechts) (340 °C, 60 bar)  
 ■ Wasser, ■ COx, ■ C1–C3 KWSt (außer Propan/Propen), ■ Propan/Propen

Unter geeigneten Reaktionsbedingungen können die triglyceridischen Strukturen an den in *Abb. 2* gekennzeichneten Stellen aufgespalten sowie die Doppelbindungen mit Wasserstoff abgesättigt werden. Der Sauerstoff der Esterbindung kann durch Decarboxylierung als CO<sub>2</sub> oder nach Hydrierung als H<sub>2</sub>O freigesetzt werden. Als Flüssigprodukte entstehen reine n-Alkane, die sich durch herausragende Cetan-Zahlen (Maß für die Zündwilligkeit von DK) auszeichnen. Als Nebenprodukt wird – bedingt durch den Reaktionsmechanismus – aus dem Glycerinrest Propan gebildet [4–7].

Die katalytische Hydrierung ist ein eingeführter Prozess, der in jeder Erdölraffinerie für die Entschwefelung primärer Destillationsprodukte (z. B. Rohbenzin, Mitteldestillate, Vakuumdestillate) eingesetzt wird. Je nach Einsatzstoff kommen Wasserstoffdrücke von 50 bis 150 bar und Temperaturen zwischen 380 und 450 °C zur Anwendung. Für die hydrierende Spaltung der Pflanzenöle bestehen aus technischer Sicht zwei Optionen:

- Mitverarbeitung bei der Mitteldestillat-Entschwefelung (Coproprocessing) bzw.
- Hydrierung in separater Anlage.

Die Aufklärung der Reaktionsmechanismen, der Einfluss der Reaktionsbedingungen auf die Produktausbeuten und -qualitäten, die Möglichkeiten des Coprocessings sowie die Optimierung der Reaktionsbedingungen waren Gegenstand der an der Professur für Reaktionstechnik durchgeführten Untersuchungen.

### Experimentelle Untersuchungen

Es stand ein kontinuierlich arbeitender Festbettreaktor zur Verfügung, der die Vorgänge in einer technischen Anlage sehr gut abbilden kann (*Abb. 3*). Durch eine umfangreiche Sicherheitsausstattung kann der Reaktor trotz nichttrivialer Reaktionsbedingungen auch nachts und an den Wochenenden ohne Aufsicht betrieben werden. Es wurde ein für Hydrierungen üblicher Nickel/Molybdän-Katalysator eingesetzt, der Druck betrug für alle Versuche 60 bar.

Als Einsatzstoffe für die Untersuchungen fanden neben Rapsöl weitere Pflanzenöle Anwendung, darunter auch Jatrophaöl. Dieses Öl ist deshalb als Rohstoff interessant, weil die anspruchslose Jatrohapflanze (*Abb. 4*) als Nahrungsmittel ungeeignet ist und auf kargen Böden und sogar in Savannen angebaut werden kann. Es besteht somit die Hoffnung, mit diesem Energierohstoff



Abb. 6: Jatrophaöl (links) und Hydrierprodukte (Reaktionstemperatur 300 °C Mitte, 360 °C rechts)

nicht die Abholzung von Regenwäldern zu forcieren bzw. zu einer Verteuerung von Nahrungsmitteln in Entwicklungsländern beizutragen.

Abb. 5 zeigt die Ergebnisse der Hydrierung von Rapsöl und Jatrophaöl im Vergleich. Beide Öle verhalten sich erwartungsgemäß ähnlich (weitestgehend übereinstimmendes Fettsäureprofil) und die Produktverteilung spiegelt den postulierten Reaktionsablauf wider. Die Ausbeute an hydrierten Ölen beträgt etwa 85 Ma-%. Der Sauerstoff wird als CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O freigesetzt. Neben dem zwangsläufig anfallenden Propan werden kaum weitere Kohlenwasserstoffe als Resultat eventueller Spaltprozesse gebildet.

Bereits rein äußerlich ist erkennbar, dass bei milden Reaktionsbedingungen die Reaktionen nicht vollständig ablaufen (Abb. 6). Vielmehr wird das Öl zunächst durch eine partielle Hydrierung gehärtet (bekannt aus der Margarine-Herstellung). Das bei höheren Temperaturen gewonnene Produkt ist klar und besitzt eine geringere Viskosität als das eingesetzte Pflanzenöl.

Für die Charakterisierung der hydrierten Produkte wurden die <sup>13</sup>C-Kernresonanzspektroskopie (NMR) sowie die Infrarotspektroskopie eingesetzt. Beide Methoden belegen, dass bei ausreichend hohen Temperaturen und Drücken die

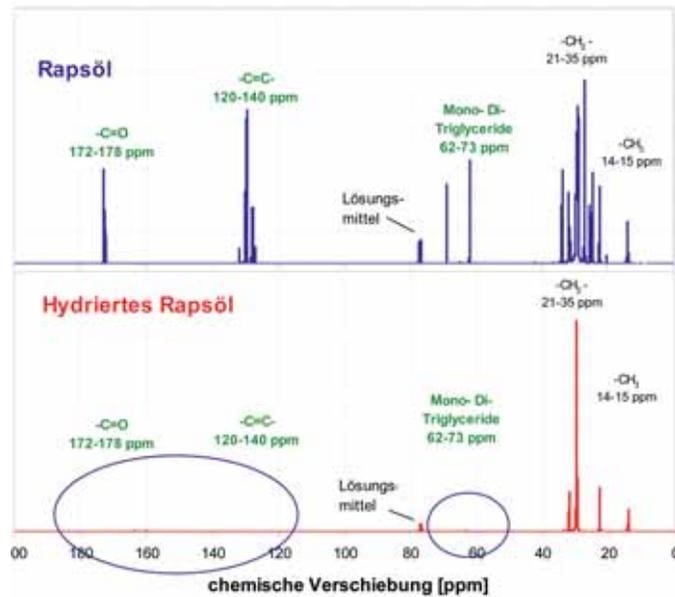


Abb. 7: <sup>13</sup>C-NMR-Spektren von Rapsöl und hydriertem Rapsöl

Umsetzungen vollständig verlaufen: die Produkte sind sauerstofffrei und vollständig mit Wasserstoff gesättigt (Abb. 7).

Mit Hilfe der Gaschromatographie kann die Kettenlängenverteilung (C-Zahl-Verteilung) in den Hydrierprodukten in Abhängigkeit von der Reaktionstemperatur bestimmt werden (Abb. 8). Während im Edukt nur Ketten mit gerader Anzahl an Kohlenstoffatomen vorkommen (vgl. auch Tab. 1), sind in den Produkten auch ungeradzahlige Kettenlängen zu verzeichnen. Dieses Ergebnis gibt wichtige Hinweise auf den Reaktionsablauf. Ungerade Kohlenstoffzahlen weisen auf eine Abspaltung des Estersauerstoffs in Form von CO<sub>2</sub> hin, geradzahlige Kettenlängen auf eine Hydrierung und Sauerstofffreisetzung in Form von Wasser. Mit Zunahme der Reaktionstemperatur steigt das Verhältnis von Decarboxylierung zu Hydrierung an. Somit können der Verbrauch an Wasserstoff sowie die Ausnutzung des Kohlenstoffs (Produktausbeute) in gewissen Grenzen über die Reaktionstempera-

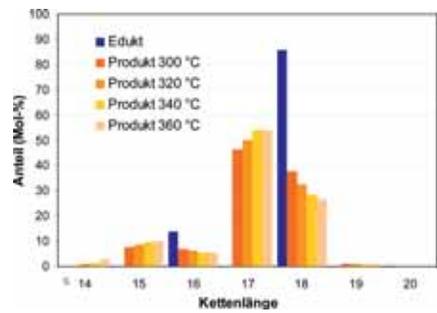


Abb. 8: Kettenlängenverteilung in Produkten der Pflanzenölydrierung (Jatrophaöl)

tur gesteuert und optimiert werden.

Um weitere Erkenntnisse zum Reaktionsmechanismus zu gewinnen, wurden – ebenfalls mit Hilfe der <sup>13</sup>C-NMR-Spektroskopie – die Zwischenprodukte der Reaktion bestimmt. Insbesondere bei milden Reaktionsbedingungen (niedrige Temperatur, hoher Durchsatz) sind in den Flüssigprodukten auch Partialglyceride (Di- und Monoglyceride) sowie freie Fettsäuren detektierbar (Abb. 9).

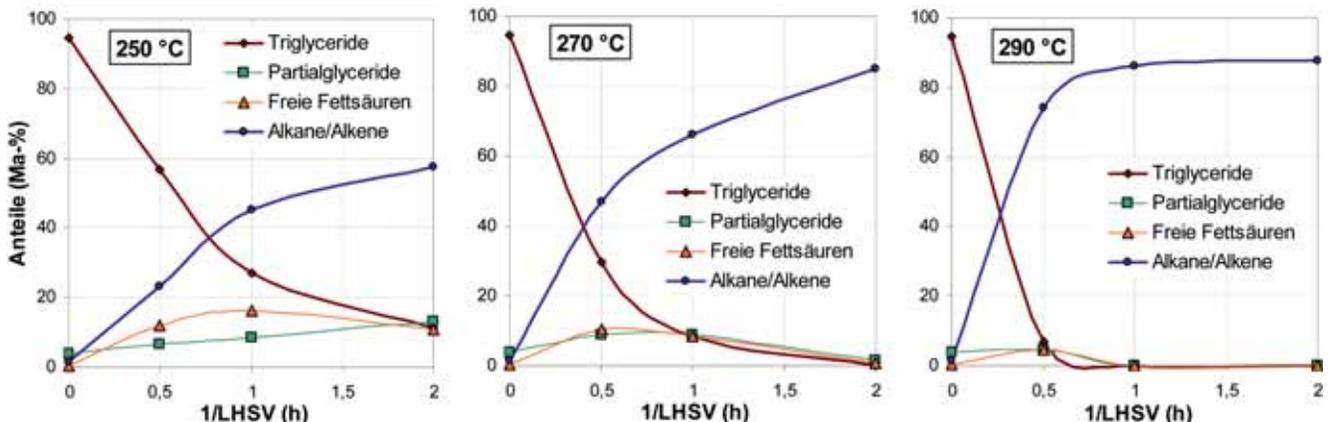


Abb. 9: Flüssigproduktzusammensetzung in Abhängigkeit von der Reaktionszeit und -temperatur (LHSV: liquid hourly space velocity, charakterisiert den Durchsatz)

Offensichtlich wird bei höheren Temperaturen die direkte Aufspaltung der Estergruppen unter CO<sub>2</sub>-Bildung favorisiert. Bei niedrigerer Temperatur dagegen ist die schrittweise Hydrierung zu Partialglyceriden unter Bildung von freien Fettsäuren, die in einer Folgereaktion zu n-Alkanen weiterhydriert werden, bevorzugt. *Abb. 10* zeigt stark vereinfacht den auf der Basis der Ergebnisse postulierten Reaktionsmechanismus.

Eine weitere wichtige Fragestellung bezieht sich auf den zeitlichen Ablauf der Esterspaltung einerseits und die Aufhydrierung der Doppelbindungen andererseits. Als Maß für den Umsatz der Triglyceride kann die Bildung von Propan und Propen (in Spuren) aus den zurückbleibenden Glycerinresten betrachtet werden. Die Iod-Zahl gibt Auskunft über die Zahl der noch vorhandenen Doppelbindungen. Beide Größen sind in Abhängigkeit von den Reaktionsbedingungen in *Abb. 11* dargestellt.

Mit Zunahme der Reaktionstemperatur intensiviert sich die Propan-Bildung (und damit der Total-Umsatz der Triglyceride) und bleibt nach Erreichen des theoretischen Wertes von 5% bei vollständigem Umsatz nahezu konstant. Bei größerer Verweilzeit (geringerer LHSV) wird der Endwert bei geringeren Temperaturen erreicht. Ähnliches ist für die Absättigung der Doppelbindungen zu verzeichnen. Beide Vorgänge laufen scheinbar parallel ab. Betrachtet man aber die Ergebnisse etwas genauer, so ist erkennbar, dass für eine LHSV von 1,0 1/h bei 230 °C nahezu die Hälfte der Doppelbindungen bereits hydriert wurde. Die Esterspaltung und Umsetzung der Triglyceride weist bei diesen Bedingungen dagegen nur einen Wert von ca. 15% auf. Die Absättigung der Doppelbindungen der Kohlenwasserstoffe ist offensichtlich kinetisch begünstigt. Hier findet sich auch die Erklärung für das Auftreten von festen Reaktionsprodukten bei milden Reaktionsbedingungen. Ergänzend ist in *Abb. 11 links* auch die Bildung an leichten Kohlenwasserstoffen (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>, ohne C<sub>3</sub>) dargestellt, die auf mit steigender Temperatur zunehmende Crackreaktionen zurückzuführen ist.

Wie erwähnt, bietet sich für die technische Umsetzung in einer Raffinerie die Mithydrierung in Entschwefelungsanlagen für Mitteldestillate (= Dieselfraktion) an. *Abb. 12* zeigt die Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Hydrierung von so genanntem Straight-Run-Diesel, einem

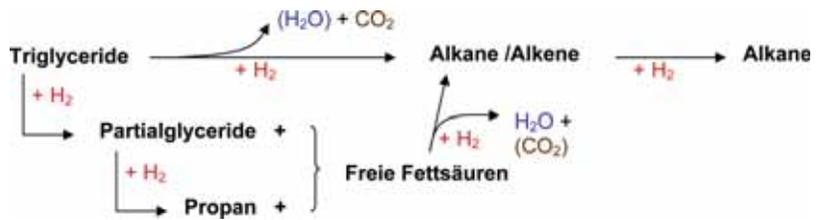


Abb. 10: Vereinfachter Reaktionsmechanismus

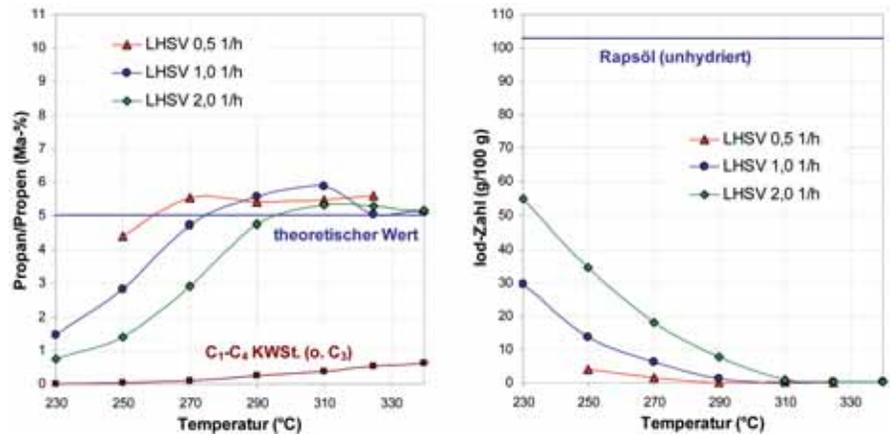


Abb. 11: Esterspaltung (links) und Absättigung der Doppelbindungen (rechts) in Abhängigkeit von der Temperatur

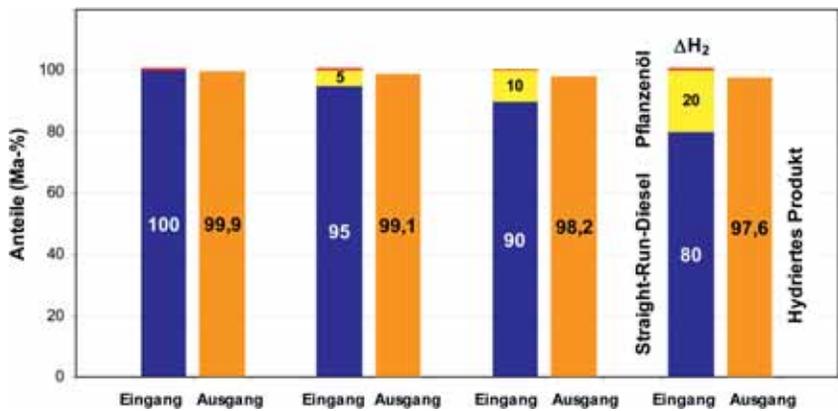


Abb. 12: Produktausbeuten beim Coprocessing von Jatrophaöl und Straight-Run-Diesel

primären Destillationsprodukt, mit unterschiedlichen Anteilen an Pflanzenöl.

Beide Rohstoffe ließen sich problemlos gemeinsam hydrieren. Die Ergebnisse weisen erwartungsgemäß einen geringfügigen Rückgang der Ausbeute an hydriertem Produkt mit Zunahme des Pflanzenölanteils im Einsatz aus, der auf die Sauerstoffentfernung und Propanbildung bei der Hydrierung von Pflanzenöl zurückzuführen ist. Gleichzeitig ist ein erhöhter Wasserstoffverbrauch zu verzeichnen.

Primäres Ziel bei der hydrierenden Behandlung von SR-Diesel ist die Überführung des organisch gebundenen Schwefels in Schwefelwasserstoff. Aus *Abb. 13 (rechts)* ist zu entnehmen, dass die Entschwefelung durch die Beimengung von Pflanzenöl nicht behindert wird. Die etwas geringeren Restschwefel-

gehalte bei Zusatz von 20% Jatrophaöl resultieren aus einer Verdünnung des erdölstämmigen Produktes und sind nicht reaktionsbedingt. Der zulässige Schwefelgehalt in Kraftstoffen beträgt 10 ppm [3] und kann, wie die linke Darstellung in *Abb. 13* zeigt, unter den gegebenen Bedingungen nicht erreicht werden. Um normgerechten Kraftstoff zu produzieren, machen sich höhere Reaktionstemperaturen erforderlich. Natürliche Öle können dagegen bei milderen Bedingungen hydriert werden, so dass die optimalen Bedingungen für Mitteldestillatentschwefelung und Pflanzenölhydrierung u. U. nicht identisch sind. Da bei hohen Temperaturen auch die unerwünschten Crackreaktionen gefördert werden, stellt sich die getrennte Hydrierung möglicherweise als günstiger dar.

Das Siedeverhalten des resultieren-

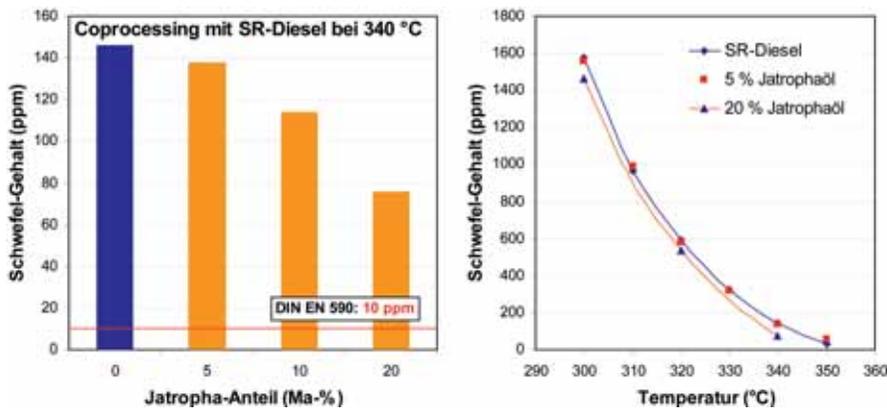


Abb. 13: Schwefelgehalte im Hydrierprodukt beim Coprocessing von Jatrophaöl und Straight-Run-Diesel

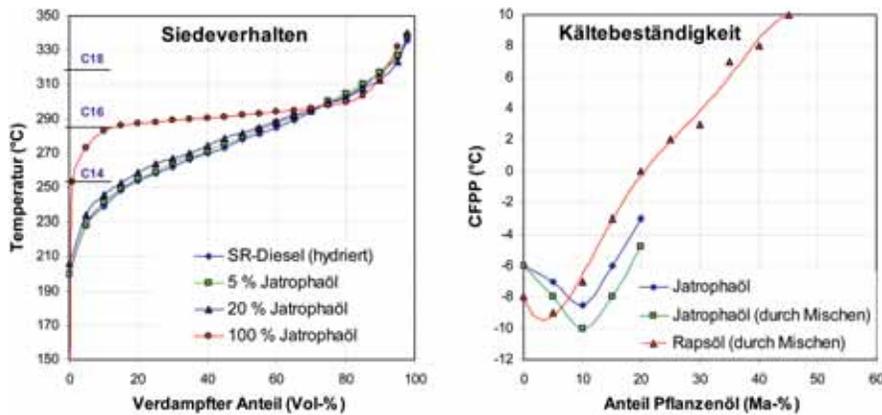


Abb. 14: Eigenschaften von Hydrierprodukten (Coprocessing von Jatrophaöl und Straight-Run-Diesel (340 °C))

den Dieselkraftstoffs wird durch das Coprocessing mit Pflanzenölen nicht beeinflusst (Abb. 14, links). Reine Hydrierprodukte weisen jedoch einen vergleichsweise engen Siedebereich auf, verursacht durch die relativ einheitliche chemische Zusammensetzung (n-Alkane mit C-Zahlen zwischen 14 und 19, s. Abb. 8). Dies ist für die motorische Nutzung allerdings nicht von Belang.

Nachteilig ist jedoch die mit diesen Kohlenwasserstoffen verbundene schlechte Kältebeständigkeit. Darunter versteht man die Neigung von langkettigen Paraffinen, bei tiefen Temperaturen auszukristallisieren und zu Betriebsstörungen zu führen. Für die genannten Alkane liegt der Schmelzbereich zwischen etwa +5 und +32 °C. Als Maß für das Verhalten bei tiefen Temperaturen wird die Kaltfiltrierbarkeit (CFPP: cold filtration plugging point) verwendet. Entgegen den Erwartungen verschlechtert sich offensichtlich die Kaltfiltrierbarkeit bis zu Bioöl-Anteilen von 10... 15% nicht (Abb. 14, rechts). Dabei ist es unerheblich, ob man Pflanzenöl und Mitteldestillat gemeinsam behandelt oder die separat hydrierten Produkte im Nachgang zusammenmischt. Bei Zumischraten unter 10% deuten die Ergebnisse sogar auf

eine Verbesserung der Kältebeständigkeit hin. Dies konnte jedoch bisher weder verifiziert noch plausibel erklärt werden. Die Kälteeigenschaften lassen sich gegebenenfalls durch den Zusatz von speziellen Additiven verbessern.

Tab. 2: Eigenschaften von hydrierten Pflanzenölen im Vergleich mit den Anforderungen an DK [3]

Parameter	Dieselmotorkraftstoff	Hydriertes Pflanzenöl
Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	0,9820–0,845	0,760–0,790
Cetan-Zahl	> 51	ca. 100
CFPP (°C)	0 ... -20	> 10
Schwefel (ppm)	< 10	0
Aromaten (Ma.-%)	10–30	0

Tab. 2 zeigt wichtige Eigenschaften von hydrierten Pflanzenölen im Vergleich zu den Anforderungen an Dieselmotorkraftstoff [3]. Die hydrierten Öle zeichnen sich durch eine herausragende Zündwilligkeit (Cetan-Zahl) sowie das völlige Fehlen von Aromaten und Schwefelverbindungen aus. Nicht spezifikationsgerecht ist die geringere Dichte und eindeutig nachteilig ist die schlechtere und nicht ausreichende Kältebeständigkeit, ausgedrückt durch den CFPP-Wert. Dieser Nachteil bedingt, dass hydrierte Pflanzenöle nicht als Reinkraftstoff eingesetzt werden können. Sie stellen jedoch eine hochwertige

Mischkomponente für den Dieselmotorkraftstoff-Pool dar.

## Zusammenfassung

Die Hydrierung von Pflanzenölen ist ein geeigneter Prozess zur Produktion hochwertiger Dieselmotorkraftstoffkomponenten. Die Technologie ist in der Mineralölindustrie eingeführt, wobei sowohl eine Mitverarbeitung in bestehenden Anlagen zur Mitteldestillat-Entschwefelung als auch eine getrennte Hydrierung in separaten Anlagen möglich ist. Somit können kurz- und mittelfristig Produkte auf den Markt gebracht werden, mit denen in Ergänzung zum Biodiesel hohe Anteile an unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit produzierten Kraftstoffen im Dieselmotorkraftstoffbereich realisierbar sind.

Hydrierte Pflanzenöle bestehen aus n-Alkanen mit C-Zahlen zwischen 14 und 18 (in Spuren bis 22). Sie können mit Anteilen bis zu 15% konventionellen Kraftstoffen beigemischt werden, ohne dass sich Siedeverhalten oder Kälteeigenschaften nennenswert verschlechtern. Die Zündwilligkeit wird dagegen verbessert. Die Produkte sind schwefel- und aromatenfrei.

Die durchgeführten Arbeiten haben zur Aufklärung des Reaktionsmechanismus beigetragen. Die Ergebnisse geben für den Betrieb technischer Anlagen wertvolle Hinweise.

## Literatur

- 1 Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG; BT-Drs 16/2709) der Bundesrepublik Deutschland „Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften“ vom 26.10.2006
- 2 DIN EN 590 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge – Dieselmotorkraftstoff (Oktober 2009)
- 3 Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen
- 4 M. Endisch, U. Balfanz, M. Olschar, Th. Kuchling: Hydrierung von Pflanzenölen zu hochwertigen Dieselmotorkraftstoffkomponenten. DGMK Tagungsbericht 2008-2 „Energetische Nutzung von Biomassen“, DGMK-Fachbereichstagung 14.-16. April 2008 in Velen/Westf., S. 261–270
- 5 P. Simacek, D. Kubicka, G. Sebor, M. Propisil: Hydroprocessed rapeseed oil as a source of hydrocarbon-based biodiesel. Fuel 88 (2009), S. 456–460
- 6 D. Kubicka, P. Simacek, N. Zilkova: Transformation of Vegetable Oils into Hydrocarbons over Mesoporous-Alumina-Supported CoMo Catalysts. Topics of Catalysis 52 (2009), S. 161–168
- 7 B. Donniss, R. G. Egeberg, P. Blom, K. G. Knudsen: Hydroprocessing of Bio-Oils and Oxygenates to Hydrocarbons. Understanding the reaction Routes. Top Catal 52 (2009), S. 229–240

# Firmenbörse Wacker Chemie AG – Polysilicium-Produktion im Chemiewerk Nünchritz

Florian Degenhart

Der Chemiestandort Nünchritz, 45 Kilometer nordwestlich von Dresden gelegen, hat eine bewegte Geschichte hinter sich. Seit seiner Gründung am 10. Juni 1900 erlebte das Werk zwei Weltkriege, die Inflation, Enteignung und Demontage, Wiederaufbau zu DDR-Zeiten und schließlich die deutsche Wiedervereinigung. 1998 erfolgte die Übernahme durch den Münchner Chemiekonzern WACKER. Im Rahmen eines umfangreichen Ausbauprogramms wurden seither über 600 Mio. EUR in den Standort investiert und mehr als 200 neue Arbeitsplätze sowie Ausbildungsstellen geschaffen. Jüngstes Investitionsprojekt ist der Bau einer Produktionsanlage zur Herstellung polykristallinen Silarsiliciums.

Ende des 19. Jahrhunderts hatte sich das Radebeuler Chemieunternehmen Friedrich-von-Heyden AG mit der Herstellung von Salicylsäure einen Namen gemacht. Um die Produktion auszubauen, erwarb sie 1899 nahe dem Dorf Nünchritz ein Stück Land und errichtete eine neue, großzügige Chemiefabrik – das Werk Weißig. Von 1902 bis in die 90er Jahre wurde hier Schwefelsäure für die Salicylsäureherstellung in Radebeul produziert, bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs außerdem Natronlauge, Chlor, Wasserstoff und andere anorganische Massenprodukte. Nach Enteignung, Demontage und Wiederaufbau spezialisierte sich das Werk zu DDR-Zeiten auf

die Herstellung von Siliconen – und hieß fortan VEB Chemiewerk Nünchritz.

Zwischen dem Nünchritzer Werk und der Münchner Chemiekonzern WACKER entwickelten sich in dieser Zeit erste Geschäftsbeziehungen, die seit 1970 immer weiter vertieft wurden. 1998 erhielt WACKER die Chance, die lange gepflegten Beziehungen auf eine neue Ebene zu heben: Am 27. November unterschrieb der Konzern den Kaufvertrag für das sächsische Werk und legte damit den Grundstein für eine erfolgreiche Zukunft.

In den folgenden Jahren investierte WACKER über 600 Millionen Euro in den Ausbau des Werks. Eine der wichtigsten Maßnahmen war – neben umfangreichen Investitionen in Infrastruktur und Umweltschutz – die Erweiterung des Methylchlorosilan-Komplexes. 2006 fertiggestellt, liefert diese Anlage wichtige Grundstoffe für die Silicone-Herstellung am Standort. Mit einer Jahreskapazität von über 100.000 Tonnen Siloxan zählt das Chemiewerk inzwischen zu den wichtigsten Produktionsstandorten im WACKER-Konzern. Als Folge des Ausbaus stiegen auch die Mitarbeiterzahlen kontinuierlich an. Heute arbeiten rund 900 Menschen im Werk Nünchritz. WACKER ist somit der größte industrielle Arbeitgeber im Landkreis und zählt zu den bedeutendsten Unternehmen in der Region.

Seit dem Frühjahr 2009 sind erneut Laster und Baukräne auf dem Werksge-



Hochwertige Solarzellen werden aus polykristallinem Silicium von WACKER hergestellt.

lände unterwegs. Auf „Sachsens größter Baustelle“ errichtet WACKER derzeit seine erste Polysilicium-Produktion außerhalb Bayerns. Im Zuge des Ausbaus werden 800 Mio. Euro in den nächsten Jahren nach Nünchritz fließen. Der Chemiekonzern schafft auf diese Weise rund 450 neue Stellen und damit viele attraktive Arbeitsplätze für Chemiker, Verfahrenstechniker und Facharbeiter.

Die neue Anlage, die Ende 2011 in Betrieb gehen soll, produziert hochreines polykristallines Silicium nach dem so genannten Stababscheide-Verfahren. Bei diesem Prozess wird gasförmiges Trichlorsilan ( $\text{HSiCl}_3$ ) mit Wasserstoff in einen Reaktor mit beheizten Siliciumstäben geleitet. Bei Temperaturen um die 1.000 Grad Celsius kommt es zu einer chemischen Zersetzungsreaktion, in deren Folge sich an den Stäben kontinuierlich Silicium bildet. Sobald die Stäbe einen gewissen Durchmesser erreicht haben, werden diese Polysiliciumblöcke ausgebaut und in handliche Brocken zerkleinert.

Der Rohstoff für die Herstellung ist metallurgisches Silicium. Silicium ist das zweithäufigste Element in der Erdkruste und somit nahezu unbegrenzt verfügbar. Allerdings kommt es in der Natur nicht in Reinform, sondern nur in Verbindung mit anderen Elementen vor, so zum Beispiel in Form von Quarzsand ( $\text{SiO}_2$ ). Um hochreines Polysilicium herstellen zu können, muss man also das  $\text{SiO}_2$  reduzieren und das dabei erzeugte metallurgische Silicium aufreinigen. Das geschieht in mehreren Schritten: Zunächst wird dem Quarzsand durch Reduktion mit Kohlenstoff der Sauerstoff entzogen. Auf diese Weise entsteht das sogenannte Rohsilicium mit einer Reinheit von 98 bis 99 Prozent.

Für die Solarindustrie ist seine Reinheit aber bei weitem nicht ausreichend. Deshalb muss das Silicium nochmals



Das WACKER-Werk Nünchritz aus der Vogelperspektive. Rechts ist die in Bau befindliche Anlage zur Produktion von polykristallinem Silicium zu sehen. Fotos (3): Wacker Chemie AG



Weit fortgeschritten sind die Bauarbeiten für die neue Polysilicium-Produktion am Chemiestandort Nünchritz

gereinigt werden. Das geschieht, indem das gemahlene Rohsilicium in einem Reaktor mit gasförmigem Chlorwasserstoff zur Reaktion gebracht wird. Es entsteht dabei Trichlorsilan. Die Flüssigkeit wird in einem aufwändigen Prozess destilliert und von Verunreinigungen befreit.

Dieser Vorgang ist fester Bestandteil des Produktionsprozesses bei WACKER und ein äußerst wichtiger Schritt bei der Polysilicium-Herstellung. Nur aus hochreinem Trichlorsilan können Stäbe aus reinem, polykristallinem Silicium produziert werden. Das bei der Stababscheidung gewonnene Silicium hat eine Reinheit von 99,999999 Prozent. Es ist so rein, dass auf eine Milliarde Siliciumatome höchstens ein Fremdatom kommt. Derartige Material eignet sich bestens für die Herstellung von hochwertigen Solarzellen.

In den letzten Jahren hat die Nachfrage nach hochreinem Polysilicium stark zugenommen. Grund dafür ist die dynamische Entwicklung der Photovoltaik (PV), die angesichts weltweit steigender Energiepreise und Forderungen nach einem verstärkten Einsatz regenerativer Energien deutlich an Attraktivität gewonnen hat. Seit 2005 verzeichnet der PV-Markt Wachstumsraten von über 40 Prozent – ein Trend, der trotz Wirtschaftskrise und rückläufiger Fördergelder in Deutschland und Spanien auch weiterhin anhält. In vielen Ländern wie den USA, Japan und China steht die Entwicklung der Solarenergie noch ganz am Anfang. Deshalb wird der PV-Markt nach Schätzungen der European Photovoltaic Industry Association EPIA und anderer

Marktbeobachter auch in den nächsten Jahren zweistellig wachsen.

Auf dem PV-Markt konkurrieren unterschiedliche Technologien. Am weitesten verbreitet sind Solarzellen aus polykristallinem Silicium. Etwa 80 Prozent aller PV-Module basieren darauf. Das liegt vor allem daran, dass Module aus polykristallinem Silicium in der Lage sind, Sonnenenergie äußerst effektiv in elektrischen Strom zu verwandeln. Standardmodule erzielen bereits heute Wirkungsgrade um die 16 Prozent. Spitzenmodule aus monokristallinem Silicium erreichen 20 Prozent und mehr.

Enorme Fortschritte wurden in den letzten Jahren auch beim Rohstoffeinsatz und bei der Ausbeute an Kristallen und Wafern erzielt. Dadurch steigt nicht nur die Zell- und Modulqualität. Auch die Kostenposition vieler Hersteller hat sich dadurch verbessert – eine Entwicklung, die sinkende Modulpreise ermöglicht und die Nachfrage nach Solaranlagen zusätzlich stimuliert.

PV-Systeme aus polykristallinem Silicium sind jedoch in den letzten Jahren nicht nur besser und billiger, sondern auch effizienter geworden. Am deutlichsten zeigt sich das anhand der so genannten Energierücklaufzeit. Damit ist jene Zeitspanne gemeint, die ein Solarmodul benötigt, um die für die Herstellung des Moduls benötigte Energie zu produzieren. Danach generiert die Solarzelle jede Kilowattstunde Strom emissionsfrei und damit klimaneutral. Inzwischen benötigen Module aus kristallinem Polysilicium dafür – je nach Sonneneinstrahlung und geografischer

Lage – nur noch ein Jahr. Bezogen auf eine durchschnittliche Betriebsdauer von 25–35 Jahren beansprucht also die energetische Amortisation nur noch drei bis vier Prozent der gesamten Lebensdauer eines Moduls.

Als zweitgrößter Hersteller von Solarsilicium hat WACKER einen wesentlichen Beitrag zu dieser Entwicklung geleistet. Dank kontinuierlicher Prozessinnovationen ist die zur Herstellung von Polysilicium notwendige Energiemenge deutlich gesunken. Verglichen mit kommerziell verfügbaren Abscheiderverfahren benötigt WACKER heute nur halb soviel Energie zur Herstellung einer Tonne Polysilicium. Da die bei der Polysiliciumherzeugung benötigte Energie den größten Einzelposten in der Kostenbilanz darstellt, ist dieser Beitrag signifikant. Als Konsequenz spart der Einsatz von einer Tonne Polysilicium – bezogen auf die Stromerzeugung mittels Steinkohle – rund 6.000 Tonnen CO<sub>2</sub> ein.

Der Beitrag von WACKER zur Senkung des Energieeinsatzes beschränkt sich aber nicht nur auf die Herstellung des Polysiliciums. Er erstreckt sich auch auf die gesamte Wertschöpfungskette. Die oben genannten Ausbeuten beim Kristallziehen und bei der Waferherstellung, aber auch die Effizienz von Solarmodulen werden durch die Qualität des Polysiliciums stark beeinflusst. Qualitativ hochwertiges Polysilicium ist deshalb für eine energie- und kostensparende Fertigung unerlässlich.

Eine kontinuierliche Senkung der Herstellkosten ist für die Photovoltaik lebenswichtig, will sie langfristig eine bedeutende Rolle im Energiemix spielen. Allein in den letzten drei Jahren sind die Systempreise für Solaranlagen um die Hälfte gefallen. Es ist also nur noch eine Frage der Zeit, wann Solarstrom mit elektrischem Strom aus der Steckdose konkurrieren kann. Die sogenannte „Consumer Grid Parity“ rückt für viele Länder immer näher. Neben sonnenverwöhnten Ländern wie Italien und Hawaii ist dies inzwischen auch in Süddeutschland der Fall.

Diese Entwicklung ist eine große Herausforderung für die PV-Industrie, nicht zuletzt auch für Zulieferer und Polysiliciumhersteller. WACKER ist sich dieser Verantwortung bewusst und wird deshalb das Wachstum der Photovoltaik durch Verfahrensinnovationen und durch den Bau neuer Produktionsanlagen wie beispielsweise am Standort Nünchritz kontinuierlich begleiten.

# Die künftige Entwicklung der Erdgasmärkte

Klaus-Dieter Barbknecht

Die globalen Energiemärkte befinden sich derzeit in einer Umbruchphase. Davon sind auch Unternehmen der Gaswirtschaft in Deutschland betroffen. Abgesehen von den Auswirkungen, die die Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 für die Erdgasbranche mit sich brachte, haben sich die Strukturen der Beschaffungs- und Absatzmärkte für Erdgas grundlegend verändert.

## Aktuelle Situation der Gaswirtschaft

Mit der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 haben sich grundlegende Parameter des Erdgasmarktes nicht nur in Deutschland – mit einem Erdgasverbrauch von 81 Milliarden Kubikmetern in 2009 der zweitgrößte Erdgasmarkt der EU nach Großbritannien (93 Milliarden Kubikmeter) – und Europa, sondern weltweit verändert. Die wirtschaftliche Rezession hatte zwei unmittelbare, die für Erdgas relevanten Absatz- und Beschaffungsmärkte beeinflussende Auswirkungen zur Folge: Absatzseitig sah sich die Gaswirtschaft in Europa mit einer plötzlich drastisch sinkenden Nachfrage – vor allem infolge der einbrechenden Industrieproduktion – konfrontiert (Abb. 1). Während das Erdgas auf die Märkte drängte, sank der Bedarf erheblich; allein in Deutschland reduzierte sich der Verbrauch 2008 um 2%, 2009 um sogar 5% (Abb. 2). Das Bruttoinlandsprodukt der EU-27 ging 2009 um mehr als 4% zurück (USA -2,4%; Deutschland -5%; Russland -7,9%), der Erdgasverbrauch sogar um 6,5%. Der steigende Energiebedarf Chinas und Indiens, die von der Rezession weit weniger betroffen waren als die westlichen Industrienationen, konnte den globalen Energienachfragerückgang nicht kompensieren: erstmals sank der weltweite Primärenergieverbrauch. Als eine von mehreren unmittelbaren Folgen dessen wurden Investitionen in die Erdgasinfrastruktur – wie im gesamten Energiesektor – überdacht oder in Frage gestellt. Auf den Beschaffungsmärkten hatte eine Neuausrichtung der US-amerikanischen Energiepolitik erhebliche Konsequenzen: Die USA steigerten ihre Gasproduktion erheblich und überholten sogar Russland als den weltgrößten Produzenten. Vor allem die rasche Erschließung sogenannter „unkonventioneller“ Erdgasvorkommen – Lagerstätten, aus denen aufgrund des erhöhten technischen und finanziellen Aufwands bislang

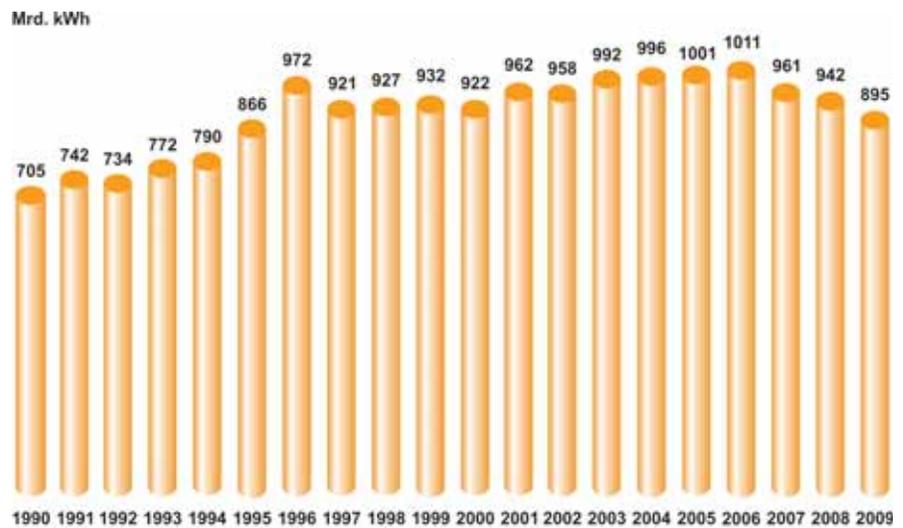


Abb. 1: Erdgasverbrauch in Deutschland 1990–2009. Quelle: BDEW, AG Energiebilanzen

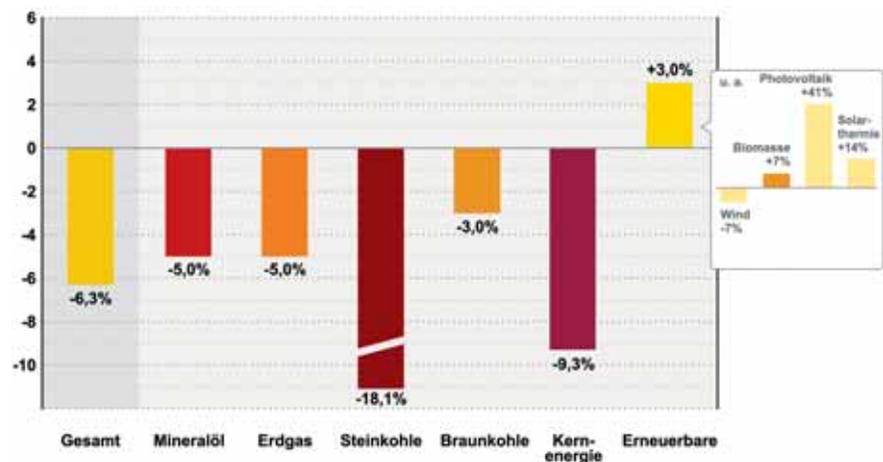


Abb. 2: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2009 im Vergleich zum Vorjahr. Quelle: AG Energiebilanzen e.V.

aus Rentabilitätsgründen nicht gefördert wurde – gab der Erdgasproduktion in den USA Auftrieb (Abb. 3).

Mit der Produktionssteigerung bei „unkonventionellem“ Gas, insbesondere dem in festen Gesteinsschichten eingelagerten „Tight Gas“ sowie Schiefergas (Shale Gas), wurden die USA unabhängiger von den bislang unerlässlichen Importen verflüssigten Erdgases (LNG). Seit dem Jahr 2000 hat sich die Produktion des „unkonventionellen“ Gases in den USA auf gut 300 Milliarden Kubikmeter verdoppelt und steht schon für mehr als die Hälfte der amerikanischen Gasförderung (Abb. 4).

Durch beide Entwicklungen wurden nunmehr große Mengen an LNG für andere Märkte verfügbar. Diese reagierten verunsichert. Die Preisentwicklung an den Spot- und Terminmärkten gestaltete

sich äußerst volatil und war schwer zu kalkulieren. Es entstand ein erheblicher Preisdruck seitens des kurzfristigen Handelsgeschäfts. Zweifel wurden laut an den mit den Produzenten geschlossenen langfristigen Lieferverträgen, da diese oftmals auf höheren Referenzpreisen basieren. Langfristverträge werden daher zunehmend durch Verträge mit mittel- und kurzfristigeren Laufzeiten und Preisen, die sich an dem volatilen Kurzfristmarkt orientieren, ergänzt. Die Kopplung des Erdgaspreises an den Ölpreis wird auch aufgrund dieser Entwicklung diskutiert. Einige europäische Erdgasunternehmen konnten ihre Mindestabnahmeverpflichtungen (Take-or-Pay-Klausel) aufgrund des Nachfrageeinbruchs im Jahr 2009 nicht erfüllen und waren gezwungen, Kompensationszahlungen an die jeweiligen Lieferanten

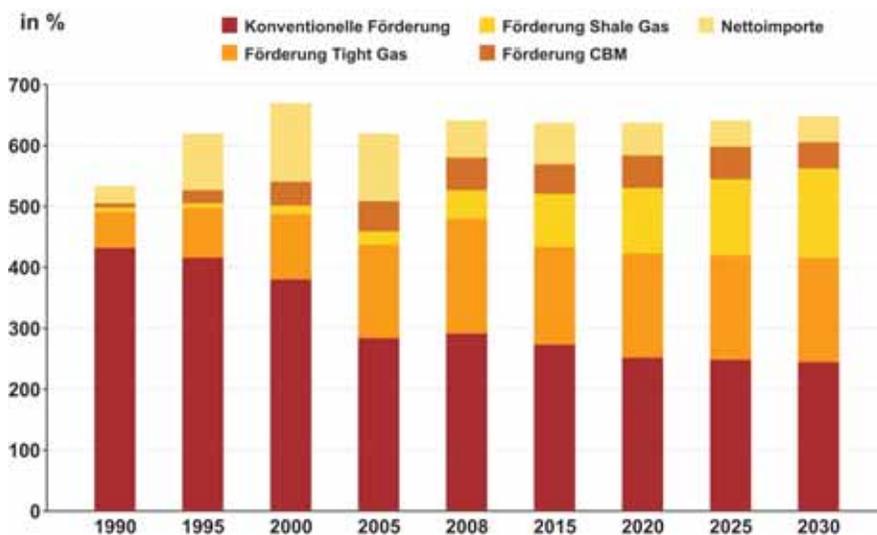


Abb. 3: Erdgasversorgung der USA. Quelle: IEA, World Energy Outlook, November 2009, Referenzszenario

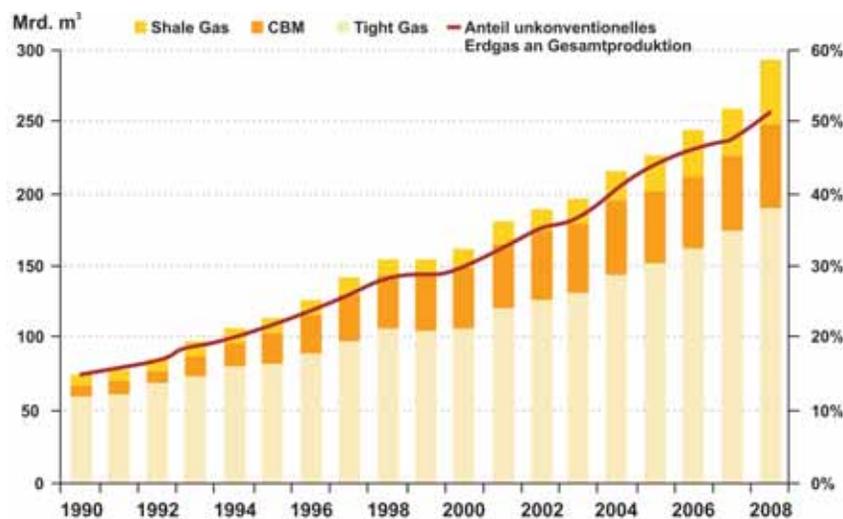


Abb. 4: Produktion „unkonventionellen“ Gases in den USA. Quelle: IEA, World Energy Outlook, November 2009, Referenzszenario

für vertraglich vereinbartes, jedoch nicht abgenommenes Gas zu entrichten.

Der Gasmarkt wird zunehmend durch das Kräfteverhältnis zwischen Unternehmen der Wertschöpfungskette im Erdgasbereich bestimmt. Dazu gehören Produzenten, Importeure, Weiterverteiler und Konsumenten. Integrierte Konzerne mit eigenen Upstream-Aktivitäten stehen im Wettbewerb zu etablierten Anbietern aus den Produzentenländern. Auch drängen Produzenten verstärkt in die regionalen Absatzmärkte und treten in einen Wettbewerb mit den lokalen und regionalen Anbietern ein. Im deutschen Gasmarkt etablieren sich große Konzerne, darunter auch ausländische Unternehmen mit teilweise staatlichen Gesellschaftern, die in den Wettbewerb mit bislang vor allem nationalen Akteuren eintreten.

Ein dritter die Gaswirtschaft betref-

fender Markt ist ebenfalls von großen Veränderungen geprägt. Mit dem weiteren Voranschreiten des europäischen Binnenmarkts und dem zunehmenden Ausbau der Transportinfrastruktur steigt die Nachfrage nach Flexibilität im europäischen Beschaffungs- und Speichermarkt. Dem Markt stehen verschiedenste Handelsinstrumente zur Verfügung, die es allen Marktteilnehmern ermöglichen, das eigene Portfolio zu optimieren. Ähnlich dem Strombereich erhöhen sich mit der zunehmenden Marktreife und Liquidität an den Gashandelsplätzen die Zahl und die Komplexität der angebotenen Produkte. Die Öffnung der Energiemärkte – u. a. durch eine höhere Interkonnektivität der Netze und die Etablierung von virtuellen Handelsplätzen – fördert die Etablierung von Handelsplattformen, die den Markt mit der nachgefragten Flexibi-

lität ausstatten. Kurzum: Der Wettbewerb im europäischen Gasmarkt nimmt immer mehr an Fahrt auf. Flexibilität und ein optimiertes Portfolio sind ausschlaggebend für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, sie sich hier behaupten wollen. Der Erdgasmarkt ist wesentlich globaler geworden als er es noch vor drei Jahren war.

### Was ist in der Zukunft zu erwarten?

Die Sicherung der Energieversorgung – und dabei auch die der Gasversorgung – ist für die hoch entwickelten Industriestandorte Europas elementar. Der Großteil des Erdgasbedarfs Deutschlands und der EU muss über Importe gedeckt werden. Daher muss es das Ziel der europäischen Versorgungsunternehmen sein, bereits heute innovative Konzepte zu entwickeln, um den zu erwartenden wieder steigenden europäischen Erdgasbedarf auch künftig decken zu können und damit die Versorgung Europas weiterhin langfristig zu sichern.

Die Internationale Energieagentur (IEA) sieht laut ihrem jährlich publizierten „World Energy Outlook“ in zahlreichen Industrienationen infolge der sich radikal verändernden Marktbedingungen die Versorgungssicherheit gefährdet. Versorgungssicherheit galt über Jahrzehnte als Grundfeste der Erdgasbranche und wird durch den deutschen Gesetzgeber nach wie vor von den Gasversorgungsunternehmen eingefordert. Auf kontinentaler europäischer – und somit zwangsläufig auch nationaler deutscher – Ebene sind der europäische Regulierungsrahmen, die klimapolitischen Vorgaben und die Schaffung eines einheitlichen europäischen Binnenmarktes in den Fokus gerückt. Angesichts des um die Pfeiler Wettbewerb, Klimaschutz und Versorgungssicherheit aufgebauten Spannungsfeldes kann in jedem Fall von einem Strukturwandel im Energiesektor und der Erdgasbranche gesprochen werden. Bei diesem von der europäischen Politik eingeleiteten Strukturwandel muss die Entwicklung auf der internationalen Ebene im Auge behalten werden. Dazu gehören globale Faktoren wie die zunehmende Preisvolatilität, die globalen ökologischen Zielsetzungen, der Energiehunger der Schwellenländer und großen Industrienationen wie China, die nach Absicherung ihres strategischen Rohstoffbedarfs streben, sowie die rasante Entwicklung technischen Knowhows zum Zweck einer effizienten Gewinnung

und Nutzung von Rohstoffen. Immer mehr entwickelt sich ein Wettbewerb um die Rohstoffressourcen. Denn trotz eines von der IEA prognostizierten jährlichen Wachstums des Anteils der erneuerbaren Energien am Primärenergiebedarf werden die fossilen Energieträger, darunter Erdgas, auch in Zukunft den dominierenden Beitrag zur Energieversorgung weltweit erbringen. Zentren des Erdgasverbrauches wie Europa, China und Indien, die aufgrund geringer oder sinkender eigener Vorkommen auf Erdgasimporte angewiesen sind, konkurrieren um das vor allem in Russland, Zentralasien und dem Nahen Osten lagernde Erdgas.

Erdgas hat alle Vorteile, um sich im Verbrauchermarkt weiter erfolgreich zu positionieren. Es bietet sich als besonders effizienter Energieträger für den Übergang zu einer noch schadstoffärmeren Energienutzung an. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei der Energiegewinnung aus Erdgas erreicht im Vergleich zur Energiegewinnung aus Kohle bei gleicher Energieleistung nur einen Bruchteil der Schadstoffemissionen und liegt auch deutlich unter denen der Energieerzeugung aus Erdöl (Abb. 5). Erdgas ist in seiner Nutzung und Weiterverarbeitung der mit Abstand sauberste der traditionellen, fossilen Rohstoffe, was seinem Einsatz als Energieträger auch in der politischen Debatte zugute kommt.

**Versorgungssicherheit – Welche Signale sendet Brüssel?**

Die europäische Energiepolitik wird die zukünftige Entwicklung der Erdgasbranche in Deutschland weiterhin maßgeblich beeinflussen. Energierrelevante Themen sind über die vergangenen Jahre verstärkt in das Blickfeld der Brüsseler Politik gerückt. Das 2009 verabschiedete dritte Energiebinnenmarktpaket formuliert ambitionierte Zielsetzungen zur Förderung regenerativer Energien und für einen effizienteren Einsatz von Energie vor allem im Hinblick auf die von Europa formulierten Klimaschutzziele. Diese blieben trotz der allgemein als enttäuschend bewerteten Ergebnisse der Klimakonferenz von Kopenhagen 2009 und der europaweiten ökonomischen Turbulenzen Priorität der EU-Energiepolitik.

Parallel ist die Europäische Kommission um die Versorgungssicherheit bei Erdgas besorgt und analysiert verschiedene Optionen, um auf eventuelle Versorgungskrisen vorbereitet zu sein und diese rasch zu bewältigen. Der russisch-

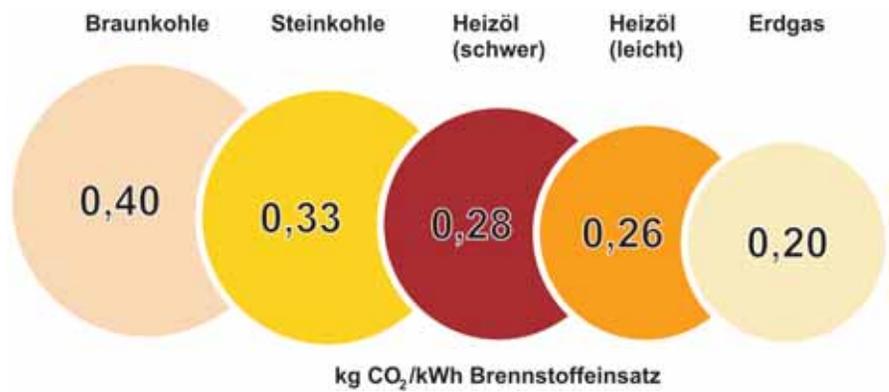


Abb. 5: CO<sub>2</sub>-Bildung bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Quelle: VNG – Verbundnetz Gas AG

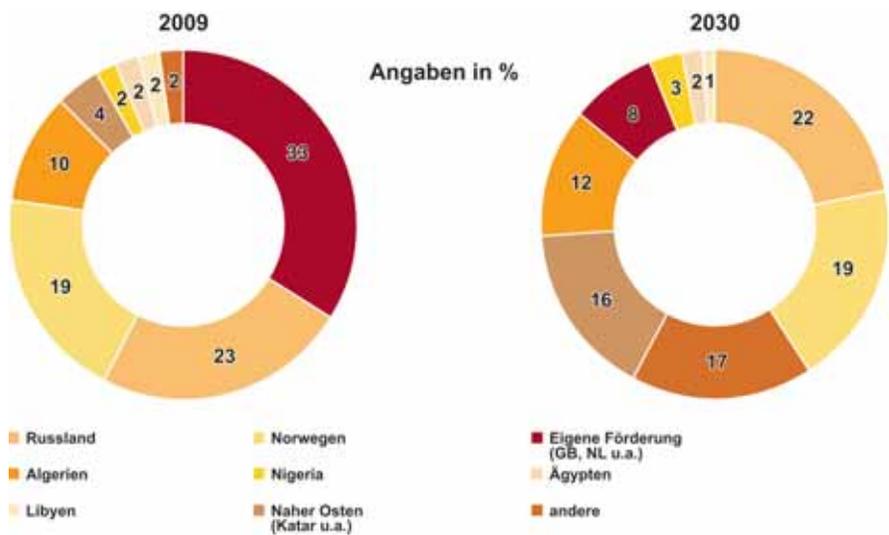


Abb. 6: Erdgaslieferungen EU-27. Quelle: BP Statistical Review

ukrainische Dissens über Erdgaslieferungen und -preise im Januar 2009 hatte eine europaweite intensive Diskussion über die Versorgungssicherheit bei Erdgas entfacht. Auch der Konflikt zwischen Belarus und Russland Mitte 2010 – obwohl schnell und ohne große Auswirkungen gelöst – belebte die Frage nach der sicheren Versorgung mit Erdgas erneut. Die Verlässlichkeit von Russland als Erdgaslieferant und der Ukraine und Belarus als Transitländer wurde in Frage gestellt. Ungeachtet aller Debatten wird Russland langfristig ein zuverlässiger Erdgaslieferant Europas bleiben. Der Anteil russischen Erdgases an der Versorgung Europas wird – bei einem steigenden Erdgasverbrauch – bis 2030 konstant bei rund 22% liegen. Ebenso wird Norwegen den europäischen Erdgasbedarf in den nächsten 20 Jahren konstant zu knapp einem Fünftel befriedigen (Abb. 6).

Mehr als eine politische Diskussion um die Abhängigkeit der EU von ihrem bedeutendsten Erdgaslieferanten, Russland, das 2009 rund 23% des von der

EU benötigten Erdgases lieferte, haben die eingeschränkten und unterbrochenen Gaslieferungen im Januar 2009 Europa deutlich gemacht, welche Bedeutung eine gut ausgebaute, vielfältige und flexible Infrastruktur sowie flexible Handlungsoptionen für eine zuverlässige, kontinuierliche Energieversorgung Europas besitzen. In diese Richtung geht eine Vielzahl geplanter und teilweise bereits im Bau befindlicher Infrastrukturmaßnahmen. Größere Ferngasleitungen und Interkonnektoren zwischen einzelnen EU-Mitgliedsstaaten werden errichtet. Zudem wird mit Pipelineprojekten wie Nord Stream und South Stream eine direkte Verbindung zwischen den Erdgasfeldern in Russland und den wichtigsten Absatzmärkten Europas geschaffen. Das Pipelineprojekt Nabucco avisiert Erdgasquellen im kaspischen und zentralasiatischen Raum.

Neben einer den o.g. Grundsätzen entsprechend ausgelegten Infrastruktur ist eine diversifizierte Beschaffungspolitik der Unternehmen sehr wichtig. Flexi-

bilität bei der Erdgasbeschaffung – also die Möglichkeit, Erdgaslieferungen und Erdgasströme sowohl in ihrer Menge als auch Richtung variieren zu können – und gute partnerschaftliche Geschäftsbeziehungen in der Lieferkette erwiesen sich als wesentliche Voraussetzungen für die sichere Erdgasversorgung Europas während der sogenannten Gaskrise im Januar 2009. Neben einem flexiblen Agieren auf dem Erdgasbeschaffungsmarkt trugen die Erdgasspeicher der in Deutschland privat organisierten Gaswirtschaft dazu bei, Lieferausfälle zu vermeiden oder zu kompensieren. Dank der mit Abstand größten kommerziellen Speicherkapazität – rund 21 Milliarden Kubikmeter, mehr als ein Viertel des deutschen Erdgasjahresverbrauchs – in der EU und eines hohen Füllstands der Speicher konnten die Erdgasversorgungsunternehmen in Deutschland alle Lieferverpflichtungen einhalten und darüber hinaus die Erdgasversorgung benachbarter mittel- und südosteuropäischer Staaten, die über eine weniger umfangreiche Gasspeicher- und Gastransportinfrastruktur verfügen, mit Hilfslieferungen auf kommerzieller Basis sichern. Die Versorgungssicherheit mit Erdgas in Deutschland war auch aus diesem Grund nie ernsthaft gefährdet.

An dieser Stelle sei betont: Aus unternehmerischer Perspektive ist die Versorgungssicherheit natürlich kein Selbstzweck, sondern dient als Argument im Wettbewerb der Energieträger. Es ist der Verbraucher, der von der Attraktivität von Erdgas als Energieträger stets aufs neue überzeugt werden muss. Das Vertrauen in die Attraktivität von Erdgas als Energieträger kann beim Kunden nur erreicht werden, wenn dieser sicher sein kann, dass das Produkt Erdgas, das auch im Wettbewerb zum beim Kunden lagerfähigen Erdöl steht, uneingeschränkt verfügbar ist. Gashändler sind somit angehalten, eine entsprechende Verfügbarkeitsvorsorge des Energieträgers Erdgas zu treffen, um die Attraktivität von Erdgas für den Verbraucher zu wahren. Das Vertrauen der Öffentlichkeit und der industriellen Verbraucher in die Leistungskraft von Erdgas zu erhalten und zu stärken, ist folglich eine Schlüsselaufgabe der Unternehmen der Gaswirtschaft für ihre Zukunftsfähigkeit.

Die seit Beginn der 1990er Jahre seitens VNG konsequent verfolgte Strategie der Diversifizierung der Bezugsquellen und Transportwege hat sich bewährt. Ne-

ben einem flexiblen Agieren auf dem Erdgasbeschaffungsmarkt und der schnellen Reaktion beim Umleiten der Erdgasströme trugen verlässliche Vertriebspartnerschaften und die Erdgasspeicher der VNG mit einer Speicherkapazität von 2,6 Milliarden Kubikmeter im Januar 2009 dazu bei, alle Vertragsverpflichtungen gegenüber Kunden einzuhalten und somit eine sichere Erdgasversorgung zu garantieren.

Infolge der politischen wie meteorologischen Eiszeit zwischen Kiew und Moskau im Januar 2009 ist das Streben der Europäischen Kommission nach mehr Sicherheit in der Erdgasversorgung nachvollziehbar. Versorgungssicherheit soll – das hat Europa inzwischen erkannt – neben einem flexibleren und diversifizierten Erdgasbezug durch den Ausbau der Infrastruktur erreicht werden. Dies ist grundsätzlich zu begrüßen.

Zu hinterfragen bleibt jedoch, ob nicht statt geplanter Rechtsverordnungen vielmehr eine Versorgungssicherheit über marktindizierte wie wettbewerbliche und kommerzielle Mechanismen sowie privatwirtschaftliche Investitionen – wie es in Deutschland seit Jahrzehnten der Fall ist – gewährleistet werden sollte. Weniger optimal auf einen eventuellen Krisenfall vorbereitete Mitgliedsstaaten der EU nun über zwischenstaatliche Solidaritätsmechanismen resistent gegen eventuell erneute, wie auch immer geartete Lieferunterbrechungen zu machen, greift dabei zu kurz. Ein europäisch einheitlicher Krisenreaktionsmechanismus, der sich auf bürokratische Regulierung eher denn auf effektive, regionale, trotz Wettbewerb ökonomisch sinnvolle Kooperationen stützt, scheint wenig Aussicht auf Erfolg zu haben. Die Folge wäre eine Zurückhaltung von marktwirtschaftlich sinnvollen Investitionen, da man sich vielerorts auf die staatlich „verordnete“ Solidarität verlassen könnte.

Ein stabiler, vorhersehbarer und verlässlicher Politik- und Regulierungsrahmen ist unerlässlich für ein gesundes, die Versorgungssicherheit beförderndes und vor allem nachhaltiges Investitionsklima.

### Marktprognosen

Die meisten Energieexperten erwarten, dass der weltweite Primärenergiebedarf in den nächsten Jahrzehnten steigen wird. Die Internationale Energieagentur (IEA) kommt in ihrem Referenzszenario des aktuellen World Energy Outlooks zu

dem Ergebnis, dass der globale Primärenergieverbrauch im Jahr 2030 um 70% über dem des Jahres 2000 liegen wird. Die Nachfrage nach Erdgas wird sogar um 76% gewachsen sein. Erdgas wird 2030 trotz der beachtlichen Wachstumsraten bei den erneuerbaren Energien etwa ein Fünftel (21,2%) der von der Welt benötigten Primärenergie stellen. Die von der IEA prognostizierte Steigerung des europäischen Erdgasbedarfs um 28% bis 2030 basiert in erster Linie auf einem moderaten Wirtschaftswachstum, dem zunehmenden Einsatz von Erdgas zur Stromerzeugung und einer möglicherweise wachsenden Durchdringung des ost- und südosteuropäischen Wohnungsmarktes mit Erdgas.

Insbesondere für Wachstumsmärkte wie China und Indien, die trotz globaler Krise 2009 ein Wirtschaftswachstum von 8,7% bzw. 6,5% erzielten (das BIP in der Eurozone sank im gleichen Zeitraum um 6,8%), wird ein deutlicher Erdgas-Mehrbedarf vorhergesagt. China wird seinen Energiebedarf bis 2030 nach IEA-Schätzungen – selbst bei größeren Anstrengungen zur Energieeinsparung um 50% im Vergleich zu 2007 – verdoppeln.

Erdgas hat die besten Voraussetzungen, sich als perfekte „Partnerenergie“ auf dem Weg in eine CO<sub>2</sub>-ärmere Welt zu positionieren. Der geringe Schadstoffausstoß bei der Energiegewinnung aus Erdgas, die hohe Energieeffizienz beim Einsatz von Erdgas, die multiple Einsetzbarkeit zur Stromerzeugung, als Wärme generierender fossiler Energieträger oder als Rohstoff in der Industrieproduktion sowie die noch über Jahrzehnte in ausreichenden Mengen gewährleistete Verfügbarkeit machen Erdgas als Energieträger besonders attraktiv. Hinzu kommt, dass Erdgas der perfekte Energieträger ist, um die erneuerbaren Energien auf ihrem Weg zu einem größer werdenden Bestandteil des Energiemixes zu begleiten. Erdgasvorkommen sind in jedem Fall ausreichend vorhanden. Noch immer wird jedes Jahr mehr Erdgas neu entdeckt als zusätzlich gefördert. Zudem sind die Fördermethoden optimiert und die Umweltrisiken bei der Produktion von Erdgas gering.

In der EU wird Erdgas ohne Zweifel eine weiterhin große Rolle bei der zukünftigen Energieversorgung spielen. In den meisten EU-Mitgliedsstaaten zeichnet sich nach zwei Jahren der Krise ein moderates, teils auch signifikantes Wirtschaftswachstum ab. Auch in Deutsch-

land steigt der Erdgasbedarf wieder signifikant an (Abb. 7). Die Nachfrage nach Erdgas in der Industrieproduktion hat inzwischen das Vorkrisenniveau erreicht. Im zweiten Quartal wuchs das BIP in Deutschland um 4,1%. Dies und lang anhaltende kühle Temperaturen im Winter haben den Erdgasverbrauch im ersten Halbjahr angekurbelt.

Trotz der äußerst ambitionierten, im September 2010 in ihrem Energiekonzept festgeschriebenen Ziele der deutschen Bundesregierung, den Anteil erneuerbarer Energien bis 2020 auf 18% – bis 2050 sogar auf 60% – am sich parallel zu verringernden Bruttoendenergieverbrauch zu erhöhen und trotz der dem Erdgas und anderen fossilen Energieträgern von der Bundesregierung beigegebenen geringen Bedeutung, wird Erdgas eine feste, verlässliche Konstante im Energiemix bleiben. Auch im Hinblick auf das EU-Klimaziel des „20-20-20-Pakets“, wonach die EU – basierend auf den Ausgangswerten von 1990 – die Schadstoffemissionen bis 2020 um 20% gesenkt haben will und die regenerativen Energien 20% des Energiemixes ausmachen sollen, erweist sich der Einsatz von Erdgas als ausgesprochen zielführend.

Das größte Wachstumspotenzial für den Energierohstoff Erdgas liegt im Kraftwerksbereich bei der Stromgewinnung. Mit Erdgas befeuerte Kraftwerke können schnell aktiviert und auch schnell wieder vom Netz genommen werden. Sie lassen sich flexibel zur Abdeckung von Nachfragespitzen einsetzen. Sie stellen deshalb eine ideale Ergänzung zu den erneuerbaren Energien wie Windkraft und Photovoltaik dar, deren Energieproduktion von externen Faktoren – Wind oder Sonnenscheindauer – abhängig ist und die zur Sicherung der kontinuierlichen Versorgung flexible und zuverlässige Energiequellen als Ergänzung benötigen. Erdgas ist für diese Rolle dank seiner flexiblen Einsatzfähigkeit und seiner hervorragenden Umwelteigenschaften prädestiniert. Aber Erdgas hat zukünftig auch ein bedeutendes Anwendungspotenzial in der dezentralen Energieerzeugung in Einfamilienhäusern. Es kann besonders effizient in Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken eingesetzt werden, zum Beispiel in Kombination mit Anlagen zur Nutzung von Sonnenenergie für die Warmwassergewinnung.

**Antworten auf die Herausforderungen**

Eine sichere Erdgasbeschaffung fußt

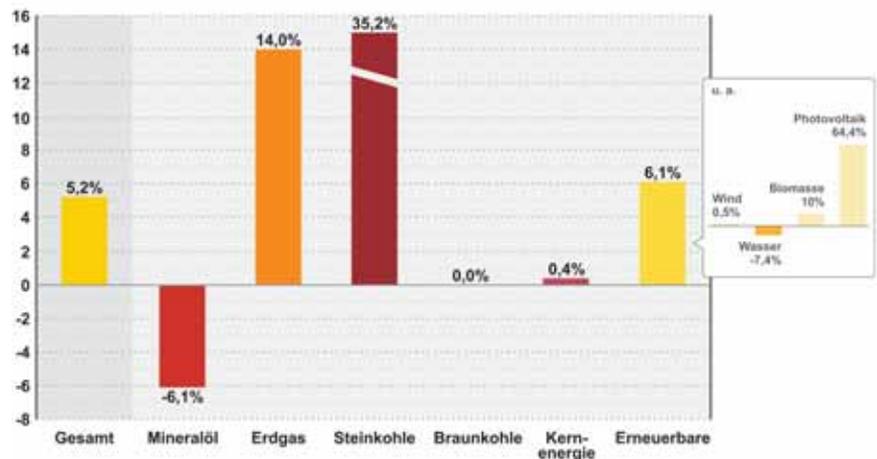


Abb. 7: Primärenergieverbrauch Deutschland im 1. Halbjahr 2010 gegenüber Vorjahreszeitraum (Veränderungen 2010 gegenüber 2009 in %). Quelle: AG Energiebilanzen e.V.

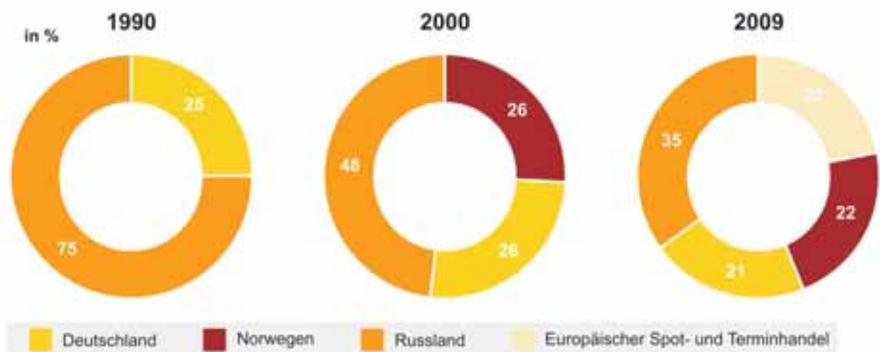


Abb. 8: Diversifizierung der Erdgasbezüge der VNG – Verbundnetz Gas AG. Quelle: VNG – Verbundnetz Gas Aktiengesellschaft

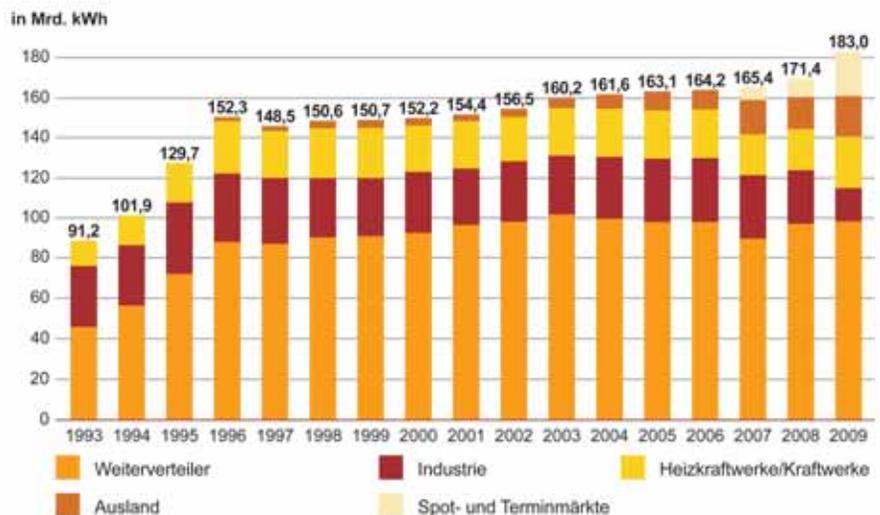


Abb. 9: Absatzentwicklung der VNG – Verbundnetz Gas AG

im Wesentlichen auf einem geografisch diversifizierten Bezugsportfolio mit einer möglichst großen Anzahl von Lieferanten und einer Vielzahl alternativer Transportrouten. VNG als einer der großen deutschen Gasimporteure hat sich diese Alternativen sowohl im Osten als auch im

Westen Europas geschaffen (Abb. 8). Das Rückgrat der Erdgasbeschaffung bei Unternehmen wie VNG mit dem Kernmarkt in Deutschland bilden langfristig gesicherte Importe aus den für Europa wichtigen Herkunftsländern und der Zugang zu deutschen Lieferquellen. Bereits heu-

te kann VNG mit russischem Erdgas bis zum Jahr 2030 und norwegischem Erdgas bis zum Jahr 2026 planen. Als einer der Top-10-Erdgasimporteure Europas und Nummer 3 in Deutschland verfügt VNG über eine ausgezeichnete Position im europäischen Gasmarkt.

Die guten Beziehungen zu den großen Erdgasproduzenten garantieren seit fast vier Jahrzehnten verlässliche Erdgasbezüge. Als erstes deutsches Unternehmen bezog VNG 1973 russisches Erdgas. Als einer der Initiatoren des Deutsch-Russischen Rohstoff-Forums setzt sich VNG engagiert für einen konstruktiven Dialog mit dem größten Erdgasproduzenten, Russland, ein. Nur durch ständigen Dialog kann das für die langfristige Versorgungssicherheit nötige Vertrauen auf beiden Seiten erhalten bleiben.

Seit Jahren baut VNG ihre Handelsaktivitäten aus und ist auf den europäischen Großhandelsmärkten für Erdgas fest etabliert. Abgesehen vom angestammten deutschen Erdgasmarkt ist das Unternehmen in zahlreichen europäischen Staaten wie Polen, Italien, der Slowakei, Tschechien, Österreich, der Schweiz und Frankreich aktiv (Abb. 9).

In Zukunft wird das Beschaffungsportfolio sukzessiv durch LNG-Lieferungen und Erdgas aus eigener Förderung ergänzt. Seit 2009 fördert VNG Erdgas aus eigenen Quellen in Norwegen und erkundet aktiv neue mögliche Erdgasquellen auf dem Norwegischen Kontinentalschelf (NCS). Norwegen verfügt in Europa nach Russland über die größten Erdgasvorkommen. Riesige, noch nicht erkundete Lagerstätten werden vor der norwegischen Küste vermutet und machen die Erdgasförderung in diesem Gebiet vor allem im Hinblick auf eine diversifizierte Erdgasversorgung Westeuropas attraktiv. Eine im norwegischen Stavanger und in Oslo ansässige VNG-Tochtergesellschaft, die VNG Norge AS, ist aktuell an 24 Produktionslizenzen zur weiteren Exploration und Entwicklung bis hin zur Förderung von Gas und Öl auf dem NCS beteiligt.

2010 hat VNG mit einem neu gegründeten Tochterunternehmen in Dänemark auch im dänischen Teil der Nordsee mit der Erkundung potenzieller Erdgasquellen begonnen und hält bereits Anteile an zwei dänischen Produktionslizenzen.

Schließlich spielt im Rahmen der langfristigen Beschaffungsstrategie von VNG die Option des Bezugs von verflüssigtem Erdgas eine wichtige Rolle. VNG baut die

Aktivitäten zur Erschließung neuer Lieferquellen in Nordafrika und im Nahen Osten kontinuierlich aus.

Einen aktiven und engagierten Beitrag zu einer regenerativen Energieerzeugung leistet VNG durch die Erzeugung von Erdgas aus nachwachsenden Rohstoffen. Das sogenannte Bioerdgas hat – nach einer entsprechenden, technisch anspruchsvollen Aufbereitung – dieselbe Qualität wie fossiles Erdgas; es lässt sich problemlos in die bestehenden Gasnetze einspeisen und darüber transportieren. Bis zum Jahr 2030 soll Bioerdgas zehn Prozent des heutigen Erdgasbedarfs in Deutschland decken. Über die sich auf dieses Geschäftsfeld konzentrierende Tochtergesellschaft BALANCE VNG Bioenergie GmbH baut VNG die eigene Bioerdgasproduktion und zudem die Biogaserzeugung mit erzeugernaher Verstromung auf.

VNG ist nicht nur – über die Tochtergesellschaft ONTRAS VNG Gastransport GmbH – einer der größten Erdgastransporteure mit einem Pipeline-Netz von über 7.000 Kilometern, sondern zählt auch zu den deutschen Speicherpionieren und den führenden Speicherbetreibern Europas. Bereits 1964 wurde ein erster Erdgasspeicher in Betrieb genommen. Heute betreibt VNG als drittgrößter Speicherbetreiber Deutschlands vier Anlagen in Thüringen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg mit einer Speicherkapazität von 2,6 Milliarden Kubikmetern, ein Volumen, das ausreicht, um etwa eine Million Einfamilienhäuser ein Jahr lang konstant mit Erdgas versorgen zu können. VNG baut seine Speicheranlagen kontinuierlich aus, um die Versorgungssicherheit ihrer Kunden gewährleisten zu können. Zusammen mit der OOO Gazprom Export plant VNG den Bau eines neuen Speichers mit rund 600 Millionen Kubikmetern Speichervolumen unweit von Bernburg. Zudem kooperiert VNG mit der WINGAS GmbH & Co. KG bei der Entwicklung eines Kavernenspeichers im niedersächsischen Jemgum. Mit der E.ON Gas Storage GmbH wiederum arbeitet VNG beim Bau eines neuen Speichers in Etzel zusammen.

### Fazit und Ausblick

Die Erdgaswirtschaft steht vor großen Herausforderungen. Immer stärker rücken die regionalen Märkte in Europa, Asien und Amerika zu einem Weltmarkt zusammen. Das verändert die Spielregeln auf dem globalisierten Gasmarkt

beachtlich. Flexibilität ist der Schlüsselfaktor, um unter den sich verändernden Voraussetzungen erfolgreich agieren zu können. Der Bedarf an Flexibilität wird zukünftig auf Grund der zunehmenden Diversifizierung der Bezugsquellen – und damit einhergehend einem höheren Anteil von Erdgas aus weit entfernten Fördergebieten Russlands, Aserbaidschans, Turkmenistans oder dem wachsenden Anteil von LNG-Lieferungen – weiter steigen. Die Flexibilität wird zudem auf Grund kleinteiligerer Versorgungsstrukturen und eines höheren Anteils der Stromerzeugung in Erdgaskraftwerken wachsen müssen und durch Investitionen in Erdgasspeicher in den großen europäischen Märkten Großbritannien, Deutschland und Italien sowie Investitionen in eine diversifizierte und flexible Erdgastransportinfrastruktur – mit Pipelineprojekten wie Nord Stream, South Stream, Nabucco oder OPAL (Ostseepipeline-Anbindungsleitung), aber auch mit Möglichkeiten der Umkehr traditioneller Gasflussrichtungen und neuen Interkonnektoren zwischen den Mitgliedsstaaten der EU – gesichert werden.

Der Flexibilitätsmarkt ist ein aktiver Handelsmarkt, bei dem Produkte europaweit oder global gehandelt werden. Durch die immer größere Rolle des LNG wird sich daher der kontinentale europäische Markt zu einem globalen Markt wandeln. Speicher stellen nur einen – wenngleich wichtigen Teil – des Flexibilitätsmarkts dar, bedürfen jedoch auf Grund der Vielschichtigkeit und der Liquidität des europäischen Flexibilitätsmarkts keiner weitergehenden Regulierung. In diesem Zusammenhang kommt den europäischen Regierungen eine Schlüsselrolle bei der Schaffung bestmöglicher Rahmenbedingungen und bei der Sicherstellung einer eindeutigen politischen Richtung zu, unter denen die Risiken für Investitionen in die Gasinfrastruktur in einem marktwirtschaftlichen Umfeld unternehmerisch kalkulierbar und minimierbar sind.

Anhaltende Diskussionen über weitere Regulierungsvorhaben erweisen sich als kontraproduktiv, da sie die nachhaltige Entwicklung des wettbewerblichen Erdgasmarkts in Europa behindern und das Investitionsklima beeinträchtigen. Nur ein stabiler, transparenter und vorhersehbarer Regulierungsrahmen kann das Vertrauen potenzieller Investoren in den Erdgasmarkt fördern und ihn mit der notwendigen Flexibilität ausstatten.

# Der Beitrag von Ingenieurökonomie und Wirtschaftswissenschaften zur Braunkohlenforschung an der Bergakademie 1956–2006 Dieter Slaby

## Vorbemerkungen

Die energetische und stoffliche Nutzung der Braunkohle hat eine lange Tradition. Die Wurzeln liegen in den Braunkohlerevieren Mitteldeutschlands und der Lausitz. Bereits im 17. Jahrhundert wurde Braunkohle in der Region Halle in Salinen, Ziegeleien, Kalköfen und Brauereien energetisch genutzt. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit war lange Zeit auf die Veredlung der Kohle gerichtet (Tab. 1). Die wissenschaftliche Durchdringung der Kohlegewinnung war bis in die 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts weniger tiefgehend; es dominierten hier empirische Erklärungs- und Gestaltungsansätze [2–4].

Die an der Bergakademie institutionell, professionell und professoral geführte ökonomische Braunkohlenforschung umfasst eine Zeit von 50 Jahren. Sie begann im Jahr 1956 mit der Gründung der Fakultät für Ingenieurökonomie und der Berufung von Hollweg zum Professor für Ökonomie, Organisation und Planung des Bergbaus und fand mit dem Auslaufen der mit den Unternehmen der Braunkohlenindustrie vertraglich vereinbarten Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Betriebswirtschaft zum 31.12.2006 ein zumindest vorläufiges Ende. Auf der Grundlage der bis dahin bestehenden Verträge und Leistungen flossen der Bergakademie Drittmittel zu, die über mehr als 30 Jahre Grundlage für eine zusätzliche Forschungskapazität im Umfang von jährlich 2–4 Mannjahren waren.

Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Herausforderungen bestimmten die Themen der ökonomischen Braunkohlenforschung. Merkmale waren ein enger Bezug zur Praxis und Interdisziplinarität der Forschung. Die Repräsentanten der ökonomischen Forschung waren in Gremien aktiv, welche die Entwicklung der Braunkohlenindustrie mitbestimmten. So war Hollweg Mitglied der Sektion Bergbau der Deutschen Akademie der Wissenschaften und des Forschungsrats der DDR und bis zu seinem Tod 1963 Leiter des dem Forschungsrat der DDR zugeordneten Zentralen Arbeitskreises (ZAK) Tagebautechnik. Auch der Autor dieses Beitrags war bis zur Auflösung der Gremien im Jahr 1990 Mitglied des ZAK Tagebautechnik, des

Tab. 1: Zeittafel Braunkohle in den Revieren Mitteldeutschland und Lausitz

Beginn	Hinweis auf Grube Lieskau bei Halle (1382), industrielle Nutzung der Kohle s. Ende 17. Jh.
1846 ff.	Braunkohlenschmelzung, Rolleofen (1862), 1869 im Revier Halle 44 Schmelereien
1856 ff.	Brikettierung von Weichbraunkohlen, Exter-Pressen (1856), erste Brikettfabrik in Ammendorf bei Halle (1858), Tellerrockner (1865), Röhrentrockner (1885)
1885	Gründung des Deutschen Braunkohleindustrievereins (DEBRIV) in Halle
1890 ff.	Mechanisierung, Übergang von Tiefbau zu Tagebau, erster Eimerkettenbagger (1890), Gleisförderung, Lokomotiven und Muldenkippwagen, Elektrifizierung der Antriebstechnik
1897 ff.	Montanwachsextraktion, Verfahren nach von Boyen (1897), erste Fabrik in Wansleben (1905)
1900 ff.	Braunkohleverstromung, erste Kraftwerke > 100 MW in Trattendorf und Zschornowitz (1915)
1916 ff.	Erster Schaufelradbagger (1916), erster Absetzer (1917), erste Abrauförderbrücke (1924)
1921	Gründung des Braunkohlenforschungsinstituts in Freiberg
1925 ff.	Lurgi-Spülgasschmelzung, Verfahren (1925), Großschmelereien Böhlen und Espenhain (1936 ff.)
1945 ff.	Forschungs-, Entwicklungs- und Projektierungskapazitäten: Institute für Brikettierung (1945), Tagebaukunde (1953) und IÖ (1955) an der Bergakademie, Technisches Büro Kohle (1945), Projektierungs- und Konstruktionsbüros für Kohle PKB u. PKM (1949), Institut für Energetik IFE (1953), Brennstofftechnische Gesellschaft BTG (1954), Brennstoffinstitut DBI (1956)
1951 ff.	BHT-Verkokung nach Rammler/Bilkenroth, Verfahren (1951), Produktionsbeginn (1952)
1955 ff.	Braunkohlenveredlungskomplex Schwarze Pumpe, Staubdruckvergasung
1957 ff.	Technik- und Technologiesprünge im Tagebau, Einheitsabrauförderbrücken F 34 (1957) und F 45 (1962), Bandfördersysteme, Filterbrunnenentwässerung, Rekultivierung durch Melioration tertiärer Kippen, Schließung der letzten Tiefbaubetriebe (1967)
1973 ff.	Erste F 60 (1973), Dichtungswandtechnik (1979), Automatisierung und Prozesssteuerung
1990 ff.	Privatisierung der Bergbauunternehmen, Sanierungsbergbau und -gesellschaften, Forschung zu neuen Einsatzgebieten und Veredlungsverfahren
2008 f	Forum Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland (ibi)

ZAK Kohleveredlung und des Wissenschaftlich-Technischen Rats zu Fragen der Entwicklung und der Ökonomie der Kohleindustrie der Ständigen Kommission Kohle des RGW (WTR 1).

Hochschulforschung muss auf ein ausgewogenes Verhältnis von Grundlagenforschung und angewandter Forschung achten. Einen Beitrag hierzu leisten wissenschaftliche Arbeiten in Form von Dissertationen. An den wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten der Bergakademie wurden in den Jahren 1957–2006 ca. 70 Dissertationen abgeschlossen, die direkt in die Braunkohlenforschung eingebunden waren. Die Themen dieser Arbeiten geben damit auch Auskunft über die Forschungsschwerpunkte in dieser Zeit (Tab. 2).

## Zeitraum 1956–1969 Rahmenbedingungen und Herausforderungen

In der Sowjetisch Besetzten Zone (SBZ) war nach Ende des Krieges die materiell-technische Basis der Energiewirtschaft durch Luftangriffe und beginnende Kriegsreparaturen weitgehend zerstört. Allein die Demontage von Anlagen in den Braunkohletagebauen führte zu einem Verlust von 20 % der Kapazität;

der Verlust in Brikettfabriken und Kraftwerken wird mit 30–50 % angegeben [5]. Schlüsselbetriebe standen bis 1953 als SAG-Betriebe der Sowjetischen Brikett-, Braunkohlen-, Schmel-, Benzin- und Elektrizitätswerke AG unter Verwaltung durch die Sowjetische Militäradministration (SMAD) und produzierten vornehmlich für die Erfüllung der Reparationsforderungen. Die maximale Nutzung der Kapazitäten und die Reaktivierung manufakturerer Verfahren (z. B. die Kohlegewinnung von Hand und die Herstellung von Nasspresssteinen) führten zu einem Wiederanstieg der Kohleförderung und der Brikettproduktion bis 1949 auf ca. 75 % des Niveaus vor 1945.

Bereits im Herbst 1945 wurde von der Besatzungsmacht das Technische Büro Kohle gegründet. Das Büro wurde von Kegel und Rammler geleitet. Nachdem am Anfang Aufträge der SMAD bearbeitet wurden, erfolgte 1948 eine Überleitung der Forschung auf die Belange der ostdeutschen Braunkohlenindustrie. Unter diesen Voraussetzungen stand die DDR vor der Aufgabe des Aufbaus einer eigenständigen Energiewirtschaft, auf Grund fehlender Alternativen ausschließlich auf der Basis einheimischer Braunkohlenvorkommen.

Tab. 2: Dissertationen unter Federführung der Ingenieurökonomie bzw. der Wirtschaftswissenschaften zu Themen der Braunkohlenforschung (Auswahl)

Verfasser (Jahr)	Thema in Kurzfassung
Ortmann, P. (1957)	Grenzbereich der wirtschaftlichen Gewinnung im Braunkohlentagebau
Bernstein, H. (1957)	Anwendungsmöglichkeiten des 2-Brücken-Betriebs im Tagebau Skado
Winterhoff, H. (1959)	Bewertung und Abschreibung von Grundmitteln in Braunkohlentagebauen
Heisel, W. (1960)	Kostenermittlung und Preisgestaltung von Braunkohlenschweprodukten
Gustmann, J. (1960)	Gemeinkosten-Betriebsvergleich im Braunkohlenbergbau
Eichfeld, E. (1962)	Verrechnung der Dampfkosten bei Wärme-Kraft-Kopplung
Müller, E. (1964)	Abbauplanung für Mehrflöztagelände mit Hilfe mathematischer Verfahren
Hertig, W. (1964)	Entwicklung der Selbstkosten für die Gewinnung von Rohbraunkohle
Borngräber, E.-E. (1964)	Optimaler Trocknungsdampfdruck in Röhrentrocknern
Neumann, A. (1964)	Wirtschaftlichkeit verschiedener Baggertypen im Braunkohlenbergbau
Hauk, P. (1965)	Grenzbereich von Investitionen zur Freisetzung von Arbeitskräften
Lange, H. (1966)	Kosten in Abhängigkeit von der Dimensionierung von Gerätekombinationen
Tauer, K.-H. (1967)	Planungsordnung der Braunkohlenindustrie im NÖS der Leitung und Planung
Buckermann, J. (1967)	Leistungs- und Aufwandsverflechtung in der Braunkohlenindustrie
Slaby, D. (1968)	Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen und Tagebautechnologien
Zuchan, J. (1969)	Optimale Dispositionsbereiche für mobile Betriebstechnik im Braunkohlenbergbau
Mund, K.-D. (1969)	Kapazitätsplanung zentralisierter Instandhaltung in der Braunkohlenindustrie
Knahl, G. (1970)	Führungsgrößen in Abraumabteilungen des Braunkohlenbergbaus
Nakonz, H.-J. (1971)	Verfahren der Operationsforschung bei der Instandhaltung für 60m AFB-Betriebe
Nitsche, K.-H. (1973)	Modellierung des Planungs- und Steuersystems für 60m AFB-Betriebe
Grunwald/Reitz (1974)	Bestimmung des zulässigen Aufwandes zur Durchsetzung des WTF
Scholz, S. (1976)	Ausfallverhalten der Baugruppen von Tagebaugroßgeräten
Ströbel/Wagner (1976)	Wirksamkeit zentraler Dispatchieranlagen im Braunkohlenbergbau
Groß, I.-B. (1976)	Automatisierte Leitungssysteme in der Braunkohlenindustrie
Lindner, Th. (1977)	Effektivität der Instandhaltung von Großgeräten im Braunkohlenbergbau
Trillhose, A. (1979)	Bewertung und Klassifikation von Vorratsverlusten im Braunkohlenbergbau
Hose/Mehnert (1981)	Operative Leitung der Gewinnung und Rohkohleverteilung
Petschick, S. (1981)	Informationssystem Grundmittel im Braunkohlenkombinat
Seidel, G. (1982)	Qualitätssicherung durch radiometrische Aschegehaltsbestimmung der Rohkohle
Simon, D. (1983)	Durchführbarkeitsstudie zur Untertagevergasung von Weichbraunkohlen
Zimmermann, H. (1984)	Ökonomische Analyse technologischer Prozesse im Braunkohlenbergbau
Wiegand, V. (1985)	Energiewirtschaftliche Rationalisierung der Bandförderprozesse
Haase, B.-U. (1985)	Kalkulation des Aufwandes in Stadien der Vorbereitung von Tagebauinvestitionen
Lorenz, St. (1986)	Wirtschaftlicher Erneuerungszyklus für Tagebaugroßgeräte
Kalusniak, B. (1988)	Energiewirtschaftliche Prozessanalyse der 60m AFB-Betriebe
Stolzenburg, H. (1988)	Voraus kalkulation des Aufwandes für neue Verfahren der Kohleveredlung
Eberlein, J. (1996)	Instandhaltungscontrolling im Braunkohlenbergbau
Petersen, S. (1999)	Instandhaltungs- und Investitionsstrategien für Energieverteilungsanlagen
Dietze, T. (2004)	Optimierung des Anlagenlebenszyklus für mobile Technik im Bergbau
Bergs, St. (2005)	Bergbaubedingte Rückstellungen im Braunkohlenbergbau

In den Fokus der Interessen trat jetzt neben der Veredlung die Gewinnung der Kohle. Hohe Erwartungen waren an die Bergakademie und an den Forschungsstandort Freiberg gerichtet. 1951 wurde die Bergakademie aus dem Verantwortungsbereich des Staatssekretariats für das Hochschulwesen herausgelöst und dem für die Kohleindustrie zuständigen Ministerium für Schwerindustrie unterstellt. Es folgten die Einrichtung von Instituten und Professuren auf dem Braunkohlensektor (Tab. 1) und 1956 die Gründung der Fakultät für Ingenieurökonomie. Die Bündelung der Kompetenzen verschiedener Disziplinen, eingeschlossen die Mathematik und die technischen Grundlagen, war die Basis für das angestrebte wissenschaftliche Niveau der Forschung, für die Entwicklung der Bergbaukunde zu den Bergbauwissenschaften und für den Beitrag der Bergakademie zum Aufbau einer leistungsfähigen Braunkohlenindustrie.

### Schwerpunkte und Themen der Forschung Begriffsbestimmungen, Berechnungsgrundlagen, technisch-wirtschaftliche Kenngrößen und Verfahren der Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsrechnung

Grundlage aller exakten Wissenschaften sind verbindliche Begriffsbestimmungen. Sie sind im betrachteten Fall auch Voraussetzung für die Abbildung, Planung, Analyse und Kontrolle der Betriebsabläufe und hierfür geeigneter Kenngrößen. Von Arbeitsgruppen der Brennstofftechnischen Gesellschaft (BTG), denen Hollweg bis zu seinem Tod 1963 als Leiter vorstand, wurden Begriffsbestimmungen für den Braunkohlentagebau und für Braunkohlenbrikettfabriken erarbeitet und als Fachbereich-Standards (später als TGL) eingeführt. Diese Bestimmungen enthielten Festlegungen zu technisch-wirtschaftlichen Sachverhalten, z. B. zur Abgrenzung der Tagebau- von den Tiefbauvorräten, zur Leis-

tungsberechnung für Bagger, Absetzer, Fördertechnik und Brikettfabriken und zur Kontrolle der Leistungsprozesse, aber auch zu kaufmännischen Aufgaben, z. B. zur Abgrenzung von Investitionsabraum zu Betriebsabraum und zur Verrechnung der Aufschlusskosten für Braunkohlentagebaue.

Ein Schwerpunkt war die Entwicklung von Verfahren und Modellen zur Berechnung der Produktionskapazität für Tagebaue und Brikettfabriken. In Form von Empfehlungen und Richtlinien wurden diese zur verbindlichen Grundlage der Leistungsplanung und der hierauf aufbauenden weiteren, auf die interne Betriebsführung gerichtete Planungen. Die Arbeiten zur Qualifizierung der Wirtschaftlichkeitsrechnung hatten Grundlagencharakter. Der damaligen Zeit und der zentralen Wirtschaftsführung geschulte Defekte, z. B. die Unterbewertung des Produktionsfaktors Arbeit und pauschale staatliche Vorgaben zu den Bewertungsverfahren und Entscheidungskriterien (z. B. Rahmenmethodik zur Ermittlung des ökonomischen Nutzeffekts), waren Anlässe für die Entwicklung und Anwendung spezieller, teils von den Vorgaben abweichender und auf die Besonderheiten der Bergbauinvestitionen zugeschnittener Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung.

### Bestimmung der wirtschaftlichen Grenzen der Tagebaugewinnung und der Anwendung verschiedener Tagebautechnologien

Die Abraumförderbrückentechnologie war (ist) bei Erfüllung bestimmter Kriterien durch die Lagerstätte wirtschaftlich im Vorteil. Für die auch hier erforderlichen Vorschnittbetriebe, für alle anderen Fälle und für die Grubenbetriebe waren Entscheidungen zwischen verschiedenen alternativen Fördertechnologien zu treffen. Die Forschung hatte die wirtschaftliche Bewertung der Technologien zum Inhalt. Besonderen Einfluss auf den Aufwand und die Kosten haben Lagerstättegeometrie, Tagebau- und Kapazitätsschnitt, Art des Aufschlusses, Abbaureihenfolge und Leistungsauslegung der einzelnen Produktionseinheiten und ihre Dimensionierung zueinander. Unter den Bedingungen der in Abbau zu nehmenden Lagerstätten lagen die wirtschaftlichen Vorteile in den meisten Fällen bei der Bandförderung. Das führte zu einer Forcierung der Entwicklungsarbeit auf diesem Gebiet und zu einer bevorzugten Anwendung dieser Technologie.

**Zeitraum 1970–1989**  
**Rahmenbedingungen**  
**und Herausforderungen**

1970 wurden in der DDR 261,5 Mio. t Braunkohle gefördert und damit 79,3% des Verbrauchs an Primärenergie gedeckt. Es erfolgte eine höherstufige Veredlung der Kohle (Verkokung und Vergasung) in Großanlagen. Die Betriebsgröße der Tagebaue war gestiegen, und es kamen überwiegend kontinuierliche Tagebautechnologien zur Anwendung (Tab. 3 und 4). Die DDR bestimmte das wissenschaftlich-technische Niveau der Tagebaugewinnung und der Braunkohlenveredlung in der Welt.

Diese auf den ersten Blick positiven Botschaften haben aber auch einen Beigeschmack. Die einseitige Ausrichtung auf die Braunkohle und die Nutzung der Anlagen an der Grenze ihrer technischen Kapazität beeinträchtigten die Versorgungssicherheit, insbesondere in Zeiten saisonal bedingter Bedarfsschwankungen. Das Angebot an Endenergie erfolgte überwiegend in der wenig anwenderfreundlichen Form fester Energieträger. 1970 betrug dieser Anteil in der DDR 66,8%, für die Haushalte 79,7% (in der BRD 20,1 bzw. 29,8%). Eine Folge waren wirtschaftliche Nachteile in den Prozessen der Energieanwendung. Der Braunkohle zurechenbare Belastungen der Arbeits- und Lebensqualität sowie der Umwelt und der Ökosysteme führten zu einem Verlust an gesellschaftlicher Akzeptanz.

In den 1970er Jahren beeinflussten die sogenannte Kohlekrise der DDR und die 1969 beginnende 3. Hochschulreform die Braunkohlenforschung an der Bergakademie. Steigende Erdöl- und Erdgasimporte und die beginnende Nutzung der

Kernkraft führten ab 1971 zu einer rückläufigen Entwicklung der Braunkohlenförderung und der Brikettproduktion. Ergebnis der Hochschulreform waren neue Strukturen (u. a. 1969 die Zusammenführung von Instituten zu Sektionen) und die Abkehr von der bis dahin zweigspezialisierten Lehre und Forschung. Die durch Erfahrungen und spezielle Ausbildung qualifizierten Leistungsträger der ökonomischen Braunkohlenforschung gingen in die Praxis oder übernahmen Aufgaben an der Hochschule, die sie von der Forschung wegführten.

Eine Umkehr stellte sich in den 1980er Jahren ein. Die Erwartungen an den Beitrag der Erdöl- und Erdgasimporte aus der Sowjetunion und der Kernenergie zur Deckung des Energiebedarfs wurden nicht erfüllt. Die nach den Preisbildungsmechanismen des RGW (rollender Durchschnitt des Weltmarktpreises der letzten fünf Jahre) ab 1981 steigenden Bezugspreise für Öl und Gas waren dem nach der Welterdölkrise 1981 fallenden Preistrend auf den Weltmärkten entgegengerichtet. Das führte zu Problemen bei der Erwirtschaftung der erforderlichen Devisen. Die Bedeutung der Braunkohle für die Deckung des Energiebedarfes stieg wieder an (Tab. 3 und 4). Finanziert von den Braunkohlenkombinaten Bitterfeld und Senftenberg und geleitet von Repräsentanten der Bergakademie nahm 1983 eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe für die Braunkohlenforschung ihre Arbeit auf. In diese Gruppe war auch betriebswirtschaftliche Forschungskapazität integriert. Darüber hinaus formierte sich an der Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft auf der Grundlage von Verträgen und finanziellen Zuwendungen von der Braunkohlen-

industrie eine Forschungsgruppe zum Rahmenthema „Ökonomie der Gewinnung von Rohbraunkohle“.

**Schwerpunkte**  
**und Themen der Forschung**  
**Analyse und energiewirtschaftliche**  
**Rationalisierung der Tagebauprozesse**

Im Zentrum standen die kontinuierlichen Tagebautechnologien der Brücken-, Direktversturzt- und Bandförderung. Allgemeines Merkmal dieser Technologien ist die Zusammenführung der Funktionen – Gewinnen, Beladen, Fördern, Entladen/Übergeben, Verkippen/Bunkern – in einer nur als System funktionierenden Produktionseinheit. Ziel waren methodische Grundlagen für Prozessanalysen und die hierfür erforderlichen Voraussetzungen, insbesondere eine verursachungsgerechte Erfassung und Zurechnung von Leistung, Aufwand und Kosten nach Prozessstufen und Systemelementen sowie eine diesem Anliegen entsprechende Gliederung und Abgrenzung der Prozesse in Leistungs- und Kostenstellen. Es wurden Schwachstellen und Engpässe der Systeme bestimmt, verbesserte technische Lösungen angeregt und die für deren Entwicklung und Überleitung in die betriebliche Praxis zulässigen Kosten aus ihrer ökonomischen Wirkung auf das System abgeleitet.

So ist z. B. die Dimensionierung der Gurtbandförderer und Absetzer auf die Leistungsspitzen (des) der Gewinnungsgeräte(s) auszulegen. Diese erreichen, bedingt durch den Arbeitsvorgang der schneidenden Gewinnung (z. B. Sichel-schnittverluste bei Blockverhieb), das bis zu 3-fache des durchschnittlichen Fördervolumens (Abb. 1). Die Ausnutzung des Förderquerschnittangebotes der Förderer und Absetzer beträgt damit im Durchschnitt nur ca. 30%. Folgen der damit verursachten „Leerkapazität“ sind „verlorener Investitionsaufwand“, hoher Energieverbrauch und hohe Instandhaltungskosten. Bei der Vermeidung von Leistungsspitzen ist eine geringere Dimensionierung des abfördernden Systems möglich. Die hierdurch erreichbaren positiven Wirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (Tab. 5) waren Anlass zur Einführung der automatisierten Leistungsregelung durch Baggerprogrammsteuerung.

Die Prozessanalysen gaben Anstöße zu weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, z. B. zu energiesparenden konstruktiven Lösungen, zur Optimie-

Tab. 3: Kenngrößen der Braunkohlenindustrie in den Revieren Mitteldeutschland und Lausitz

	1950	1960	1970	1980	1989	1999	2009
Braunkohlenförderung <sup>1)</sup> in Mio. t	137	226	262	258	301	65	76
Leistungsverhältnis Abraum : Kohle in m <sup>3</sup> /t	2,43	2,85	3,19	4,22	4,44	5,61	6,17
Durchschnittliche Tagebaubetriebsgröße in Mio. t/a	2,1	5,0	7,5	8,1	8,8	10,8 <sup>3)</sup>	12,7 <sup>3)</sup>
Anteil kontinuierlicher Abraumtechnologien <sup>2)</sup> in %	<10	28	57	73	>85	>90	>95
Brikett, Staub und Wirbelschichtkohle in Mio. t	37,7	58,1	58,8	50,8	49,6	1,7	1,8
Förderverhältnis Mitteldeutschland : Lausitz	74:26	63:37	49:51	37:63	35:65	21:79	27:73

- 1) Höchststand 312,2 Mio. t (1985). Fördertief zwischen 1970 und 1980 243,7 Mio. t (1974)
- 2) Abraumförderbrücken (AFB)-, Bandförder- und Direktversturzttechnologie
- 3) ohne die Tagebaue Amsdorf (Kohle für Montanwachsextraktion) und Reichwalde (gestundet)

Tab. 4: Anteil der Braunkohle an Erzeugung und Verbrauch von Primärenergie in der DDR

	1970	1980	1990
Anteil an der Erzeugung Primärenergie auf der Basis heimischer Vorkommen in %	96,9	89,8	93,8
Anteil an der Deckung des Verbrauchs Primärenergie in %	79,3	71,7	72,5

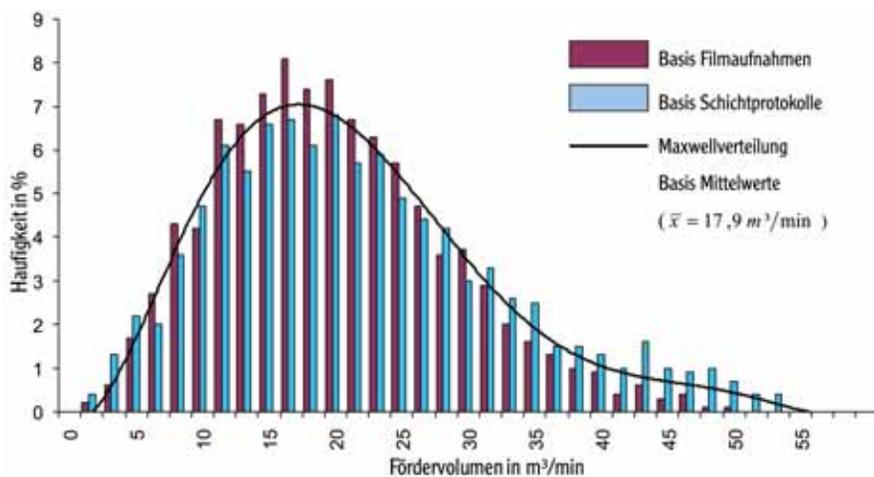


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung des effektiven Fördervolumens von Schaufelradbaggern – Beispiel SRs 630/800. Nach: Neue Bergbautechnik 17(1987)5, S. 161 ff.

Tab. 5. Vergleich von Varianten der Dimensionierung von Bagger-Band-Absetzer-Kombinationen<sup>1)</sup> im Abraum. Nach: Neue Bergbautechnik 15(1985)11, S. 401 ff. und 17(1987)5, S. 61 ff.

	SRs 1300 GBF 2,0 A2Rs-B 8800.110	SRs 1300 GBF 1,6 A2Rs-B 6300.95	SRs 1300 GBF 1,4 A2Rs-B 4400.95
Maximal zulässiges Fördervolumen in m <sup>3</sup> /min	109,2	68,2	52,2
Durchschnittliches Fördervolumen in m <sup>3</sup> /min	33,9	33,8	32,8
Zeitverfügbarkeit in % der Kalenderzeit	60,0	59,8	57,0
Jahresfördervolumen in Mio. m <sup>3</sup> /a	10,670	10,627	9,819
Investitionsaufwand in %	100	79,5	70,8
Energieverbrauch in KWh/m <sup>3</sup>	2,583	2,148	1,758

- 1) Geräte der Typenreihen Schaufelradbagger (SRs), Gurtbandförderer (GBF) und Bandabsetzer (ARs-B)  
 – Schaufelradbagger auf Raupen schwenkbar. Nennvolumen der Schaufel in l.  
 – GurtBandFörderer. Gurtbreite in m.  
 – BandAbsetzer (2-teilig auf R und s). Theoretisches Fördervolumen in m<sup>3</sup>/h.  
 Länge des Abwurfsauslegers in m.

nung und volumenproportionalen Regelung der Gurtgeschwindigkeit und zu energiesparender Betriebsführung. Die Arbeiten haben auch dazu beigetragen, dass Überlegungen zur Entwicklung von Abraumförderbrücken mit 80 m Abtragsmächtigkeit und Bandabsetzer mit Auslegerlängen größer 225 m gebremst und stattdessen Forschung und Entwicklung auf Direktversturzkombinationen und auf den Schrägabbau gelenkt wurden.

### Wirtschaftliche Bewertung neuer Tagebautechnologien

Vorgesehenen war der Abbau tieferliegender Flöze. Die bis dahin bevorzugt zur Anwendung kommenden Technologien waren hierfür nicht geeignet. Unter Federführung der Sektion Geotechnik und Bergbau wurde mit dem Schrägabbau ein technologisches Konzept für den Abbau solcher Lagerstätten entwickelt. Beim Schrägabbau arbeiten die Bagger und die Absetzer an Förderbändern, die rechtwinklig zur Tagebaulängsachse auf schiefen Ebenen mit einer Neigung von

1:6 bis 1:8 verlegt sind. Besondere Anforderungen sind dabei an die Gerätetechnik gestellt, z. B. an die Entwicklung sogenannter Kompaktbagger.

Aufgabe der betriebswirtschaftlichen Forschung war es, in diesem frühen Stadium die Erfolgchancen des Schrägabbaus einzuschätzen. Es wurden Aussagen zur Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu den bestehenden technologischen Alternativen und abhängig von der Lagerstätte, speziell in Abhängigkeit von deren räumlicher Erstreckung und der Mächtigkeit des Deckgebirges, getroffen.

### Rechnergestützte Produktionsleitungssysteme

Anliegen der Forschung war ein automatisiertes Produktionsleitungssystem für die Ebenen Planung und Kontrolle, Produktionshauptprozesse und Teilbereiche. Das System beinhaltete eine automatische Messwerterfassung, geeignete Informationsübertragungseinrichtungen und rechnergestützte Steuerimpulse. Ziel waren die mengen- und qualitätsgerechte Steuerung der Prozesse Gewinnung und

Verteilung der Kohle und die Schaffung der hierfür erforderlichen Voraussetzungen, z.B. die *In-situ*-Bestimmung des Aschegehalts der Kohle im Flöz auf der Grundlage radiometrischer Verfahren.

### Zeitraum 1990–2006 Rahmenbedingungen und Herausforderungen

Der Beitritt der DDR zur BRD im Jahr 1990 und die Einordnung der Energiewirtschaft der DDR in die gesamtdeutsche Energiewirtschaft führten in Mitteldeutschland und in der Lausitz zu einem radikalen Rückgang der Produktion. Die Braunkohlenförderung sank bis 1998 auf 64 Mio. t, und die Braunkohlenveredlung wurde eingestellt. Die Schließung der Mehrzahl der Tagebaue und Veredlungsbetriebe sowie eine aufgelaufene Sanierungsschuld erforderten Sanierungsarbeiten in bisher in der Welt nicht bekanntem Umfang. Der Sanierungsbergbau war auch eine neue Herausforderung für die ökonomische Forschung.

An der Bergakademie wurden 1991 der Fachbereich Ingenieurökonomie abgewickelt und die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, auch ausgestattet mit einer Professur für Bergwirtschaftslehre, neu gegründet.

Mit den nach der Privatisierung neu entstandenen Braunkohleunternehmen und den mit der Sanierung beauftragten Bergbauverwaltungsgesellschaften in Mitteldeutschland und in der Lausitz entwickelten sich schnell neue Formen der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Bergwirtschaft. Es wurden Vereinbarungen zu Inhalt und finanziellem Umfang der Forschung, zur Weiterbildung der Führungskräfte und zur Unterstützung der studentischen Ausbildung getroffen.

### Schwerpunkte und Themen der Forschung Betriebswirtschaft der mobilen Technik

Mobile Betriebstechnik findet im Braunkohlenbergbau traditionell eine breite Anwendung in den Hilfsprozessen. Die Erfordernisse des Sanierungsbergbaus und die technologische Entwicklung in den aktiven Tagebauen, z. B. die Einrichtung von Sonderbetriebsbereichen im Abraum und zur Kohlegewinnung aus Flözmulden, hatten einen verstärkten Einsatz dieser Technik auch in Leistungsprozessen als Gewinnungs-, Lade- und Fördertechnik zur Folge.

Im Brennpunkt betriebswirtschaftlicher Interessen standen Eigen- oder

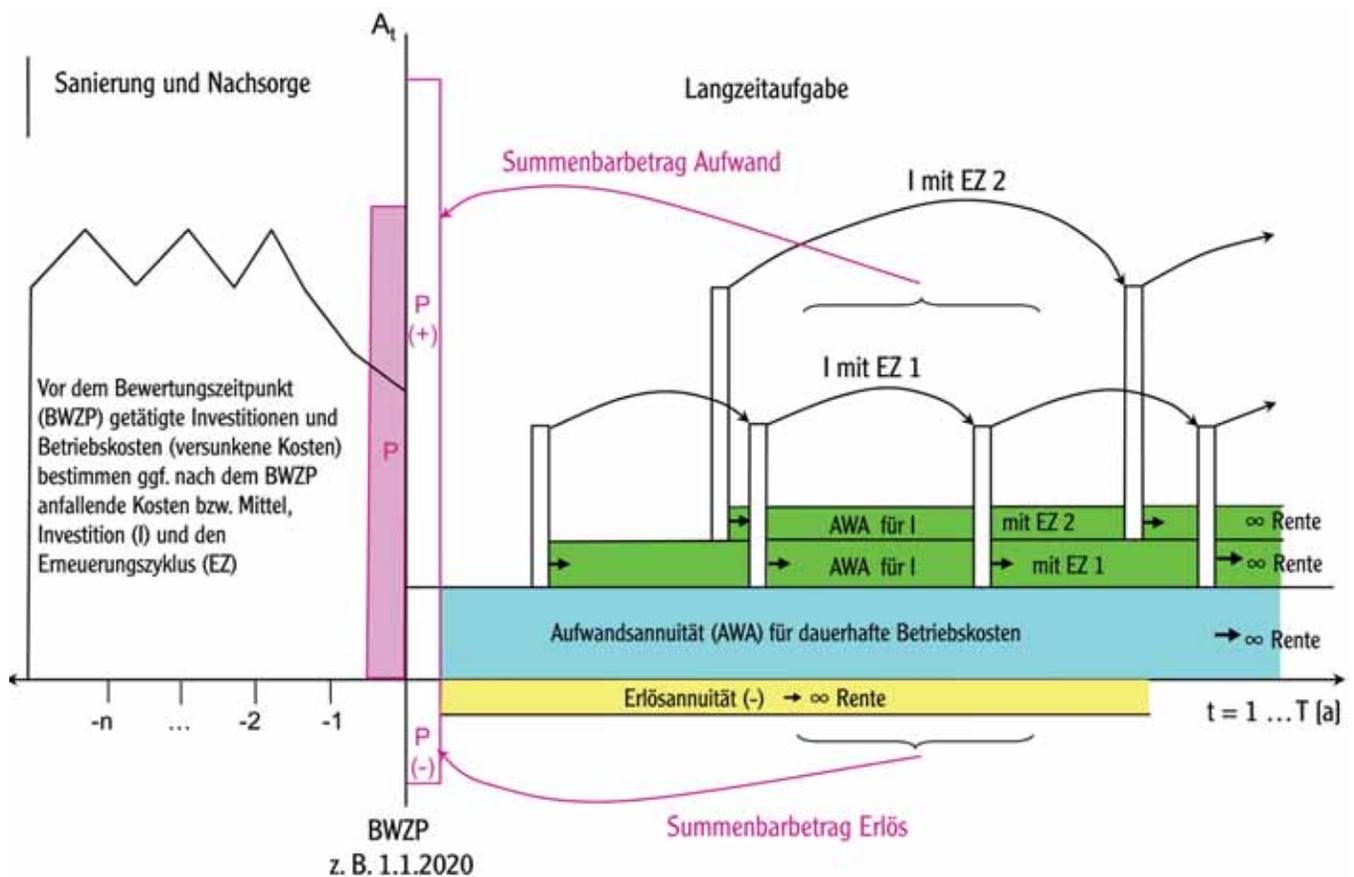


Abb.2: Modell zur Berechnung des Ablöse- und Einmalzahlbetrages P für Bergbau-Langzeitaufgaben mit unendlicher Dauer nach dem Kapitalisierungsverfahren. Nach: Erzmetall 56(2003)10, S. 583 ff.

Fremdleistung, der Grad der Zentralisierung und die innerbetriebliche Organisation, die Instandhaltungs- und Investitionsstrategie, die Optimierung des Anlagenlebenszyklus, die Bestimmung und Sicherung der Zeitverfügbarkeit, die Kalkulation von innerbetrieblichen Betriebsmittelmieten sowie die Leistungs- und Kostenrechnung für diese Technik. Es wurden Instrumente und Methoden für die Vorbereitung von Entscheidungen, z. B. zur Ermittlung des wirtschaftlich optimalen Ersatzzeitpunkts, erarbeitet.

### Bergbaufolgen in der Betriebswirtschaft der Bergbauunternehmen und die wirtschaftliche Bewertung langfristiger Bergbaufolgen

Die Verpflichtung des Bergbaus zur Beseitigung von Bergbaufolgen veranlasst spezielle betriebswirtschaftliche Aufgaben, z. B. die vorausschauende Bestimmung des sachlichen Aufwands, die Kalkulation der hierfür zu veranschlagenden Kosten und die finanzielle Vorsorge in Form von Rückstellungen. Das zeitliche Auseinanderfallen von Verursachung, Entstehung und Reaktion auf Bergbaufolgen, die Veränderung des Verpflichtungsumfanges über die Laufzeit

eines Tagebaus und die verursachungsgerechte Berücksichtigung der Bergbaufolgen in der Kostenrechnung bestimmen den Inhalt der Forschung.

Eine Aufgabe ist die wirtschaftliche Bewertung langfristiger Bergbaufolgen. Nach Abschluss der Sanierung werden auch Objekte aus der Bergaufsicht entlassen und in die Rechtsträgerschaft künftiger Nutzer übertragen, für die weiterhin Leistungen der Nachsorge über eine ggf. unendliche Dauer erforderlich sind.

Der künftige Rechtsträger ist in diesen Fällen durch den Verursacher bzw. den vorherigen Rechtsträger finanziell so auszustatten, dass er hiermit alle künftig zu erwartenden Verpflichtungen und Maßnahmen finanzieren kann. Es wurde eine Methode zur Ermittlung eines entsprechenden Einmalzahlablösebetrags entwickelt. Das Verfahren hat inzwischen breite Akzeptanz und Anwendung gefunden. In der Rahmengewässervereinbarung zwischen Bund und Freistaat Sachsen zur Übertragung der Tagebaurestseen an den Freistaat ist dieses Bewertungsverfahren verbindlich vorgesehen (Abb. 2).

### Ausblick

Die Braunkohle hat eine chancenreiche Zukunft. Hierfür sprechen die nachgewiesenen Vorkommen und die wirtschaftlichen Potenziale ihrer energetischen und stofflichen Nutzung. Mit der gegenwärtigen und auf absehbare Zukunft stabilen Förderung von 75 bis 80 Mio. t/a haben die Reviere Lausitz und Mitteldeutschland einen Anteil von 17% an der Primärenergieerzeugung in Deutschland. 94% dieser Förderung werden in öffentlichen Kraft- und Heizkraftwerken zur Verstromung und Fernwärmeerzeugung eingesetzt.

Ein noch nicht erschlossenes Potenzial liegt in der höheren Veredlung und stofflichen Nutzung der Braunkohle. In der jüngeren Vergangenheit wurden an der Bergakademie hierfür bereits neue Verfahren entwickelt und neue Einsatzgebiete für Kohleprodukte aufgezeigt. Im Zentrum der weiteren Forschung steht die stoffgeführte Kette qualitätsgerechte Gewinnung, Klassierung und Trocknung der Kohle; Gewinnung von Kohlenwasserstoffen (Extraktion, Pyrolyse, Hydrierung); Erzeugung eines Synthesegases (Vergasung) sowie die Verwertung/Spei-

cherung des Prozess-CO<sub>2</sub>. Ziel ist die Produktion von Chemierohstoffen, Energie (Koks, Strom, Wärme) und Kraftstoffen aus Braunkohle. Siehe hierzu auch die Beiträge in Heft 16 (2009) unserer Zeitschrift.

Im Jahr 2008 haben sich Repräsentanten verschiedener Institutionen und Disziplinen zu einem Forum „Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland (ibi) – Neue Strategien zur stofflichen Verwertung“ zusammengefunden [6,7]. Die Wirtschaftswissenschaften sind an dieser Initiative mit Betrachtungen zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen für die Regionen beteiligt. Erforderlich wäre eine Mitwirkung, die in Fortführung der Traditionen interdisziplinärer Braunkohlenforschung an der Bergakademie die wirtschaftlichen Chancen und Grenzen der Gewinnung und der höherstufigen energetischen und stofflichen Verwertung der Braunkohle aufzeigt und die weitere technische Entwicklung auf diesem Gebiet mitbestimmt. An der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften ist die hierfür erforderliche spezielle Fachkompetenz nicht mehr vorhanden. Die Professur Bergwirtschaftslehre mit dem Arbeitsprofil Ressourcen-, Rohstoff-, Energie-, Lagerstätten- und Bergwirtschaft wurde nach dem altersbedingten Ausscheiden des Lehrstuhlleiters im Jahr 2004 nicht wieder besetzt.

#### Literatur

- 1 Braunkohle in Forschung und Lehre an der Bergakademie Freiberg. Herausgegeben vom Verein Freunde und Förderer der TU Bergaka-

demie Freiberg e. V. aus Anlass des 125. Geburtstag von Karl Kegel (2001)

- 2 Montanhistorisches Kolloquium: Zur Geschichte des Braunkohlenbergbaus in Deutschland und Tschechien. Herausgegeben vom Magistrat der Stadt Borken (1999)
- 3 Halle und der Bergbau. Beiträge zur Regional- und Landeskultur Sachsen-Anhalts. Bericht der Tagungen 2003 und 2004. Herausgegeben vom Landesheimatbund Sachsen-Anhalt e.V.
- 4 Chronik des Braunkohlenbergbaus im Revier Bitterfeld. Herausgegeben vom Bitterfelder Bergleute e. V. (1998)
- 5 Riesner, W.: Energiewirtschaft in Ostdeutschland. Energie-Fachmagazin (BWK). Springer-VDI-Verlag Düsseldorf. 61(2009)12
- 6 (6) Bilkenroth, K.-D., A. Schröter und G.-Chr. Wild: Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland (ibi) – Neue Strategien zur stofflichen Verwertung. Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg. 16 Jg. (2009)
- 7 Meyer, B.; R. Pardemann, und W. Heschel: Innovative stoffgeführte Veredlungsketten und Technologien für eine wirtschaftliche sowie umweltgerechte Produktion von chemischen Basisprodukten aus mitteldeutscher Braunkohle. In: Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland (ibi) – Neue Strategien zur stofflichen Verwertung. Tagungsband des Innovationsforums vom 26. bis 27.2.2009 in Freiberg

Die Ergebnisse der ökonomischen Braunkohlenforschung an der Bergakademie wurden in verschiedenen Formen publiziert. Allgemein zugänglich sind Veröffentlichungen in den Freiburger Forschungsheften (FFH) sowie in den Zeitschriften Neue Bergbautechnik (NBT) und Surface Mining. Weitere Formen sind Fachtagungen, Forschungsberichte, Expertisen und Gutachten. Ergebnisse der Forschung bestimmten auch den Inhalt der Lehre, der zahlreichen Lehrbriefe und des Hauptwerkes „Bergwirtschaftslehre in 2 Bänden“ (Slaby/Wilke). Verlag der TU Bergakademie Freiberg (2005 und 2006). Zu den im Beitrag ge-

nannten Forschungsschwerpunkten werden nachstehend ausgewählte Literaturquellen aufgelistet.

- Hollweg, G.: Die Neufassung der Begriffsbestimmungen für den Braunkohlentagebau. FFH A 96 (1958)
- Hollweg, G.: Ökonomische Betrachtungen zur komplexen Tagebauausrüstung. Bergbautechnik 13(1963)1, S. 4 ff.
- Hollweg, G.; A. Neumann; H. Lange und D. Slaby: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen an Bandanlagen. FFH A 282 (1963) und A 353 (1965)
- Steinmetz, R. und D. Slaby: Ökonomische Beurteilung von Tagebautechnologien und Schrägabbau. NBT 9(1979)10, S. 562 ff. und 11(1981)10, S. 563 ff.
- Slaby, D. und B.-U. Haase: Kostenkalkulation in frühen Stadien der Vorbereitung von Tagebauinvestitionen. NBT 14. Jg. (1984) Heft 12 S. 455 ff.
- Slaby, D.: Betriebswirtschaftliche Forschung zur Durchsetzung des WTF im Braunkohlenbergbau. FFH D 165 (1985)
- Slaby, D. u.a.: Prozessanalyse und energiewirtschaftliche Rationalisierung in Braunkohlentagebauen. NBT 15(1985)11, S. 401 ff.; 16(1986)6, S. 216 ff.; 17(1987) 5, S.161 ff.; 17 (1987) 8, S. 281 ff.; 19(1989) 7, S. 241 ff., 20(1990)4, S. 134 ff.
- Eichfeld, E., J. Gustmann und J. Neubert: Rechnergestützte Leitungssysteme im Braunkohlenbergbau. FFH D 180 (1986)
- Slaby, D. u.a.: Produktionskapazität von Braunkohlentagebauen und Leistungsplanung im Bergbau. NBT 10(1980)2, S.102 ff.; 19(1989)11, S. 413 ff. und FFH D 193 (1989)
- Slaby, D. und T. Dietze: Optimaler Ersatzzeitpunkt für Erdbautechnik im Bergbau. Surface Mining 50(1998)3, S. 291 ff.
- Slaby, D. und B.-U. Haase: Betriebswirtschaft der mobilen Technik im Bergbau. Surface Mining 53(2001)1, S. 91 ff.
- Slaby, D.; C. Drebenstedt und B. Sablotny: Wirtschaftliche Bewertung von langfristigen Bergbaufolgen. Erzmetall 56(2003)10, S. 583 ff. und FFH D 215 (2004)



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

## RESSOURCEN- UNIVERSITÄT MIT PROFIL

Vier Kernfelder – GEO, MATERIAL, ENERGIE, UMWELT – geben einer der ältesten montanwissenschaftlichen Universitäten der Welt ihr einmaliges und unverwechselbares Profil als Ressourcenuniversität. Auf diesen vier Gebieten arbeiten Wissenschaftler und Studenten aller Fachbereiche engagiert zusammen.

Mit der Industrie sind dabei immer starke Partner an ihrer Seite. Deswegen gehört die TU Bergakademie Freiberg aufgrund der Drittmitteleinnahmen pro Professor auch zu den zehn stärksten Forschungsuniversitäten in Deutschland und nimmt in den neuen Bundesländern die Spitzenposition ein.

[www.tu-freiberg.de](http://www.tu-freiberg.de)

## Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 20. November 2009

Veranstaltungsort: Freiberg, Petersstraße 5  
 Beginn: 13:00 Uhr, Ende 16:00Uhr  
 Teilnehmerzahl: 219  
 Versammlungsleiter: Prof. e. h. Dr.-Ing.  
 Klaus-Ewald Holst  
 Protokoll: Prof. Dr. Volker Köckritz

Die Versammlung wurde satzungsgemäß einberufen. Die Tagesordnung war fristgemäß bekanntgegeben worden. Änderungswünsche gab es keine. Die Begrüßung nahm Prof. e. h. Dr.-Ing. Holst vor.

### 1. Jahresbericht des Vorstands

Der Tätigkeitsbericht des Vorstands wurde vom Geschäftsführer Prof. Dr. Kretzschmar vorgetragen. Die Mitgliederzahl des Vereins beläuft sich zurzeit auf 1.050 persönliche Mitglieder und 108 juristische Mitglieder. Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren wie in den vergangenen Jahren Exkursionen von Studentengruppen ins Ausland, Vergabe von Stipendien, Tagungen und Kolloquien, Publikationen, Studienwerbung sowie Preise und Auszeichnungen für Dissertationen und Diplomarbeiten.

Die Einnahmen des Vereins liegen mit Stand vom 18.11.2009 bei 60 T€ (Plan 61.500 €). Durch eine kluge Anlage konnte ein sehr guter Zinsertrag erreicht werden, der sich allerdings in den kommenden Jahren nicht wieder erreichen lassen wird. Die Ausgaben belaufen sich derzeit auf 63 T€ (Plan 63.500 €). Für das kommende Jahr sind im Etatentwurf schwerpunktmäßig eine Erhöhung der Förderung für Publikationen, der Studienförderung und der Förderung der Universität sowie eine Verringerung der sonstigen Ausgaben vorgesehen, siehe Anlage 1 zur Einladung.

Prof. Kretzschmar wandte sich im Besonderen an alle Mitglieder mit der Bitte um Verständnis für eine Beitragserhöhung von 20 € auf 30 € für persönliche und von 150 € auf 250 € für juristische Mitglieder, die in der Anlage 2 zur Einladung vorgeschlagen war. Der Grund für die Erhöhung liegt u. a. im Rückgang der Spendeneinnahmen, (Plan 17.000 €, Ist 11.000 €). Er wies außerdem auf die hohe Qualität und den Umfang der Zeitschrift hin, die als Zeitzeugnis und allgemeinbildende Information einen



Jahresmitgliederversammlung in der Alten Mensa.  
 Foto: Torsten Mayer

hohen Stellenwert besitzt und die jedes Mitglied ohne weitere Kosten erhält. Er stellte diesen Vorschlag zur Diskussion und zur Abstimmung in der Mitgliederversammlung. Der Geschäftsführer informierte des Weiteren über den Plan einer „Gelehrtenmeile“ für Freiberg, der vom Verein organisatorisch unterstützt wird.

### 2. Bericht des Rechnungsprüfers

Dieser wurde von Herrn Knoll, Kreissparkasse Freiberg, vorgetragen. Die Finanzprüfung wurde durch einen Wirtschaftsprüfer im September 2009 vorgenommen. Es gab keine Beanstandungen entsprechend den Grundsätzen für das Jahr 2008. Geringfügige Abweichungen bei den Zinseinnahmen von 44,95 € wurden als unbedenklich eingestuft. Auf eine Korrektur wurde verzichtet.

### 3. Diskussion zum Jahresbericht und Entlastung des Vorstands

- Auf Grund dessen, dass die Einnahmen zurückgegangen sind, wurde vorgeschlagen, die Barbarafeier mit 10 bis 15 € gesondert zu finanzieren und die Beiträge in der alten Höhe zu belassen.
- Es wurde vorgeschlagen, die Zeitschrift des Vereins für Werbeeinnahmen zu nutzen.
- Der Vorschlag der Gelehrtenmeile wurde kritisch betrachtet, als Alternative wurden zusätzliche Haustafeln vorgeschlagen.
- Prof. Albrecht dankte dem Verein und insbesondere Frau Meister ausdrück-

lich für das gute Management bei den zweckgebundenen Ein- und Ausgaben, (anlässlich des 14. Weltkongresses für Industriearchäologie und Industriedenkmalpflege im September 2009).

- Der neue Flyer des Vereins wurde als sehr informativ und gelungen eingeschätzt. Er sollte für eine kleine Gebühr verkauft werden. Der Vorschlag wurde abgewiesen, da der Verein keine kommerziellen Einnahmen tätigen darf.

Die Geschäftsführung wird die Vorschläge und Kritiken prüfen und wenn möglich berücksichtigen. Dem Antrag der Geschäftsführung auf Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2008 wurde mit zwei Enthaltungen zugestimmt.

### 4. Erhöhung der Mitgliedsbeiträge (Anlage 2 – Versammlungsbeschluss)

Die Mitgliederversammlung hat den Vorschlag zur Beitragserhöhung ohne weitere Diskussion mit fünf Gegenstimmen beschlossen.

### 5. Auszeichnungen der Cotta-Preisträger

Die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise erhielten:

- Frau Dr.-Ing. Babett Fiebig für ihre Arbeit „Partialoxidation von o-Xylen zu Phthalsäure und Phthalsäureanhydrid in der Gas- und Flüssigphase“ (Preisgeld: 2.000,- €) in Kategorie I, Dissertationen,
- Herr Dipl.-Geol. Lutz Geißler für seine Arbeit „Geological Mapping and Geochemical Investigation of Gold-Bearing Poly-metal Sulfide Quartz Veins in the French Gulch-Deadwood District, Klamath Mountains, Shasta County, Northern California, USA“ (Preisgeld: 1.000,- €) in der Kategorie II, Diplomarbeiten. Beide Preisträger stellten in kurzen, aber professionellen und interessanten Vorträgen die Ergebnisse ihrer Arbeiten vor.

### 6. Ehrenmitgliedschaft Frau Krüger (Anlage 3 – Versammlungsbeschluss)

Der Vorschlag zur Ehrenmitgliedschaft von Frau Krüger wurde einstimmig angenommen.

### Informationsbeitrag des Rektors zur Entwicklung der Universität

Der Rektor stellte die Entwicklung der Universität im letzten Jahr in Form einer Präsentation vor. Das vergangene Jahr wurde als erfolgreich eingeschätzt. Bezüglich der Drittmiteinnahmen pro Professor nimmt die Universität deutsch-

landweit Platz sechs ein. Die Universität versteht sich als Ressourcen-Universität. Die Studentenzahl liegt derzeit bei 5.000. Damit sind Kapazitäten der Universität mehr als ausgeschöpft. Die Universität weist insgesamt 1.511 Beschäftigte auf.

### Festvortrag von Prof. Dr. Helmuth Albrecht

In seinem Vortrag stellte Professor Albrecht das Welterbeprojekt „Kulturlandschaft Montanregion Erzgebirge“ vor. Die Projektvorbereitungen begannen 1998. Inzwischen konnte auch eine

Beteiligung von tschechischer Seite gewonnen werden. Die Antragstellung an die UNESCO-Welterbekommission soll 2012 erfolgen. Professor Albrecht stellte den Kulturräum Erzgebirge, der in seiner ganzen Vielfalt vom mehr als 800-jährigen Bergbau geprägt ist, interessant und überzeugend vor. Die vollständige Präsentation ist auf der Homepage der TU Bergakademie Freiberg, Fakultät 6, Institut für Industriearchäologie, zu finden (Vortrag von Prof. Dr. Helmuth Albrecht über das UNESCO-Welterbe-Projekt „Montanregion Erzgebirge“).

## Ehrenmitgliedschaft für Frau Erika Krüger

Unser Verein hat in seiner Jahresversammlung im November 2009 einstimmig beschlossen, Frau Erika Krüger die Ehrenmitgliedschaft des Vereins für ihre großen Verdienste um die TU Bergakademie und die Stadt Freiberg, als Vorsitzende der „Dr. Erich-Krüger-Stiftung“ an der TU Bergakademie, als Förderin exzellenter Forschungsprojekte der Universität und als Bauherrin des historischen Krüger-Hauses am Schlossplatz anzutragen. Frau Krüger nahm diese Ehrenmitgliedschaft dankend an. Sie ist somit – nach Friedrich Karl von Opper, dem Nachfahren eines Gründers der Bergakademie 1765 – das zweite Ehrenmitglied des Vereins seit seiner Wiedergründung 1990. In einer universitären Feierstunde am Abend des 11. Januars 2010 in Anwesenheit des Rektors, des Kanzlers und der Prorektoren sowie des Vereinsvorstands und des mit Frau Krüger freundschaftlich verbundenen Ehepaars Groß wurden

Frau Krüger eine Abschrift der Urkunde zur Ehrenmitgliedschaft und die St. Barbara-Ehrenmedaille – die höchste VFF-Medaille – überreicht. Der VFF-Vorstand würdigte Erika Krüger als tapfere und hochherzige Frau, die das gemeinsam mit ihrem Ehemann Peter gestartete Vorhaben zur Förderung unserer Universität zielstrebig fortführt. In ihrem Dank betonte Frau Krüger ihre starke Bindung zur TU Bergakademie und zum VFF sowie ihr großes Interesse an der künftigen Entwicklung der Universität und der Stadt Freiberg. Der Verein ist stolz auf sein Ehrenmitglied und dankbar für ihr Engagement. Der Abend zur Würdigung des Wirkens von Erika Krüger verlief in herzlicher Atmosphäre. Er soll im Herbst 2010 zur Einweihung des Krüger-Hauses eine Fortsetzung finden. Im festlichen Rahmen wird ihr in Anwesenheit von Stadt- und Universitätsrepräsentanten das Urkunden-Original als gerahmtes Ausstellungsobjekt für das Stifterzimmer des Krüger-Hauses übergeben werden.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar



Frau Erika Krüger und Prof. Horst Brezinski mit der St. Barbara-Ehrenmedaille. Foto: Christian Waitschies

## Neue Alumni-Koordinatorin im Büro des Fördervereins

Frau Jana Schulze-Rehagel hat am 1. März 2010 die Nachfolge von Frau Claudia Walther als Alumni-Koordinatorin der TU Bergakademie Freiberg angetreten. Die Diplomkauffrau (Studium in Jena und Freiberg) war bereits zeitweilig für die Alumniarbeit der Fakultät Wirtschaftswissenschaften verantwortlich.



Auf der Basis einer engen organisatorischen Anbindung an den Förderverein erschließt Frau Schulze-Rehagel neue Möglichkeiten zur Intensivierung des Zusammenwirkens unserer Universität mit ihren Alumni. Fruchtbare Impulse erwachsen bereits aus der gemeinsamen Präsentation des Freiburger Alumni-Netzwerks und des VFF auf Tagungen und Veranstaltungen. Durch den Erwerb von zwei Tischaufstellern für den Förderverein und das Alumni-Netzwerk werden die gemeinsamen Ziele noch ansprechender öffentlich demonstriert. Frau Schulze-Rehagel ist auf den Veranstaltungen präsent und wirbt im persönlichen Gespräch für die Anliegen des Fördervereins und des Alumni-Netzwerks. Gern übernimmt sie die Aufgabe, jeweils alle Absolventen eines Jahrgangs anlässlich ihres 50-jährigen Diplomjubiläums zu erfassen und ist Ansprechpartner für die Organisation von Alumni-Treffen.

Die zukünftige Arbeit der Alumni-Koordinatorin wird neben der Pflege der Alumni-Datenbank und der Homepage ([www.alumni.tu-freiberg.de](http://www.alumni.tu-freiberg.de)) die Herausgabe des TUBALUM und die Zusammenarbeit mit den Alumni-Koordinatoren in Sachsen, mit dem Career Center und dem Bereich Studienberatung der TU Bergakademie Freiberg umfassen. Hinzu kommt als Großprojekt die Vorbereitung und Durchführung des „Russischen Alumni-Treffens“ im Jahr 2011.

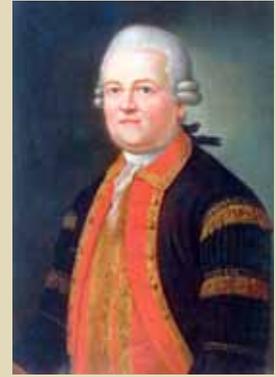
825 € – ein Präsent von Freunden zu seinem 60. Geburtstag – hat **Holger Lau aus Bockhorn**, Absolvent unserer Universität, dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg kürzlich gespendet. Herzlichen Dank für dieses Zeichen der Verbundenheit mit seiner Alma Mater!



Von links:  
Lutz Geißler, Dr.-Ing. Babett Fiebig  
Matthias Saurbier, Dr.-Ing. Rhena Wulf



Rektor Prof. Meyer übergibt  
den Julius-Weisbach-Preis an  
Dr. rer. nat. habil. Thomas Seifert  
(linkes Bild), Sabine Kaiser



Rechts: Friedrich Wilhelm von  
Oppel, einer der Gründer der  
Bergakademie

### Preisverleihungen 2009 und 2010

Auf der Basis der Vergabeordnungen vergibt der VFF jährlich den:

- **Bernhard-von-Cotta-Preis** für hervorragende Diplomarbeiten und Dissertationen (ab 2010 dotiert mit 2000 bzw. 3000 €)
- **Friedrich-Wilhelm-von-Oppel-Preis** für leistungsstarke und in der studentischen Selbstverwaltung engagierte Studierende
- **Julius-Weisbach-Preis** für hervorragende Leistungen von Universitätsmitgliedern in der akademischen Lehre

Den **Julius-Weisbach-Preis 2009** erhielten Dr.-Ing. Rhena Wulf (Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik) und PD Dr. habil. Thomas Seifert (Institut für Mineralogie), mit dem **Oppel-Preis 2009** wurde Matthias Saurbier (Student Maschinenbau) ausgezeichnet. Den **Oppel-Preis 2010** wurde Sabine Kaiser, Studentin Angewandte Naturwissenschaft, verliehen.

Nachfolgend präsentieren wir die Festvorträge der **Cotta-Peisträger des Jahres 2009**, Dr.-Ing. Babett Fiebig (IEC, Dissertation) und Dipl.-Geol. Lutz Geißler (Mineralogie, Diplomarbeit).

## Bernhard-von-Cotta-Preis 2009: Partialoxidation von o-Xylen zu Phthalsäure und Phthalsäureanhydrid in der Gas- und Flüssigphase Babett Fiebig

### Motivation

Die Herstellung von Phthalsäureanhydrid (PSA) zählt zu den wichtigsten technischen organischen Synthesen. Hintergrund ist vor allem der Einsatz von PSA als Rohstoff für Weichmacher, die in großer Zahl bei der Herstellung von Kunststoffen benötigt werden.

PSA und Phthalsäure (PS) werden heute überwiegend durch Oxidation von o-Xylen gewonnen. Aktuell wird die katalysierte Umsetzung von o-Xylen mit Sauerstoff industriell in der Gasphase ausgeführt. Mit diesem Verfahren wird derzeit eine Selektivität bezüglich PSA von maximal 86 Mol-% erreicht. Als Nebenprodukte entstehen Maleinsäureanhydrid und Kohlendioxid. Die Begrenzung der Selektivität wird durch die Reaktionstemperatur verursacht. Für die Oxidation von o-Xylen in der Gasphase gilt: je höher die Temperatur, desto niedriger die Selektivität bezüglich PSA. Der weltweit steigende Bedarf an PSA und der parallel steigende Rohstoffpreis für o-Xylen machen eine Selektivitätssteigerung für die Synthese erforderlich (Abb. 1).

Aus dieser Aufgabenstellung resul-

tieren zwei Fragen: Welches Optimierungspotenzial hat das industriell etablierte Verfahren der Gasphasenoxidation hinsichtlich der Selektivität bezüglich PSA? Und: Stellt das Verfahren der Flüssigphasenoxidation, bekannt durch die Terephthalsäureherstellung, eine nutzbare Alternative mit höherer Selektivität bezüglich PSA zum Prozess in der Gasphase dar?

### Methodik

PSA wird seit mehr als 60 Jahren durch o-Xylen-Oxidation in der Gasphase erzeugt. In der Vergangenheit sind zahlreiche kinetische Modelle zur Beschreibung dieses Prozesses entwickelt worden, welche in der Literatur verfügbar sind. Im Rahmen der Promotionsarbeit

wurden auf dieser Basis Simulationsrechnungen mit dem Ziel durchgeführt, das Optimierungspotenzial des Verfahrens abzuschätzen und durch eine Veränderung der Prozessführung die Selektivität zu verbessern. Dazu wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter auf die Selektivität bezüglich PSA jeweils für einen isothermen idealen Rohrreaktor und für einen polytropen idealen Rohrreaktor berechnet.

Parallel zu den Betrachtungen zur Gasphasenoxidation wurden in Anlehnung an ein Verfahren zur Oxidation der Isomere m- und p-Xylen experimentelle Untersuchungen zur homogen katalysierten Oxidation von o-Xylen in der Flüssigphase durchgeführt. Ziel war es, die Übertragbarkeit neuer Erkenntnisse

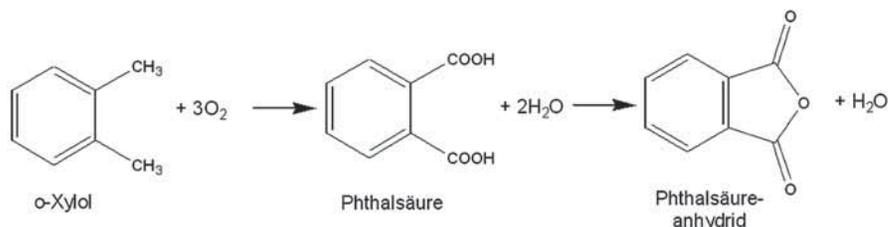


Abb. 1: vereinfachtes Reaktionsschema für die Umsetzung von o-Xylen zu PSA

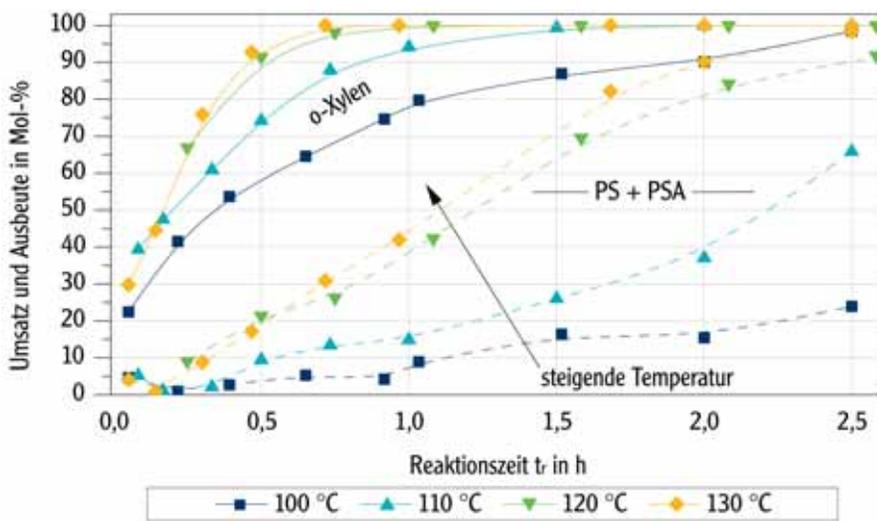


Abb. 2: o-Xylen-Umsatz und PS/PSA-Ausbeute in Abhängigkeit von der Reaktionszeit für das Katalysatorsystem CoMnBrZr bei 100 °C bis 130 °C; 4 bar, 1200 U/min, 40 l/h Luft

von der p-Xylen-Oxidation auf die o-Xylen-Oxidation zu prüfen. Im Mittelpunkt standen die Untersuchung verschiedener Katalysatorsysteme und die Betrachtung von Prozessparametern und deren Einfluss auf die Reaktion.

### Ergebnisse

Der Prozess der Gasphasenoxidation von o-Xylen wurde anhand zweier Reaktormodelle und für zwei kinetische Modelle simuliert. Durch die Variation von Prozessparametern (Kühlmitteltemperatur, Feedgasbeladung) wurde nachgewiesen, dass eine Vergleichmäßigung des Temperaturprofils erreichbar ist. Entgegen den Erwartungen hatte dies aber keine Auswirkung auf die Selektivität be-

züglich PSA. Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsrechnungen zeigen nur ein geringes Optimierungspotenzial hinsichtlich der PSA-Selektivität für den Gasphasenprozess.

Im Gegensatz zum Gasphasenprozess liegen für die Flüssigphasenoxidation von o-Xylen in der Literatur nur wenige Daten vor. Aus diesem Grund wurden hierzu überwiegend experimentelle Untersuchungen im Rahmen meiner Dissertation durchgeführt. Dabei wurde nachgewiesen, dass eine Umsetzung von o-Xylen zu PS und PSA mit hohen Selektivitäten (> 95 Mol-%) in der Flüssigphase bei milden Temperaturen möglich ist (Abb.2). Voraussetzung dafür ist der Einsatz des Katalysatorsystems Cobalt-

Mangan-Brom-Zirconium. Basierend auf den experimentellen Ergebnissen wurde ein Reaktionsmechanismus für die Flüssigphasenoxidation postuliert, in dem alle nachweisbaren Reaktionsprodukte berücksichtigt worden sind. Diese Resultate dienten als Grundlage zur Ermittlung der kinetischen Parameter. Dabei wurden die Geschwindigkeiten der einzelnen Reaktionsschritte mit einem Potenzansatz beschrieben. Die Reaktionsgeschwindigkeiten sind von der Temperatur, der Konzentration des Edukts und von der Katalysatorkonzentration  $c_{\text{Kat}}$  abhängig.

Im Ergebnis der Arbeit wurden, neben der mathematischen Beschreibung der o-Xylen-Oxidation, wichtige Hinweise für die Prozessführung und für die Wahl eines Reaktortyps erhalten. Es wurde ein zweistufiger Reaktor vorgeschlagen, der sowohl eine optimale Nutzung des Oxidationsmittels als auch die Umsetzung des Zwischenprodukts Phthalid begünstigt. In die Vorschläge zur Prozessführung sind auch die Löslichkeits- und Kristallisationsdaten für die Zielprodukte Phthalsäure und Phthalsäureanhydrid eingegangen.

**Danksagung:** An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben. Für die wissenschaftliche Betreuung während der Promotionszeit gilt mein besonderer Dank Dr.-Ing. T. Kuchling. Weiterhin möchte ich dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg danken für die Auszeichnung meiner Dissertation mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis 2009.

## Bernhard-von-Cotta-Preis 2009: Goldlagerstättenforschung in Nordkalifornien Lutz Geißler

Im Jahr 2007 wurde im Bereich Lagerstättenlehre und Petrologie am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg ein Projekt zur Erforschung des Goldlagerstätten-Distriktes French Gulch in Nordkalifornien, USA (Abb. 1) ins Leben gerufen: „Geological Mapping and Geochemical Investigation of Gold-Bearing Polymetallic Sulfide-Quartz Veins in the French Gulch Mine, French Gulch-Deadwood District, Klamath Mountains, Shasta County, Northern California, USA“, (Projektleiter: PD Dr. habil. Th. Seifert). Mit dem veröffentlichten Ergebnisbericht (Geißler und Seifert, 2009) wurde der erste Teil des Projekts abgeschlossen.

Der Grundstein für die Erforschung kalifornischer Goldlagerstätten durch Ab-

solventen der Bergakademie Freiberg wurde bereits vor mehr als 100 Jahren gelegt. 1878 immatrikulierte sich der Schwede Waldemar Lindgren mit 18 Jahren an der Bergakademie für ein Geologiestudium, um fünf Jahre später in die USA auszuwandern und eine Arbeitsstelle am Geologischen Dienst (USGS) anzunehmen. 1895, 47 Jahre nach dem Ausbruch des kalifornischen Goldfiebers im sog. Mother Lode Gold Belt (nördliche Sierra Nevada, Abb. 1), veröffentlichte er seine Arbeit „Characteristic Features of California Gold-Quartz Veins“, die noch heute in weiten Teilen Gültigkeit besitzt. Ein Freiburger Absolvent schuf damit die Basis für die geowissenschaftliche Erforschung des weltweit verbreiteten und

ökonomisch wichtigen Goldlagerstättentyps „Mother Lode Type“ bzw. „Orogenic Gold Type“.

Der in der mit dem Cotta-Preis ausgezeichneten Diplomarbeit untersuchte French Gulch-Deadwood-Distrikt war im 19. und 20. Jh. der produktivste Goldbergbaudistrikt der Klamath Mountains in Nordkalifornien. Er befindet sich im Südosten des Eastern Klamath Terranes, an das durch spätpaläozoische bis unterjurassische, ostwärts gerichtete Subduktion eine Reihe von Terranen angelagert wurde. Die überwiegend NE-SW- bis NNE-SSW- und selten N-S-streichenden, moderat bis steil einfallenden Au-Erzgänge sind in mitteldevonischen Metabasalten („Greenstones“) und unterkarbonen, graphitischen Metatonsteinen und Metagrauwacken ausgebildet. Die o.g. metamorphen Rahmengesteine werden darüber hinaus von oberjurassischen Dazit-, un-



Abb. 1: Übersichtskarte von Nordkalifornien mit dem Untersuchungsgebiet in den südlichen Klamath Mountains und dem berühmten Mother Lode Gold Belt in den Sierra Nevada foothills

terkretazischen Rhyolith- und jüngeren lamprophyrischen Dikes und Sills durchschlagen. Die in ihrer Mächtigkeit stark variierenden hydrothermalen Au-führenden Erzgänge sind die jüngsten im Grubenfeld aufgeschlossenen geologischen Bildungen. Sie entstanden in einem bruchtektonisch aktiven Umfeld und sind durch mindestens fünf Vererzungsphasen charakterisiert, mit (I) Quarz ± Karbonat ± Albit, (II) grobkristallinem Pyrit, (III) feinkristallinem Pyrit + Arsenopyrit + Sphalerit ± Chalkopyrit ± Pyrrhotin, (IV) Galenit ± Gold ± Telluride (Hessit, Petzit, Altsit), und (V) Karbonat ± Quarz ± Plagioklas.

Die Au-führenden Mineralisationen sind strukturell an Trümerzonen und kontaktparallele vererzte Scherflächen gebunden, die den Gängen eine gebänderte Textur verleihen (*ribboned veins*). Darüber hinaus sind alterierte und Au-vererzte Nebengesteinsfragmente typisch. Die mineralisierten Gangstrukturen sind häufig im Bereich von lithologischen Kontakten ausgebildet. Die Au-Erzgänge treten vor allem nahe oder im Kontakt zu den Dazit-Dikes auf, die als wichtiger metallogenetischer Faktor für die strukturelle Kontrolle der Au-führenden Fluide betrachtet werden (Geißler und Seifert, 2009).

Die analysierten Au-Erzproben (n = 32) enthalten bis zu 30 g/t Au (Mittelwert 20 ppm; Abb. 2), 156 ppm Ag (Mittelwert 16 ppm), 600 ppm Cu (Mittelwert 60 ppm), mehr als 5.000 ppm Pb (Mittelwert 1.950 ppm), 2,3 Gew.-% Zn (Mittelwert 0,23 Gew.-%), und 3,3 Gew.-% As (Mittelwert 0,5 Gew.-%). Die Nebengesteine im Gangkontakt zeigen leicht erhöhte Goldgehalte (Mittelwerte 130–2.540 ppb). Sphalerit enthält 4,1 bis 9 Gew.-% Fe und 0,9 bis 2,1 Gew.-% Cd. Die Ag-Konzentrationen in den ged. Au-Aggregaten schwanken zwischen 11,2 und 35,2 Gew.-%. Gehalte von bis zu 2.200 ppm Au sind in Au-reichen Pyriten an submikroskopisches Gold gebunden (Mittelwert: 200 ppm Au). Gold-Erzgänge, die in Metabasalten ausgebildet sind, zeigen eine Tendenz zu höheren Ag-Gehalten in ged. Gold (16–26 Gew.-%) und niedrigeren Zn/Cd-Verhältnissen (< 40 bis 50) in den Sphaleriten. Im Vergleich dazu wurden in ged. Gold der Erzgänge in Metasedimenten und in Dazit-Dikes 12 bis 18 Gew.-% Ag und in den Sphaleriten Zn/Cd > 40 bis 50 nachgewiesen. Der dadurch angedeutete Einfluss der Nebengesteine auf die Gangmineralogie wird

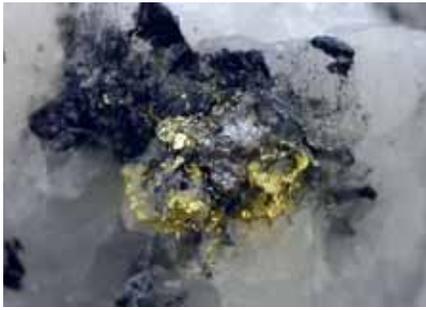


Abb. 2: Gediegen Gold in Assoziation mit einem Metatonsteinklast (schwarz) in Quarz aus der French Gulch-Grube, Klamath Mountains. Bildbreite ca. 2,5 cm

durch das Auftreten von Goldtelluriden gestützt, die bislang ausschließlich in Metabasalt-gebundenen Au-Erzgängen nachgewiesen wurden.

Serizitisierung und Karbonatisierung sind die häufigsten Alterationstypen in den Nebengesteinen, gefolgt von (Arse- no-)Pyritisierung, Silifizierung, Chloritisierung und Albitisierung. Chondritnormierte Spurenelement- und REE-Diagramme zeigen eine Anreicherung der LILE und LREE in allen Dikes/Sills, sowie eine stark negative Nb-Ta-Ti-Anomalie der Dazit- und Lamprophyre-Dikes/Sills, wie sie typisch für subduktionsbezogene Magmen in Vulkanbogenmilieus ist. Eine eher schwache Nb-Ta-Anomalie der Rhyolith-Dikes/Sills könnte auf eine Änderung der geotektonischen Prozesse in der frühen Unterkreide hinweisen. Erhöhte Konzentrationen von Cr (Mittelwert 723 ppm), Ni (Mittelwert 175 ppm), Co (Mittelwert 33 ppm) und MgO (Mittelwert 8,24 Gew.-%) in den Dikes und Sills mit lamprophyritartigen Signaturen sprechen für eine Mantelquelle. Die räumliche und wahrscheinlich zeitliche Nähe der Lamprophyre zu den Au-Erzgängen wird als Hinweis auf einen genetischen Zusammenhang gewertet, wie er z. B. für Au-führende Polymetall-Mineralisationen in den Lagerstättendistrikten Freiberg/Erzgebirge und Rosslund/British Columbia postuliert wird (cf. Seifert 2007).

Die im Rahmen der Diplomarbeit und vorausgegangener Projektarbeiten gewonnenen und im Freiburger Forschungsheft C533 publizierten Daten beinhalten folgende Ergebnisse:

- erste detaillierte geologische Karte der French Gulch-Grube
- Anlage und Dokumentation einer wissenschaftlich wertvollen und für diesen Lagerstättentyp besonders umfangreichen Probensuite (151 Proben)
- detaillierte Aufschlüsselung der Mineralisationsabfolge

- Auswertung und Zusammenfassung des Kenntnisstands zum Lagerstättendistrikt
- ausführliche geochemische Charakterisierung der Vererzung und der Nebengesteine
- qualitative Einschätzung des Lagerstättentpotenzials
- vergleichende Betrachtungen zum Lagerstättentyp und zur Genese mit regional und weltweit ähnlichen Lagerstätten
- Untersuchung der Art der Assoziation zwischen Ganggesteinen und Gold-Quarzgängen

Mineralogie, Alterationsprozesse, Gold-geochemie, der regionalgeologische Rahmen und aller Wahrscheinlichkeit nach auch der Vererzungszeitraum sind vergleichbar mit den „Orogenic Gold“-Lagerstätten des Mother Lode Belts, Sierra Nevada foothills. In einem zweiten Teil des zu Beginn vorgestellten Projekts wird mit einer Promotion nun der Schwerpunkt auf die Erforschung genetisch-geotektonischer Zusammenhänge zwischen den Goldlagerstätten der Klamath Mountains und denen des Mother Lode Belts gelegt. Vorgesehen sind u. a. detaillierte weiterführende mineralogische Untersuchungen im submikroskopischen Maßstab, Altersdatierungen von Magmatiten und vermutlich assoziierter Au-führender Mineralisationen, Fluideinschlussuntersuchungen an Gang- und Erzmineralen sowie Isotopenanalysen an Erz- und Gangmineralen und Magmatiten. Das Forschungsvorhaben kann deshalb u. a. entscheidend dazu beitragen, (1) ein hinreichend gesichertes Genesemodell der Au-Mineralisationen im Lagerstättendistrikt French Gulch zu entwickeln und damit Grundlagen für neue Explorationsziele zu schaffen, und (2) das generelle Verständnis über „Orogenic Gold Type“-Lagerstätten weiterzuentwickeln.

#### Referenzen

- L. Geißler, Th. Seifert: Geology, Mineralogy and Geochemistry of Gold-bearing Polymetallic Sulfide-Quartz Veins and Associated Intrusions in the French Gulch-Deadwood District, California. Freiburger Forschungshefte C 533
- Geowissenschaften, TU Bergakademie Freiberg, 2009
- Th. Seifert: Metallogenese Bedeutung von Kalkalkali-(CA-)Lamprophyren – Beitrag zur Genese und Exploration von Sn-W-Mo-, Ag-Polymetall- und U-Lagerstätten am NW-Rand des Böhmisches Massivs (Deutschland, Tschechische Republik). Kumulative Habilitation an der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau der TU Bergakademie Freiberg, 2007

## Zwei Gedenktafeln „aufpoliert“

Der Verein hat eine Schriftenauffrischung für zwei seiner gestifteten Gedenktafeln vorgenommen:

### Friedrich Wilhelm von Ooppel

Die Tafel befindet sich am Kreuzgang des Freiburger Domes. Sie wurde am 24. November 1995 unter Anwesenheit von vier Nachkommen des Oberberghauptmanns und Mitbegründers der Bergakademie enthüllt.



### Johann Carl Freiesleben

Die Tafel ziert das Geburts- und Wohnhaus am Untermarkt 7. Ihre Einweihung fand zum 150. Todestag von Freiesleben (1774–1846) im Rahmen eines Ehrenkolloquiums anlässlich des Berg- und Hüttenmännischen Tages am 15. Juni 1996 statt.



Die Polierarbeiten wurden vom Sächsischen Metallwerk Freiberg GmbH durchgeführt. Fotos (2): Jens Meister

## Unser Verein wurde am 25. Juli 2010 20 Jahre alt (gerechnet ab seiner Wiedergründung im Jahr 1990)

Er ist anlässlich der 225-Jahr-Feier der Bergakademie unter Federführung und auf Initiative von Professor Werner Arnold (†) unter dem Rektorat von Professor Horst Gerhardt wiedergegründet worden. Die ursprüngliche Gründung erfolgte am 3. Dezember 1921, sodass wir im Jahr 2011 unser 90-jähriges Bestehen feiern können. Das ist doch ein würdiges Alter – zwar nicht so historisch wie unsere bald 250 Jahre alte Bergakademie, aber immerhin nähern wir uns schon dem hundertjährigen Jubiläum!

# Erinnerung an M. W. Lomonossow – Das neue Denkmal –



Platz mit Denkmal. Foto: Autor

Seit dem 17. März 2010 bereichert ein neues Denkmal das Stadtbild unserer traditionsreichen Berg- und Universitätsstadt Freiberg. Es erinnert an den großen russischen Universalgelehrten und Gründer der Moskauer Universität, Michail Wassiljewitsch Lomonossow (1711–1765), welcher in den Jahren 1739/40 an Freibergs Bergakademie studierte.

Über die breit gefächerten Leistungen und die Bedeutung des Geehrten in der Welt der Wissenschaft soll hier nicht weiter berichtet werden. Im Frühjahr 2009 trat der VFF mit der Bitte um Erarbeitung einer Studie zur Erstellung dieses Denkmals auf dem Lomonossow-Platz an der Talstraße an unser Büro heran. Dies war für mich als Architekt keine alltägliche Aufgabe; die Möglichkeit der Gestaltung außerhalb der üblichen komplexen Bauvorschriften und -normen war jedoch reizvoll, weshalb ich spontan zusagte.

Die Studie fand Anerkennung, und so erhielt ich im September 2009 von den gemeinsamen Initiatoren des Vorhabens im VFF e.V. (vertreten durch Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Kretzschmar) und des MISIS e.V. (vertreten durch Herrn Prof. Dr. Scharf) den Auftrag zur ausführungsreifen Qualifizierung des Entwurfs mit Organisation von Genehmigung und Realisierung. Gleichzeitig erhielt der Freiburger Steinmetz- und Steinbildhauermeister Goral, den ich schon frühzeitig beratend in die Planung einbezogen

hatte, den Auftrag zur handwerklichen Ausführung. Grundlage und Kern des Vorhabens war die Schenkung einer Bronzestatuette Lomonossows durch MISIS Moskau. Diese Kopie der vom bekannten russischen Bildhauers Nikolaj Tomskij geschaffenen Büste wurde in Moskau am Lehrstuhl für Gießverfahren der NITU MISIS gefertigt. Das nunmehr fertiggestellte Denkmal wurde dankenswerter Weise von Gazprom Berlin gesponsert.

Nach Bewertung der örtlichen Situation und Gegebenheiten fiel die Festlegung des geeigneten Standortes auf dem Platz relativ leicht. Die Betrachtungsseite der Büste ist auf die Hauptzugänge des Platzes ausgerichtet, die Rückseite liegt vor einem fensterlosen Bereich einer Gebäudefassade. So entstand zusammen mit der 2005 erfolgten Platzneugestaltung eine spannungsvolle räumliche Situation, ohne wesentliche Beeinträchtigung der Ausblicke aus den anliegenden Erdgeschosswohnungen.

Die eigentliche Herausforderung war, für die deutlich zu kleine Büste einen geeigneten, zeitgemäßen „Rahmen“ zu schaffen, der ohne vordergründigen, eigenen künstlerischen Anspruch ein maßstäblich stimmiges Ensemble auf dem Platz ergibt.

Die nach einigen Variantenuntersuchungen vorgeschlagene Stele als plattenartiger Quader mit der in einem fensterartigen Durchbruch platzierten Büste

stieß anfangs seitens der Initiatoren auf Skepsis. Nach einigen Aufklärungsgesprächen gelang es jedoch, diverse Vorbehalte restlos zu zerstreuen. Dabei war ein von Herrn Goral erstelltes einfaches Modell im Originalmaßstab sicher ausschlaggebend. Damit wurden direkt am geplanten Standort die tatsächlichen Größenverhältnisse samt Entwurfsidee sehr gut verdeutlicht. So konnte letztendlich das Entwurfsziel der angemessenen Präsenz des Denkmals auf dem Platz bei einer in der optimalen Betrachtungsposition angeordneten Büste, erreicht werden.

Als Material fand der vorgeschlagene Sandstein als orts- und regionaltypisches Baumaterial allgemeine Zustimmung. Nach Empfehlung durch Herrn Goral fiel die Wahl auf das aufgrund seiner Härte, Homogenität und Resistenz sehr gut geeignete Material aus dem Postaer Steinbruch südöstlich von Dresden in der Sächsischen Schweiz. In der gewählten hellbeigen Bildhauerqualität mit feiner, lebendiger, rotbrauner Bänderung ließ sich auch die gewünschte und für die Höhe der Stele von ca. 2,70 m relativ dünne Platte verwirklichen und deren fachgerechte Verankerung rechnerisch nachweisen.

Aufgrund der geplanten Aufstellung des Denkmals im voraussichtlich noch winterlichen März musste für die Montage eine weitgehend temperatur- und witterungsunabhängige Technologie gewählt werden. So wurde die Stele dann tatsächlich bei Schnee und Kälte mittels Spezialklebstoff und Edelstahlstabanker auf dem bereits vor der Frostperiode vorbereiteten Fundament verankert. Die Enthüllung und feierliche Einweihung durch die Rektoren der Moskauer Universitäten Prof. Sadovnichy und Prof. Livanow, Oberbürgermeister Schramm und den Rektor der Bergakademie, Prof. Meyer, fand dann bei schon wesentlich freundlicherem Wetter statt.

Dass am Ende dieses manchmal nicht einfachen Weges allgemeine Zufriedenheit herrscht, ist auch der immer angenehmen und konstruktiven Zusammenarbeit mit den Initiatoren sowie mit den maßgeblichen Ämtern der Stadtverwaltung Freiberg geschuldet. Weitere Denkmalprojekte zur Erinnerung an wichtige Persönlichkeiten aus der Geschichte der Bergakademie sind im Rahmen des über mehrere Jahre angelegten Projekts „Gelehrtenweg“ durch den VFF im Bereich Albertpark/Kreuzteiche in Vorbereitung.

■ Bernhard Maier, Architekt

## Exkursion Freiburger Bohrtechnikstudenten zur Wiege der modernen Bohrtechnik nach Texas und Louisiana September/Oktober 2009

Wir starteten am 26. September 2009 unsere Exkursion in Dresden in Richtung Austin. Über Frankfurt und Washington erreichten wir nach einer 32h-Reise Austin und fuhren mit am Flughafen erhaltenen Mietwagen in unsere erste Unterkunft. Am Sonntag hatten wir einen freien Tag und nutzten diesen, um uns vom Reisetstress zu erholen und die Stadt Austin zu erkunden.

Montag hatten wir unsere erste offizielle Firmenbesichtigung bei Brigham. Dort wurden wir herzlich von Mr. Plappert empfangen, der uns zunächst die Firmengeschichte und dann als Hauptthema die Kohlenwasserstoffexploration erläuterte. Im Anschluss an diesen Vortrag begleitete er uns zum Geophysikalischen Institut der University of Texas in Austin. Mitarbeiter des Instituts gaben uns dort Einblick in ihre Forschungs- und Lehrräume, und wir bekamen eine Einführung in die geophysikalischen Untersuchungen im Golf von Mexiko. Danach besuchten wir noch das Institut für Petroleum Engineering der University of Texas.

Am 29. September waren wir bei der Firma Halliburton und Baroid zu Besuch. Nach der Besichtigung der Manufaktur von Halliburton folgte der Rundgang durch die Spülungslaboratorien von Baroid Production Service Line. Einen überraschenden Abschluss fand unsere Tour im Bioassay Labor. In diesem werden Shrimps, Fische und Algen gezüchtet. An ihnen werden Wasserkontaminationstests in Bohrspülungen, Lagerstättenwässern und produzierten Wässern durchgeführt.

Am 30.9. machten wir uns auf den Weg nach Houston und besuchten die Firma Hughes Christensen. In den Fertigungshallen wurden uns zunächst die Fertigungen der Warzen- und Zahnmeißel nähergebracht. Es war sehr beeindruckend zu sehen, wie aus rohen Gussteilen und ein paar kleinen Wolfram-Carbid-Warzen bzw. speziell gehärteten Zähnen ein Meißel entsteht. Da es sich hierbei schon um sehr komplexe Tools handelt, war es sehr hilfreich für unser allgemeines Verständnis, zu sehen, wie ein solcher Meißel tatsächlich gefertigt wird. Danach folgte eine Firmenpräsentation

des Unternehmens Weatherford. Unser Besuchsprogramm enthielt drei Vorträge und eine Werksführung. Steve Rogers gab uns einen Überblick über die Unternehmensstruktur und die Tätigkeitsbereiche. Der zweite Vortrag von Igor Stankovic aus dem Bereich Sicherheitszertifizierung war auf die europäische CE-Zertifizierung fokussiert, die mittlerweile weltweite Akzeptanz gefunden hat. Um die Umsetzung der Richtlinien zu veranschaulichen, gab uns der Referent einige konkrete Beispiele aus seiner beruflichen Praxis. Thomas Koithan, der an der Uni Clausthal studiert hat und jetzt im Bereich Softwareentwicklung für Tools und Rigfloor Equipment arbeitet, schilderte uns seinen beruflichen Werdegang und gab Einblicke in einige seiner Projekte. Die abschließende Werksführung wurde von Robert Bowlin geleitet. Uns wurden verschiedene Packer und Spezialwerkzeuge, wie z.B. Casing Exit Tools, gezeigt und ausführlich erklärt. Im Anschluss wurden wir durch Werkshallen und die Testabteilung geführt.

Am darauffolgenden Tag besichtigten wir das „Sugar Land“-Gelände der Firma Schlumberger. Dort empfing uns Mr. Taherian. Er gab uns einen geschichtlichen Abriss der Firmenentwicklung, einen Überblick über das Profil, die Produkte

### Der Verein unterstützt ...

Die folgenden Beiträge demonstrieren anschaulich das Engagement unseres Vereins zur Unterstützung von Studium und Forschung durch finanzielle Förderhilfe für Studenten und Nachwuchswissenschaftler bei Auslandsaufenthalten im Rahmen von Qualifizierungsarbeiten, Praktika, Exkursionen, bei Besuchen bzw. der Organisation von Workshops und Tagungen.

sowie die Philosophie des Unternehmens. Das Kerngeschäft umfasst die Entwicklung und Fertigung von Bohrloch-Mess-ausrüstungen. Aber auch Bohrlochkomplettierung und Lagerstättenexploration gehören zu den angebotenen Dienstleistungen. Anschließend zeigte uns Mr. Ramos die Manufaktur für die MWD- bzw. LWD-Fertigung, die wir leider nur durch eine Glasscheibe besichtigen durften, da der Zutritt aufgrund der hochwertigen Werkstoffe verboten war. Den Rest des Tages nutzten wir, um Houston zu erkunden und shoppen zu gehen.

Der 2. Oktober stand im Zeichen der Raumfahrt mit einem Besuch des Lyndon B. Johnson Space Centers in Houston. Mit der Tram fuhren wir durch das NASA-Gelände und besichtigten die verschiedenen Kontroll- und Trainingsräume. Höhepunkt war die Besichtigung der 110 m langen Saturn 5-Rakete, welche nach vielen Jahren im Freien nun in einer riesigen Halle untergebracht ist. Nach dem Mittagessen verbrachten wir den Nachmittag im Un-



Besuch der Firma Weatherford mit Besichtigung der werkseigenen Bohranlage zum Testen der Tool-Prototypen

terhaltungsteil des Space Centers, eine Art „Disneyland der Wissenschaft“.

Den folgenden Tag nutzten wir für einen Besuch des Offshore Drilling Rigs und Museums „Ocean Star“. Das Museum ist in einem stillgelegten Jackup Rig untergebracht. Es bietet auf drei Ebenen neben der klassischen Bohrtechnik einen speziellen Einblick in die Exploration und Förderung von Erdöl und Erdgas im Offshorebereich. Dies wird mittels vieler Modelle von Transport-, Versorgungs- und Bohrschiffen sowie Ölbohrinseln aus verschiedenen Jahrzehnten sehr gut veranschaulicht. Der Tag klang mit einem ausgedehnten Besuch am Strand des Golfes von Mexiko bei angenehm warmen Luft- und Wassertemperaturen und bis zu zwei Meter hohen Wellen aus.

Am 4.10. machten wir uns dann auf den Weg nach New Orleans, um dort die alljährliche ATCE (Annual Technical Conference and Exhibition) der SPE zu besuchen. Unterwegs machten wir Halt, um die historische Bohrung Spindletop zu besichtigen. Auf der ATCE waren insgesamt elf Firmen vertreten, darunter auch große Servicefirmen wie Baker Hughes, Schlumberger und Halliburton sowie BP America und Chevron. Auch am 5.10. besuchten wir die ATCE. Am Tag darauf sind wir von New Orleans nach Berwick gefahren, um beim Unternehmen Cameron zu Gast zu sein. Das Unternehmen

wurde uns vorgestellt. Wir hörten einen Vortrag über eine Unterwasser-Produktion, über Aufgaben der einzelnen Bauteile und über die generelle Organisation des Systems. Danach besichtigten wir das Firmengelände und sahen die einzelnen Bauteile. Anschließend kehrten wir wieder nach New Orleans zurück.

Unsere Weiterfahrt führte uns gen Westen nach Baton Rouge, der Hauptstadt von Louisiana, zur zweitgrößten Erdölraffinerie der USA, die von Exxon Mobil Refining & Supply betrieben wird. Nach freundlicher Begrüßung durch Jacques C. Robert, unseren Tour-Guide, bestiegen wir einen Bus für unsere Führung über die 8,5 km<sup>2</sup> umfassende Anlage. Auf einer einstündigen Fahrt über das Raffineriegelände erfuhren wir viel Wissenswertes über die Geschichte der Anlage sowie die aus Rohöl hergestellten Fertig- und Zwischenprodukte. Der Rest des Tages stand unter dem Motto „Shopping und Sightseeing“.

Bevor wir am 8.10. erneut New Orleans ansteuerten, haben wir noch die University of Louisiana in Lafayette besucht. Dort wurden wir freundlich von Mr. Boyun begrüßt, welcher als Drilling-Professor an der Uni tätig ist. Davor hat er selbstständig als Directional Driller gearbeitet und somit Praxiserfahrung gewonnen. Mr. Boyun begann mit einer Tour durch Laboratorien. Insgesamt gab

es sechs Laboratorien, in welchen die Studenten bis zum Bachelorabschluss Versuche durchführen und den Lehrstoff sehr anschaulich vermittelt bekommen. Darunter sind zum Beispiel ein Drilling-Fluid-Lab, ein Reservoir Mechanics Lab und zwei Drilling Labs. Er ermöglichte uns ebenfalls einen Besuch bei einer Offshore Trainingseinrichtung und der Servicefirma Frank's. Wir machten eine ausführliche Tour durch das gesamte Firmengelände und die Fertigungshallen. Frank's International fertigt vor allem Casing/Tubing-Running-Tools und bietet den gesamten Service dazu an. Auf unserem Rundgang konnten wir eine Vielzahl der gängigen Tools aus nächster Nähe begutachten. Darunter waren unter anderem Hydraulic Tongs, Slips, Iron Roughnecks, Diesel/Hydraulic Hammers (Conductor Pipe Installation), Stabright Systems. Dieser Tag war ein wirklich gelungener Abschluss für den offiziellen Teil unserer Reise. Von New Orleans aus ging es wieder auf die Heimreise.

Wir möchten uns bei allen bedanken, die uns diese Exkursion ermöglicht haben. Ein besonderer Dank geht dabei an die zahlreichen Spender und die Unternehmen, die wir auf der Exkursion besuchen durften. Ohne ihre Hilfe wäre eine so spannende und lehrreiche Exkursion nicht durchführbar gewesen.

■ Caroline Kannwischer

## Lagerstätten von Peru – 2009

**Exkursion des Bereichs Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg und des SEG Student Chapter Freiberg** Thomas Seifert

Vom 14.9. bis 5.10. 2009 führten der Bereich Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg und das SEG Student Chapter Freiberg (Society of

Economic Geologists) eine lagerstätten-geologische Exkursion nach Peru durch. Daran nahmen 22 Studenten aus Freiberg und zwei Studenten aus Peru unter

Leitung von PD Dr. habil. Thomas Seifert teil (Abb. 1).

Der Kontinent Südamerika besteht aus grundsätzlich verschiedenen geologischen Einheiten: Im Osten prägen archaische Kratone und spätproterozoische mobile Gürtel sowie ein passiver Kontinentalrand die geologischen Verhältnisse. Im Westen dominieren das relativ



Abb. 1: Exkursionsgruppe und Hauptgeologin von Pierina (Barrick Gold) auf der Aussichtsplattform des Au-Ag-Erztagebaus, 4177 m ü. NN. Fotos (2): Autor

junge Anden-Orogen (Mesozoikum und Tertiär) und eine aktive Subduktionszone die geologische und metallogenetische Situation.

Die aktiven Vulkane der Anden gehören zum sog. „Zirkumpazifischen Feuergürtel“, an den eine Vielzahl von „large“ und „super-large“ Cu(-Au-Mo-), Au-Ag-, Ag-Au-Polymetall- und Sn-Polymetall-Lagerstätten gebunden ist. Die peruanischen Anden zeigen diesbezüglich eine große metallogenetische Vielfalt und ein sehr hohes Rohstoffpotenzial (Abb. 2). Im globalen Maßstab gehört Peru zu den bedeutendsten Exportländern von mineralischen Rohstoffen. Im Jahr 2007 wurden aus Erzlagerstätten in Peru 1 Mio. t Kupfer (6,9% der Weltproduktion/WP), 1,2 Mio. t Zink (12,7% WP), 306.000 t Blei (9,8% WP), 42.000 t Zinn (15,3% WP), 3000 t Silber (15,2% WP) und 173 t Gold (7% WP) produziert.

Im Verlauf der Exkursion wurden Bergbau- und Aufbereitungsbetriebe in folgenden Distrikten der peruanischen Anden befahren:

**Yanacocha Au-Ag-Cu-Distrikt** (Minera Yanacocha S.R.I.; 3450–4050 m ü. NN)

Der Lagerstädtendistrikt Yanacocha besteht aus einer Vielzahl von high-sulfidation Au(-Polymetall)-Lagerstätten, die an miozäne intermediäre bis saure Vulkanite gebunden sind und seit 1993 bergmännisch gewonnen werden (Abb. 3). 2003 betrug die Goldvorräte 31,7 moz.

Mit einer jährlichen Produktion von 3,3 moz Au ist die Lagerstätte Yanacocha einer der größten Goldproduzenten von Südamerika und die größte bekannte high-sulfidation Au-Lagerstätte im Weltmaßstab. Die Au-Ag-Cu-Mineralisationen sind an fünf Mineralisationsstadien gebunden, die enge genetische Beziehungen zu andesitischen und dazitischen Domkomplexen mit Ignimbriten, phreatomagmatischen Brekzien und Brekzienschloten (Alter 8,4–12,1 Ma; Calipuy-Formation) aufweisen: (I) niedriggradige Au-Mineralisationen, die mit Cu-Au-Porphyry-Systemen assoziiert sind, (II) Hauptphase der high-sulfidation Au(-Ag)-Mineralisation, (III) Spät-Phase einer hochgradigen Au-Vererzung, (IV) späte Cu(-Au)-Mineralisation mit Covellin und Enargit und (V) Karbonat-Sulfid-Trümer. Die Haupterzzonen sind bevorzugt an den Kontaktbereich der känozoischen Vulkanite zu den liegenden mesozoischen Metasedimenten der Chimu-Formation gebunden.

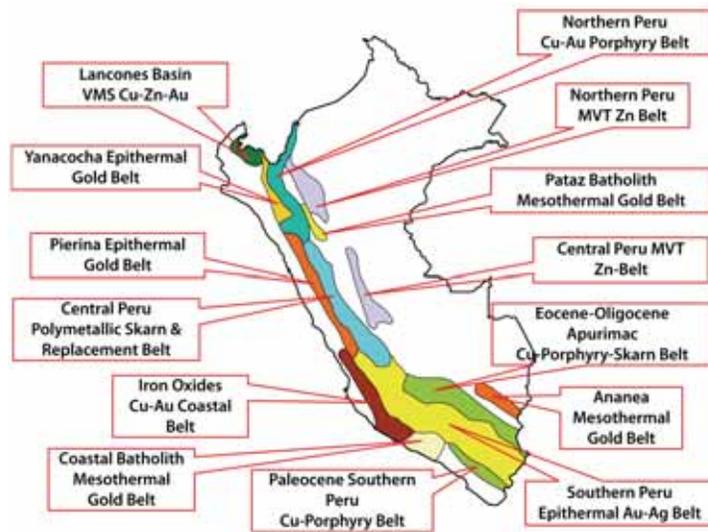


Abb. 2: Die Lagerstädtengürtel von Peru (modifiziert nach Cardozo, 2002)

**Lagunas Norte Au-Ag-Distrikt** (Barrick Gold Corp.; 3800–4200 m ü. NN)

Die Firma Barrick Gold Corp. begann im Rahmen des Alto Chicama Projekts im Jahr 2001 mit der Erschließung der Lagerstätte Lagunas Norte und 2005 mit der Gewinnung von Au-Ag-Erzen. Die Au-Gesamtproduktion betrug im Jahr 2008 1,175 moz (ca. 36,5 t), wobei die Reserven und Ressourcen 230 Mio. t Erz (0,039 oz Au/t) umfassen, aus denen ca. 279 t Gold gewonnen werden können. In den o.g. Reserven wurde ein Ag-Gehalt von 0,11 oz/t Erz prognostiziert, was einem Lagerstätteninhalt von ca. 787 t Silber entspricht. Die high-sulfidation-Au-Ag-Mineralisationen zeigen klare genetische Beziehungen zu miozänen andesitischen Domkomplexen, Brekzien und Tuffen (Calipuy-Formation) und sind bevorzugt an den Kontaktbereich zu den liegenden unterkretazischen Metasedimenten und Kohlen der Chimu-Formation gebunden (vergleichbar mit dem Distrikt Yanacocha).

**Fahrt nach Pierina** mit Stopp in Huaraz: Pyramidenähnliche Bauten eines Mond- und eines Sonnentempels sowie Wohngebäude der Moche-Kultur (1.–8. Jh. u.Z.)

**Pierina Au-Ag-Distrikt** (Barrick Gold Corp.; 3720–4177 m ü. NN)

Die Au-Ag-Mineralisation im Distrikt Pierina wurde von der Barrick Gold Corporation entdeckt und erschlossen, seit 1998 erfolgt der Abbau im Tagebaubetrieb (Abb. 4). Im Jahr 2008 wurden 400.000 oz Au produziert. Die Reserven belaufen sich auf ca. 683.000 oz Au. Silber wird als Nebenprodukt gewonnen, die Reserven und Ressourcen betragen 6,652 moz Ag. Im Jahr 2009 begann die geplante Produktion aus niedrighaltigen Erzkörpern, da sich die Mine im Auslaufbetrieb befindet. Die Au-Ag-Mineralisationen und Alterationszonen im Distrikt Pierina sind überwiegend in oberflächennahen extrusiven Bimstufen sowie untergeordnet in einem älteren dazitischen Dom-Komplex ausgebildet.



Abb. 3: Begutachtung und Probenahme von Au-Ag-Cu-Erzen im Tagebau Yanacocha, Sur Pit 2

Abbauwürdige Au-Vererzungen sind vorwiegend an Zonen fortgeschrittener argilitischer Alteration gebunden (mit Alunit- oder Quarz-Alunit-Mineralisation), die vor allem im Zentral- und Südtteil der Lagerstätte ausgebildet sind und mehrfach von hydrothermalen Brekzien durchschlagen werden. Im Norden der Lagerstätte treten Erzkörper mit Gehalten von bis zu 150 g/t Ag auf.

**Antamina Cu-Zn-Ag-Mo-Bi-Pb-Distrikt** (Compañía Minera Antamina S.A.; 4190–4600 m ü. NN)

Die Cu-reichen Erze der „very large“ Cu-Zn-Porphry-Skarn-Lagerstätte Antamina (anta: Kupfer auf Quechua), die auch signifikante Mengen an Ag, Mo, Pb und Bi beinhaltet, wurden schon vor der spanischen Kolonialisierung von den ansässigen Bewohnern genutzt. Seit 2001 werden in einem der modernsten Bergbaubetriebe Südamerikas Cu-Ag- und Zn-Konzentrate sowie Pb, Mo und Bi als Beiprodukte produziert. Der jetzige Abbau erfolgt in einem gigantischen Tagebau, der zum Zeitpunkt der Exkursion eine Teufe von ca. 600 m erreicht hatte (Abb. 5). Dieser soll 2028 eine Fläche von 3 × 3,5 km und eine Tiefe von 1 km erreichen. Danach soll der Abbau im Untertagebetrieb erfolgen. Die z. T. sehr reichen Polymetall-Vererzungen der Porphyry-Skarn-Lagerstätte Antamina (Alter: 9,9–10,2 Ma) sind ursächlich an eine polystadiale, subvulkanische Quarz-Monzonit-Porphry-Intrusion (9,8 Ma) gebunden, die in oberkretazische Metakarbonate intrudierte. Die somit gebildeten Skarnerzkörper beinhalten ca. 755 Mio. t Polymetallerz mit durchschnittlichen Gehalten von 1,24–5 wt.% Cu, ca. 1 wt.% Zn,

0,029 wt.% Mo und ca. 15 g/t Ag (berechnet bei 0,7 wt.% Cu cutoff grade). Hydrothermale Brekzien mit erhöhten Cu-, Ag- und lokal hohen Mo- und/oder Zn-Konzentrationen durchschlagen alle bekannten Skarnerz-Typen.

**Fahrt nach Raúl und Condestable** via Caral und Lima (23.9. Treffen mit Professoren und Studenten der Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima und Kollegen von Explorationsfirmen). Die Pyramidenstadt Caral gilt als älteste Stadtanlage Amerikas (ca. 2600–1600 v. u. Z.).

**Raúl und Condestable Cu-Au-Ag-Distrikt** (Iberian Minerals Corp., Compañía Minera Condestable S.A.A.; 70–200 m ü. NN, Pazifikküste in Sichtweite)

Die Cu-Au-(Ag)-Mineralisationen im Distrikt Raúl und Condestable werden genetisch dem Iron-Oxide-Copper-Gold-Typ zugeordnet. Während die Lagerstätte Condestable im Tagebau gewonnen wird, erfolgt der Abbau der Lagerstätte Raúl im Tiefbau. Die Vorräte werden mit mehr als 32 Mio. t Erz (1,7 wt.% Cu, 0,3 g/t Au und 6 g/t Ag) angegeben. Darüber hinaus wurden erhöhte Gehalte von Co, Mo, Zn, Pb, As und leichten Seltenelementen nachgewiesen. Die ältesten Gesteine des Distrikts Raúl und Condestable sind jurassische und kreidezeitliche vulkano-sedimentäre Abfolgen des Cañete-Beckens (Teilbecken des westperuanischen Troges), in die verschiedene Tonalit- und Dolerit-Dikes im Zeitraum 116–115 Ma intrudierten. Die Vererzung ist genetisch an die o. g. Intrusionen, die vermutlich mit einem metasomatisch überprägten Mantel assoziiert sind, gebunden. Die Vererzungen sind in Gän-

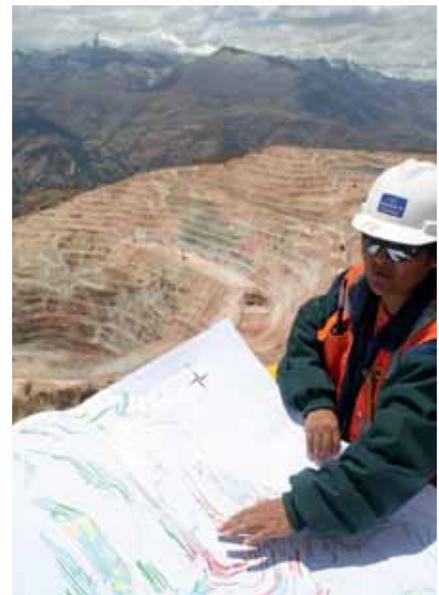


Abb. 4: Au-Ag-Lagerstätte Pierina. Erläuterung der Geologie des Tagebaus durch die Hauptgeologin

gen, Mantos und Imprägnationszonen in folgender Mineralasoziation ausgebildet: Biotit-Aktinolith-Skapolith-Quarz-Titanit-Allanit-K-Feldspat-Apatit-Muskovit-Hämatit-Magnetit-Molybdänit-Sphalerit-Pyrrhotin-Pyrit-Galenit-Chalkopyrit-ged. Au-Chlorit.

**Fahrt nach Orcopampa** (26.–29.9.) via Cusco (die ehemalige Hauptstadt des Inka-Reichs) und Aquas Caliente (Machu Pichu).

**Orcopampa Ag-Au-Distrikt** (Compañía de Minas Orcopampa/Compañía de Minas Buenaventura S.A.; 3800–3940 m ü. NN)

Die epithermalen Ag-Au-Gangvererzungen im Lagerstättendistrikt Orcopampa wurden seit der spanischen Kolonialzeit bis ins 20. Jh. auf Silber abgebaut. 1967 begann durch die Compañía de Minas Buenaventura S.A. ein moderner Tiefbau. In den späten 1980er Jahren stieg die Produktion von 70 t Erz/d auf mehr als 1000 t/d, wobei die Gewinnung hauptsächlich im Calera-Gangsystem erfolgte. 1991 wurde der erste epithermale Au-Erzgang im Bereich des Prometida-Gangsystems entdeckt. Infolge von Explorationsarbeiten im Bereich weiterer neuer Erzgänge im Nazareno-Gangsystem (Entdeckung 1998) stieg die Produktion auf über 1,6 Moz Au im Jahr an.

Unsere ersten beiden Stopps führten uns zum Nazareno-Gang im Niveau des 3290-Levels der Chipmo-Lagerstätte. Die reichen Au-Erze der Chipmo-Lagerstätte sind an epithermale Au-Tellurid-Mineralisationen gebunden, die genetisch an



Abb. 5: Haupttagebau der Cu-Zn-Ag-Mo-Bi-Pb-Porphry/Skarn-Lagerstätte Antamina. Fotos (2): Autor

miozäne, andesitische und dazitische Intrusionen gebunden sind. Der im Bereich des Nazareno-Gangs vorkommende Andesit-Dike ist durch starke Alteration (z. B. Alunit) und assoziierte Au-Mineralisationen charakterisiert. Die Hauptminerale sind Pyrit und Milchquarz. Der durchschnittliche Au-Gehalt beträgt 20 g/t. Typische Au-, Ag- und Te-Mineralien sind ged. Au und Elektrum sowie Au-, Au-Ag-, Ag- und Bi-Telluride und ged. Tellurium. Hydrothermale Au(-Ag)-Tellurid-Lagerstätten sind geotektonisch bevorzugt an intermediäre (shoshonitische) Intrusionen im Bereich von Subduktionszonen (z. B. Au-Te-Mineralisationen in Fiji und Rumänien) gebunden. In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass Chipmo auf dem südamerikanischen Kontinent die einzige bekannte Lagerstätte mit intensiven Au- und Ag-Tellurid-Mineralisationen ist.

#### Arcata Ag-Au-Polymetall-Distrikt (Compañía Minera Ares S.A.C./Hochschild Mining plc; 4600–5000 m ü. NN)

Ca. 35 km nördlich des Distrikts Orcopampa befindet sich der Lagerstättendistrikt Arcata, dessen Ag-Au-Polymetall-Gangmineralisationen dem „intermediate sulfidation“-Typ zugeordnet werden. Hochschild Mining plc ist mit einer Ag-Gesamtproduktion von 13,6 mozt in Peru, Argentinien und Mexiko (Stand 2007) einer der großen Ag-Produzenten in Lateinamerika. Au wird als Nebenprodukt gewonnen (2007: 210 koz Au). Arcata war die erste Ag-Mine von Hochschild Mining plc in Südamerika. Der Bergbau begann hier im Jahr 1964. Die Gesamtreserven beliefen sich im Dezember 2007 auf nachgewiesene Vorräte von 1,84 Mio. t Erz (476 g/t Ag, 1,19 g/t Au) und prognostische Vorräte von 3,58 Mio. t Erz (526 g/t Ag, 1,41 g/t Au). Im Jahr 2009 wurden in Arcata 643.059 t Erz (503 g/t Ag, 1,56 g/t Au) mit der konventionellen und mechanisierten „cut-and-fill breast und sublevel stoping“-Methode gewonnen. Durch Flotation wurden 22.352 t Konzentrat mit 13,36 kg Ag/t und 0,04 kg Au/t produziert, woraus 9,542 mozt (296,78 t) Ag und 28,64 koz (890,8 kg) Au hergestellt wurden. Die Ag(-Au)-Erzgänge sind sehr wahrscheinlich mit rhyolithischen Lavadomen und rhyodazitischen Dikes (Alter: ca. 6–5,5 Ma) assoziiert, die in obermiozäne andesitische Flows, Ignimbrite und Vulkanoklastite intrudiert sind (Abb. 6). Dies belegen Altersdatierungen der jüngsten

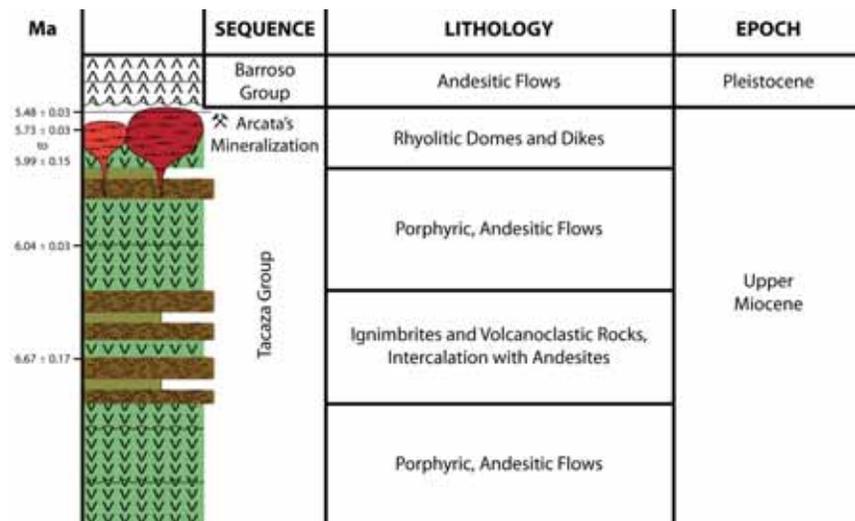


Abb. 6: Zeitliche Abfolge der (Sub)Vulkanite und assoziierten Ag(-Au)-Mineralisationen im Arcata-Distrikt. Schematische Intrusion in dunkelrot: rhyolithische Lavadome; Intrusion in hellrot: rhyodazitische Dikes (verändert nach Hochschild Mining plc)

Ag-führenden Mineralisationen (Ar-Ar-Alter von Adular:  $5,48 \pm 0,03$  Ma).

Die Exkursion begann mit der Befahrung des Ag(-Au)-führenden Polymetall-sulfid-Erzganges Solidad Sur in der Ag-führenden „base metal zone“, die in den tiefsten Abbaufeldern der Lagerstätte aufgeschlossen ist. Die Mineralisationen der „base metal zone“ sind mit dem „kb-Erztyp“ im Zentralteil des Distrikts Freiberg/Erzgebirge vergleichbar. Anschließend wurde der Ag-Erzgang Rosita-West in der „Sb-Ag zone“ befahren. Die z.T. extrem Ag-reichen Erzgänge der „Sb-Ag zone“ von Arcata zeigen in ihrer mineralogischen und geochemischen Charakteristik eine bemerkenswerte Ähnlichkeit zum Ag-reichen „eb-Erztyp“ im Lagerstättenrevier Brand-Erbisdorf (Distrikt Freiberg). Weiterhin wurden die Aufbereitung (Flotation) und übertägig anstehende epithermale Erzgänge in ca. 5000 m ü. NN befahren.

#### Cerro Verde Cu-Mo-Distrikt (Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.; 2710–2770 m ü. NN)

Die zum Cerro Verde-Distrikt gehörenden Tagebaue, Cerro Verde und Santa Rosa, befinden sich im paläozänen, südperuanischen Porphyry-Cu(-Mo)-Gürtel. Während die Lagerstätte Santa Rosa ausschließlich an paläogene Granitoide gebunden ist, ist die Lagerstätte Cerro Verde im Kontaktbereich von paläogenen Granitoiden und präkambrischen Gneisen („Charcani Gneis“) ausgebildet. Die dazitischen und monzonitischen Porphyry-Intrusionen von Cerro Verde und Santa Rosa wurden vor ca. 61 bis 62 Ma

gebildet. Das Alter der hydrothermalen Aktivität wird ebenfalls mit 61–62 Ma angegeben. Die Lagerstätten Cerro Verde und Santa Rosa beinhalten Vorräte von ca. 595 Mio. t Erz mit 0,6 wt.% Cu. Vorherrschende Cu-Mineralien der Oxidationszone sind Brochantit, Chrysokoll und Malachit, während Chalkosin und Covellin typische Bildungen der Zementationszone sind. Primäre Sulfidminerale sind Chalkopyrit und Molybdänit. Im Bereich des Haupt-Turmalin-Brekzienkörpers beeinflussten supergene Prozesse die Lagerstätte Cerro Verde bis in eine Tiefe von über 300 m.

**Danksagung:** Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Kolleginnen und Kollegen der o.g. Bergbaugesellschaften und bei Frau Prof. Silvia Rosas Lizarraga von der Pontificia Universidad Católica del Perú in Lima für die Organisation und Unterstützung sehr herzlich bedanken. Für die finanzielle Unterstützung der Exkursion danken wir den Firmen KSL – Kupferschiefer Lausitz und MIBRAG sowie der Society of Economic Geologists (SEG) und der International Association on the Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Wir danken terra mineralia und der TU Bergakademie Freiberg sowie dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. für ihre freundliche Unterstützung. Weiterhin danken wir unseren Busfahrern aus Lima, die mit ihrem Reisebus Unmögliches möglich machten sowie der Firma Shangri La Freiberg. Unser allerherzlichster Dank gilt Frau Manuela Wagner vom Bereich Lagerstättenlehre und Petrologie für die Unterstützung bei der organisatorischen Vorbereitung dieser Exkursion.

#### Referenzen

Die verwendeten Quellen sind im Vor- und im Nachbericht „Lagerstätten von Peru – 2009“ (TU Bergakademie Freiberg, 2009, 2010) enthalten. Die Exkursionsberichte sind auf der Webseite [www.mineral.tu-freiberg.de/econgeology/index.html](http://www.mineral.tu-freiberg.de/econgeology/index.html) veröffentlicht.



Blick in eine der vier Posterhallen

## EGU 2010 Wien

Bei der größten europäischen Konferenz der Europäischen Geowissenschaftlichen Union (EGU) im Bereich der Geowissenschaften werden aktuelle Forschungsergebnisse zwischen Wissenschaftlern aus aller Welt ausgetauscht. Wie ergeht es einem werdenden Diplom-Geologen aus Freiberg auf so einer Konferenz (2. bis 7. Mai 2010 in Wien)?

Von Studenten und Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg wurden vier Vorträge gehalten und sechs Poster präsentiert. Es fiel häufig nicht leicht, sich zwischen den angebotenen Vorträgen zu entscheiden. Als Student des letzten Diplom-Geologie-Jahrgangs habe ich auf der

Tagung ein Poster präsentiert, das die Ergebnisse meiner Abschlussarbeit vorstellt. Dieses habe ich in Kooperation mit dem Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) angefertigt: „Entwicklung eines gebogenen Falten- und Überschiebungsgürtels, verursacht durch zwei Indenter (rigide Krustenblöcke)“. Diese Aufgabenstellung wurde durch strukturgeologische Analogversuche, sogenannte Sandkastenexperimente, umgesetzt. Das Vorhaben wurde vom Verein Freunde und Förderer der TU BAF mit einem Reisekostenzuschuss unterstützt.

Interessierte Strukturgeologen wollten die Motivation und die Ergebnisse meiner Arbeit erläutern, was immer zu sehr interessanten Diskussionen

führte. Insbesondere gab es viele Anregungen von Teilnehmern, die die gleiche Methodik der Analogmodellierung anwenden. Im Anschluss an den offiziellen Teil der Tagung konnten die Teilnehmer der Veranstaltungsreihe, die sich mit der analogen und numerischen Modellierung tektonischer Prozesse im Krustenmaßstab beschäftigte, in einer Gaststätte im Wiener Zentrum weiter diskutieren.

Der Besuch einer solch großen Tagung vermittelt sehr wichtige Erfahrungen. Er bietet die Möglichkeit, Kontakte zu knüpfen und aktuelle Forschungen kennenzulernen. Darüber hinaus lernt man viel zur Präsentation seiner eigenen Forschungsergebnisse vor Fachpublikum.

■ Karsten Reiter

## Forschungsarbeit in Brasilien

**Abschätzung des Stammholzvolumens und des Blattflächenindex im Rahmen eines umfassenden Entwaldungsmonitorings, basierend auf Hyperspektraldaten im Tapajós Nationalpark, Brasilien**

Über die Auswirkungen der Zerstörung der tropischen Regenwälder in Brasilien und anderen tropischen Ländern, wie z.B. Kongo oder Indonesien, wird bereits seit den 1980er Jahren im Kontext mit der internationalen Umweltpolitik diskutiert. Die Fernerkundung kann in diesem Zusammenhang einen wichtigen Beitrag leisten, insbesondere was das Entwaldungsmonitoring betrifft.

Die präzise Abschätzung von Holzressourcen (z.B. Blattoberflächen und Stammholzvolumen) ist für die Forstwirtschaft von größter Bedeutung. Blattoberflächen tragen maßgeblich zur Sauerstoffproduktion durch Photosynthese und folglich zum Pflanzenwachstum bei. Dementsprechend dient der Blattflächenindex auch als Größe zur Quantifizierung des Gasaustausches „Biosphäre-

Atmosphäre“. Das Stammholzvolumen hingegen gibt an, wieviel CO<sub>2</sub> in einem bestimmten Waldgebiet zu einer bestimmten Zeit pro Hektar potenziell vorhanden ist. Eine integrative Betrachtung der tropischen Regenwälder in Brasilien erlaubt ein grundlegendes Verständnis der Einflüsse der Entwaldung auf den menschlichen Lebensraum. Es sollen insbesondere Veränderungen im Wasserhaushalt, des Hochwasserrisikos, der Hanginstabilität und von Erosionsprozessen, die wiederum in Zusammenhang mit der Geodynamik, dem Klima und den gekoppelten Prozessen zu sehen sind, betrachtet werden. Da Daten durch das deutsche „Environmental Mapping and Analysis Programme“ (EnMAP; DLR/GFZ) erst ab 2014 operationell zur Verfügung stehen werden, arbeiten wir mit

vergleichbaren Daten (z. B. Chris/Proba; Hyperion/EO-1), die bereits verfügbar sind.

Im ausgewählten Untersuchungsgebiet in Brasilien (Abb. 1) wurden biophysikalische Kenngrößen von einzelnen Teilgebieten verschiedener Sukzessionsstufen in einer Geländearbeit von August bis September 2009 ermittelt (Abb. 2).

Sukzession ist die Aufeinanderfolge verschiedener Entwicklungsstufen eines Ökosystems, die durch die Ausbildung charakteristischer Biozönosen (Lebensgemeinschaften) unter dem Einfluss von sich verändernden abiotischen Umweltfaktoren zustandekommt.

Im zu untersuchenden Gebiet gelten Rinderfarmen, Thapiokaanbau und Holzextraktion als die drei Hauptgründe für Rodungen. Durch unterschiedliche äußere Einflüsse, wie zum Beispiel die Einwirkung des Menschen, kann die Forstsukzession verzögert oder sogar verhindert werden. Die Landschaft stellt dementsprechend ein Mosaik aus Gebieten verschiedener Forstsukzessionsstu-

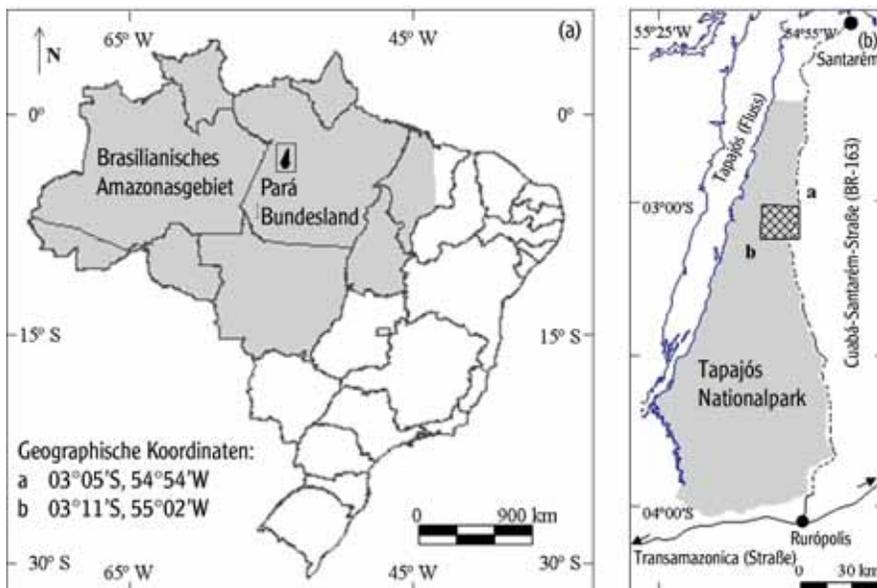


Abb. 1: (a) Das Bundesland Pará inmitten des Amazonasgebiets, und (b) das Untersuchungsgebiet im Tapajós Nationalpark



Abb. 2: Forststruktur in einem Urwald (links) und in einem Sekundärforst im Tapajós Nationalpark

fen dar, die durch eine unterschiedliche  $\text{CO}_2$ -Aufnahme charakterisiert sind.

Für das Untersuchungsgebiet existieren kontinuierliche Chris/Proba- und Hyperion/EO-1-Zeitreihen, die zwischen 2001 und 2009 aufgenommen wurden (z. B. Hyperion sogar mit mehr als 20 Bildern). Diese sollen mittels Regressionsverfahren (z. B. least squares regression), spektraler Entmischungsverfahren, spektraler Vegetations- und anisotropischer Indizes, Strahlungstransfer- und Reflektanz-Modellen sowie Klassifikationsverfahren (z. B. Support Vector Machines und Spectral Angle Mapper) analysiert werden. Außerdem soll das derzeitige Potenzial von EnMAP Daten zur präzisen Abschätzung von Holzressourcen im Amazonas evaluiert werden.

Vorgesehen sind wissenschaftliche Publikationen, Konferenzbeiträge und

eine allgemein verfügbare „Wissenbasis“ als Grundlage für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen, Managementstrategien und die Festlegung von weiteren Anwendungsfeldern für hyperspektrale Fernerkundungsdaten. Die Ergebnisse können in eine naher Zukunft nicht nur als Verifizierungsgrundlage von Waldzertifizierungen genutzt werden (z. B. bei zukünftigen internationalen Klima-Vertragsverhandlungen und Kompensationsverträgen des  $\text{CO}_2$ -Handels), sondern dienen auch einem tieferen Verständnis terrestrischer Prozesse wie der Wasser- und Nährstoffkreisläufe und der daran gekoppelten C-Sequenzierung: Schlüsselwissen für die Forschung auf dem Gebiet des globalen Waldes.

Mit Dank für Ihre Unterstützung in Höhe von 400 €!

■ Veraldo Liesenberg



Der moderne Hörsaal der Universität Glasgow

## Thermo 2010

Vom 16. bis 20. August 2010 fand in Glasgow, Schottland, die 12. Internationale Thermo-chronologie-Konferenz statt. Das zweijährlich stattfindende Event ging aus einem Treffen zur Spaltspurendatierung hervor und wurde das erste Mal 1978 in Pisa, Italien, ausgetragen. Mittlerweile sind Teilnehmer aus allen Gebieten der Theorie, Entwicklung und Anwendung vertreten, sowohl der Spaltspuren-, (U-Th)/He- und Argon-Analyse, als auch der U-Pb-Thermo-chronologie.

Im Rahmen der Konferenz habe ich einen Vortrag unter dem Titel „Some inferences from computer-simulated track etching“ gehalten.

Austragungsort war das Sir-Charles-Wilson-Gebäude, welches sich direkt auf dem Universitätsgelände in Glasgow befindet. Insbesondere der fantastische Hörsaal zeigt ein modernes Design, integriert in den originalen Gebäudekern dieser umgebauten Kirche. In diesem tollen Ambiente fanden die ganze Woche über Vorträge in verschiedenen Themenblöcken statt. Dabei wurde stets eine gute Mischung aus Hauptrednern, geladenen Sprechern und Studenten gefunden. Zudem gab es zwei große Postersitzungen, bei denen man sich über weitere Forschungsarbeiten informieren und mit den anderen Wissenschaftlern ins Gespräch kommen konnte. Insgesamt war die TU Bergakademie Freiberg mit mehreren Postern und Vorträgen beteiligt und sehr gut vertreten.

Die Konferenz war für mich eine großartige Gelegenheit, die bisherigen Resultate meiner Diplomarbeit zu präsentieren und mich mit erfahrenen internationalen Experten auszutauschen. Ich möchte mich besonders beim Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. für die finanzielle Unterstützung bedanken, die es mir ermöglicht hat, einen Teil der Kosten zu decken.

■ Christian Quaas

## Freiberger Studenten vertiefen Roboterprogrammierung



Ein KUKA KR 16-2 beim „Palettieren“

Im Rahmen der interdisziplinären Vorlesung „Robotik“ am Institut für Automatisierungstechnik wurde den Hörern aus Studiengängen der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik sowie der Fakultät für Mathematik und Informatik die Möglichkeit geboten, an den Kursen „Grundlagen der Roboterprogrammierung“ und „Fortgeschrittene Roboterprogrammierung“ am „KUKA College“ der KUKA Roboter GmbH in Gersthofen/Augsburg teilzunehmen. Die beiden Kurse, für welche normalerweise eine Dauer von je vier Tagen vorgesehen ist, konnten die Studenten gebündelt als Kompaktkurs in fünf Tagen abschließen. Die Kosten für die Kurse wurden zwischen dem Institut für Automatisierungstechnik, den teilnehmenden Studenten und dem „Verein der Freunde und Förderer“ aufgeteilt. Teilgenommen haben die Studenten Erik Richter, Sebastian Müller, Tim Steinmeier (jeweils Diplomstudiengang „Engineering and Computing“) sowie Steffen Dach (Bachelorstudiengang



Sebastian Müller (vorn), Steffen Dach und Michael Klein (Mitte, Trainer) beim Üben an den Roboterzellen

„Network Computing“). Dabei wurde im Grundlagenkurs Basiswissen zur Bedienung des Robotersystems über das „KCP“ (KUKA Control Panel) und zur Bewegungsprogrammierung von Robotern in der „KRL 5“ (KUKA Robot Language) vermittelt sowie nach einer umfangreichen Sicherheitsunterweisung in vielen praktischen Übungseinheiten gefestigt. Die praktischen Übungen wurden in speziell für die Seminare eingerichteten Roboterzellen mit einem „KUKA KR 16-2“ 6-Achs-Roboter abgehalten, wobei uns Herr Michael Klein als Trainer jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Sehr von Vorteil war für die Studenten, dass wichtige Vorgehensweisen, beispielsweise zur Basis- und Toolvermessung, bereits im praktischen Teil der Vorlesung durch Dr. Nawaz gelehrt und von den Studenten selbst an einem „KUKA KR 150“ im institutseigenen Roboterlabor erprobt werden konnten.

Neben erweiterten Programmieretechniken, unter anderem dem Einsatz von

Unterprogrammen und der erweiterten Bewegungsprogrammierung, wurden im Fortgeschrittenkurs auch Fähigkeiten zur Verwendung der externen Automatikschnittstelle des Roboters erlernt.

Durch viele weitere Übungseinheiten konnte das theoretische Wissen praktisch angewandt werden. Dabei wurden verschiedene praxisrelevante Themen wie Palettierung von Gegenständen oder das exakte Abfahren von komplizierten Schweiß- bzw. Klebekonturen bearbeitet, die jeder Student selbstständig in den Roboterzellen umsetzte. Hier stand neben dem eigentlichen Lösen der Aufgabe auch die Optimierung der Taktzeiten im Fokus. Am letzten Kurstag legten die Studenten jeweils einen Leistungsnachweis zu den beiden Kursen ab und erhielten nach erfolgreichem Bestehen zwei Zertifikate.

Wir möchten an dieser Stelle dem VFF nochmals herzlich für die Unterstützung danken.

■ Steffen Dach

## Exkursion nach Irland

Der Fachbereich Lagerstättenlehre und Petrologie des Instituts für Mineralogie führte vom 14. bis 28. August 2010 eine Exkursion nach Irland durch. Diese fand in Kooperation mit der Jacobs University in Bremen statt.

Die erste Woche wurde von Prof. Dr. Michael Bau geleitet und beinhaltete die regionale Geologie der Dingle Halbinsel im Südwesten Irlands.

Die Dingle Halbinsel (im Gälischen auch Corca Dhuibhne genannt) befindet sich in der Grafschaft Kerry der Provinz

Munster. Sie ist 50 km lang und max. 20 km breit. Von West nach Ost erstreckt sich eine Bergkette mit Irlands zweithöchstem Berg namens Mount Brandon. Die Küste besteht hauptsächlich aus Steilküste mit vereinzelt sandigen Buchten. Die Inseln im Westen werden Blasket Islands genannt (Abb. 1).

Die ersten beiden Exkursionstage waren ganz der Einführung in die Geologie der Halbinsel gewidmet. Zu diesem Zweck fuhren wir mehrere Aufschlüsse der Westküste an, die einen Querschnitt über die regionale Geologie und deren wichtigste Gruppen und Formationen

darstellen und von Prof. Bau näher erläutert wurden.

Zunächst ging es zu Sleat Head, wo der sogenannte Lower Old Red Sandstone ansteht und als Dingle Group bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um silurische Sandsteine, Konglomerate und Tonsteine. Anschließend war Clogher Beach das Ziel (Drehort für „Far and Away“ mit Tom Cruise und Nicole Kidman 1992). Hier ist die Drom Point Formation zu finden, die aus Sandsteinen mit Chondriten besteht. Darüber liegen unkonsolidierte Sedimente glazialen Ursprungs, die deutliches Bodenkriechen anzeigen.



Abb. 1: Übersichtskarte von Irland mit den Provinzgrenzen und den besuchten Lagerstätten: 1: Pallas Green, 2: Lisheen, 3: Avoca, 4: Tara, 5: Cavanacaw, 6: Clontibret

Zuletzt ging es zum Sybil Point, um von dort ein Profil in südliche Richtung bis kurz vor Ferriters Cove abzulaufen.

Am zweiten Tag ging es von der Dingle Group zur älteren (devonischen) Dunquin Group. Der Ausgangspunkt hierfür war Clogher Head. Auf dieser Landzunge sind mehrere Kontakte zwischen Clogher Head, Mill Cove und Drom Point Formation in enger Abfolge zu finden. Neben einem grünen Basalt treten hier rote Sand- und Siltsteine, ein Ignimbrit und weitere Pyroklastite auf. Weitere Aufschlüsse der Clogher Head Formation, entlang der Küste nach Süden, wiesen pyroklastische Gesteine und Brekzien auf. Die Mittagspause wurde am Drehort des Films „Ryan’s Daughter“ (1970) verbracht. Den Abschluss dieses Tages bildete der Kontakt zur Mill Cove Formation mit mafischen Vulkaniten (Basalte und Tuffe).

Am dritten Tag setzten wir mit dem Schiff zu den Blasket Islands über, um dort den Kontakt zwischen Dingle Group und der Drom Point Formation der Dunquin Group vom Festland weiter zu verfolgen.

Der nächste Expeditionstag führte uns über den Connor Pass in den Norden der Halbinsel nach Castlegregory, um dort die karbonischen Kalksteine und Kohlenkalke anzusehen. Zurück ging es über Aufschlüsse äolischen Sandsteins und des Inch Conglomerate nahe dem gleichnamigen Ort Inch.

Am fünften Tag besuchten wir zunächst Mindard Bay, um dort einen äoli-

schen Sandstein der Killmerry Formation anzusehen, der sich durch großdimensionierte Schrägschichtung auszeichnet. Im Anschluss daran wurde die Gruppe geteilt. Die Studenten der Jacobs University kartierten einen Bereich nahe Clogher Head, während die Freiburger Studenten ein Profil in einer Bucht nahe Owen aufnahmen. Diese Bucht befindet sich innerhalb der Clogher Head Formation (Dunquin Group) und weist verschiedene Pyroklastika, Sandsteine und Konglomerate auf, die tektonisch sehr beansprucht wurden. Am folgenden Tag stellten die Gruppen sich gegenseitig ihre Ergebnisse vor. Nach einer sich anschließenden Diskussion ging es zum Tagesabschluss in das lokalhistorische Museum.

Die zweite Woche wurde von Herrn Prof. Dr. Jens Gutzmer von der TU Bergakademie Freiberg geleitet. Der Fokus lag dabei auf der Besichtigung diverser Bergbaubetriebe unterschiedlicher Entwicklungsstadien. Dabei wurden die Lagerstätten in den Kontext der regionalen Geologie eingeordnet und die einzelnen Phasen eines Bergbauunternehmens von der Exploration bis zur Schließung an Hand einzelner Betriebe verdeutlicht.

Der Anfang wurde durch den Besuch des Explorationsprojekts Pallas Green (23.6 % Minco Plc & 76.4 % Xstrata Zinc) nahe Limerick gemacht. Hierbei handelt es sich um ein fortgeschrittenes Projekt kurz vor der Machbarkeitsstudie. Das Explorationsziel stellen Massivsulfide mit Blei, Zink, Silber und Gold dar. Nach einer Präsentation des Chefgeologen zur Geologie der Lagerstätte bekamen wir die Möglichkeit, Bohrkerne der erzführenden Zone zu betrachten.

Am Sonntagvormittag wurden von den Freiburger Studenten Vorträge zur regionalen Geologie und zu den Lagerstätten Irlands gehalten. Der Rest des Tages war zur freien Verfügung, um die Stadt Kilkenny zu erkunden und den einen oder anderen Pub zu besuchen.

Am nächsten Tag besuchten wir die Bleizinkmine Lisheen (Anglo American Plc.), die sich in ihrer Auslaufphase befindet. Diese „irish-type“-Lagerstätte ist karbonatgebunden und besteht aus drei Erzkörpern, die hauptsächlich stratiform sind. Die Mineralisation setzt sich vorrangig aus Sphalerit, Galenit und Pyrit zusammen.

Im historischen Bergbaug Gebiet Avoca, welches wir am Dienstag besuchten, erläuterten uns zwei Mitarbeiter des Geologischen Dienstes von Irland die gegen-



Abb. 2: Gruppenbild vor der Einfahrt in die Tara Mine

wärtige Situation vor Ort an Hand einiger Beispiele. Dabei besichtigten wir nicht nur die alten Halden und Hinterlassenschaften des Kupferbergbaus, sondern wurden auch in die Problematik der Entwässerung dieses Gebietes eingeführt.

Am folgenden Tag waren wir beim Geologischen Dienst in Dublin eingeladen, wo wir einen abschließenden, zusammenfassenden Vortrag zu Avoca und einen weiteren über die Aufgaben des geologischen Dienstes hinsichtlich Exploration und Bergbau hörten. Donnerstag besuchten wir die Tara Mines bei Navan (New Boliden). Es handelt sich dabei wiederum um eine Bleizinklagerstätte des „irish-types“. Wie Lisheen ist sie karbonatgebunden. In dieser Mine konnten wir uns nicht nur die Untertagearbeiten ansehen, sondern bekamen zudem einen detaillierten Einblick in die Aufbereitung vom Mahlen des Erzes über die Flotation bis hin zu den Absetzbecken.

Der nächste Tag führte uns nach Nordirland zur Cavanacaw Mine (Galantes) nahe Omagh. Dieser Goldtagebau baut auf einer strukturgebundenen Goldlagerstätte mit durchschnittlichen Gehalten von 5 g/t Gold auf. Im Idealfall werden hier ca. 50 Tonnen Goldkonzentrat innerhalb von zwei Wochen produziert. Dieses Unternehmen steht noch am Anfang der Produktionsphase, und die Exploration geht noch weiter.

Der letzte Exkursionstag führte uns zum Explorationsprojekt Clontibret von Conroy Diamonds and Gold Plc. südlich der Grenze zwischen Irland und Nordirland. Dieses Projekt beinhaltet insgesamt fünf Zielgebiete, von denen die wichtigsten beiden Clay Lake und Glenish sind.

Den Abschluss der Exkursion bildete ein Kulturprogramm in Dublin.

■ Iris Wunderlich, Martin Baldauf, Tobias Brehm

# StyA1/StyA2B, eine neuartige multifunktionelle Flavoprotein-Monooxygenase

Im Rahmen meiner Promotion in der AG Umweltmikrobiologie (Fakultät für Chemie und Physik, Institut für Biowissenschaften) soll eine neuartige Einkomponenten-Styrol-Monooxygenase (StyA2B) auf ihren Wirkmechanismus sowie ihr Potenzial für biotechnologische Anwendungen hin untersucht werden. Die Aufklärung bestimmter mechanistischer Aspekte bedurfte dabei der Zusammenarbeit mit einer uns bekannten niederländischen Arbeitsgruppe der Universität Wageningen (Dr. Willem van Berkel).

Styrol-Monooxygenasen sind eine Enzymklasse, welche die Umwandlung von Styrol und strukturell verwandten Verbindungen in Epoxide und Sulfoxide katalysiert. Die Fähigkeit der Enzyme zum stereoselektiven Einbau des Sauerstoffs, der zur Bildung optisch aktiver hochreiner Produkte führt, macht diese Biokatalysatoren aus biotechnologischer Sicht hochattraktiv (Abb. 1). Enantiomerenreine Epoxide sind wertvolle Bausteine bei der Synthese von Pharmaka.

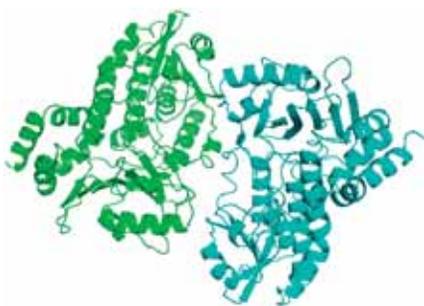


Abb. 1: Enantioselektive Epoxidierung und Sulfoxidierung mit Styrol-Monooxygenasen (SMOs).

Leider ist die praktische Anwendbarkeit von Monooxygenasen bislang durch mehrere Faktoren limitiert. Eine dieser Einschränkungen betrifft den ineffektiven Transport eines für die Epoxidierung erforderlichen labilen Cofaktors (FADH<sub>2</sub>) zwischen den zwei Untereinheiten des Enzyms. Die Entdeckung von StyA2B und StyA1 aus dem Bakterium *Rhodococcus opacus* 1CP gab im Zuge meiner jüngsten Untersuchungen zu der Hypothese Anlass, dass in diesem Enzymsystem der Cofaktortransport erheblich spezifischer erfolgt. Vergleiche zwischen StyA2B/StyA1 aus *R. opacus* 1CP und herkömmlichen Zweikomponenten-Sty-

rol-Monooxygenasen (z. B. StyA/StyB) aus Pseudomonaden zeigten eine deutlich höhere Epoxidierungseffizienz des neuen Systems. Dieser Unterschied ist aus evolutionsbiologischer Sicht höchst interessant, da er einen neuen Entwicklungszweig der Styrol-Monooxygenasen darstellt. Außerdem begünstigt eine höhere Epoxidierungseffizienz den biotechnologischen Einsatz von SMOs, da mit weniger Zellstress und dadurch stabileren Biotransformationsprozessen zu rechnen ist.

Aufgabe meiner Forschungen an der Universität Wageningen war es, die molekularen Gründe dieses spezifischeren und effektiveren Transports von FADH<sub>2</sub> zu ermitteln. Folgende Arbeiten sollten hierzu wichtige Erkenntnisse liefern:

1. Berechnung der Strukturen von StyA2B und StyA1 mit Hilfe eines homologen Strukturmodells von StyA aus *Pseudomonas* sp. S12 bzw. PheA2 aus *Geobacillus thermoglucosidasius* A7.
2. Ermittlung von Protein-Protein-Interaktionen zwischen StyA2B und StyA1 mit Hilfe von Förster-Resonanzenergietransfer-Messungen (FRET, benötigt fluoreszenzmarkierte Proteine)
3. Ermittlung von FAD-Protein-Interaktionen mit Hilfe von Flavin-Titrationsexperimenten und Fluoreszenzmessungen (von FAD bzw. Proteinen selbst)

Erfreulicherweise konnten im Rahmen des geförderten Aufenthalts zu jedem der anvisierten Teilaspekte wertvolle Ergebnisse erzielt werden.

**Zu 1.** Nach dem Erlernen der theoretischen Grundlagen des Modellierens von Protein-Strukturen wurden erfolgreich hypothetische Struktur-Modelle für StyA1 und StyA2B mit und ohne Substrate berechnet. Aus den erhaltenen Modellen konnte allerdings keine direkte Interaktionsdomäne ermittelt werden. Jedoch zeigten die Modelle von StyA1 und StyA2B deutliche Unterschiede bezüglich ihrer Oberflächenladung und Dimerbildungsdomäne im Vergleich zu herkömmlichen SMOs auf (Abb. 2).

**Zu 2.** Durch die Messung des Energietransfers zwischen verschiedenen künstlich angebrachten Fluoreszenzmarkierungen an Zielproteinen können In-

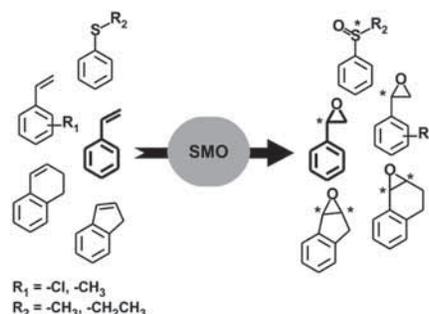


Abb. 2: Struktur-Modell von StyA1 aus *Rhodococcus opacus* 1CP.

teraktionen zwischen diesen Proteinen untersucht werden. Auf den Oberflächen von StyA1 bzw. StyA2B befindet sich laut in-silico-Strukturvorhersage mindestens ein angreifbares Cystein, welches zur Fluoreszenz-Markierung genutzt werden könnte. Um dies experimentell zu bestätigen, wurden die gereinigten Proteine mittels des Ellman-Tests auf freie Cysteine überprüft, eine Kopplungsreaktion, welche quantitativ photometrisch verfolgt werden kann. Die aus den Modellen prognostizierten oberflächennahen Cysteine ließen sich in der Tat nachweisen, jedoch wurden beide Proteine während des Versuchs der Anlagerung des Fluoreszenzfarbstoffs irreversibel denaturiert. Hierdurch konnte auf diesem Weg leider keine Information zur Proteininteraktion gewonnen werden. Auch eine Markierung mit verschiedenen Fluoreszenzfarbstoffen und damit FRET-Messungen waren so nicht möglich.

Wertvolle Hinweise zur Notwendigkeit der postulierten StyA2B/StyA1-Interaktion lieferten indes Versuche zur Nutzbarkeit von chemisch synthetisiertem FADH<sub>2</sub>, welche an der TU Delft im Labor von Dr. F. Hollmann durchgeführt wurden. FAD kann auch ohne die Aktivität der Reduktase-Komponente StyA2B rein chemisch durch Einsatz eines Rhodium-Komplexes zu FADH<sub>2</sub> reduziert werden. Falls eine Interaktion zwischen Oxygenase und Reduktase für eine effiziente Übertragung von FADH<sub>2</sub> erforderlich ist, würde man mit dem chemisch generierten Cofaktor FADH<sub>2</sub> allenfalls eine schwache StyA1-Aktivität beobachten. Dies konnte wie erwartet gezeigt werden. Bei zusätzlicher Anwesenheit von StyA2B war die ermittelte Aktivität noch schwächer. Dies zeigt zum einen, dass freies FADH<sub>2</sub> von StyA1 kaum angenommen wird und zum anderen, dass StyA1/StyA2B eine Art Kontakt bilden, die es freiem FADH<sub>2</sub> nicht erlaubt, das

katalytische Zentrum von StyA1 zu erreichen. Diese Hinweise auf eine Komplexbildung zwischen StyA1 und StyA2B unterscheiden das neuartige System deutlich von den herkömmlichen StyA/StyB-Systemen aus Pseudomonaden, bei denen die freie Diffusion den Hauptanteil am FADH<sub>2</sub>-Transfer hat.

**Zu 3.** Die Fluoreszenz von FAD nach Anregung mit Licht der Wellenlänge 450 nm ist ein Indikator für freies FAD in Lösung. Analog ist dies die Fluoreszenz der Aminosäure Tryptophan (Teil des Proteins) für Proteine in Lösung. Bindet FAD an Proteine, können sich die Absorptionseigenschaften und damit auch die Fluoreszenz-Intensität von FAD bzw. auch die der Tryptophan-Moleküle im Protein ändern. Dies korreliert mit der Konzentration des Proteins und des FAD in Lösung, wodurch man FAD-Protein-Interaktionen ermitteln kann. Um diese Wechselwirkungen zu untersuchen, wurden Apo-Proteine (Proteine ohne Cofaktor) frisch hergestellt und mit FAD titriert. Dabei konnte entweder das Fluoreszenz-Signal von FAD selbst oder das der Tryptophane der Proteine gemessen werden. Bei einer starken Interaktion zwischen Protein und Cofaktor kann es zu einer Erhöhung oder Schwächung (je nach Protein) des jeweiligen Fluoreszenz-

Signals im Vergleich zu einem Standard ohne FAD-Protein-Interaktion kommen. Die Änderung der Fluoreszenzintensität von FAD-Protein im Vergleich zu reinem FAD war zu schwach, um eine eindeutige Auswertung zu gestatten. Jedoch ließen sich die Resultate der Tryptophan-Fluoreszenz-Messung nach FAD-Titration nutzen, um eine FAD-Protein-Interaktionen zu messen. Es wurden Dissoziationskonstanten im  $\mu\text{M}$ -mM Bereich für StyA1 und StyA2B ermittelt. Aus ihnen kann geschlussfolgert werden, dass die neue multifunktionelle SMO FAD stärker bindet als bekannte Zweikomponenten-SMOs. Zudem wurde gezeigt, dass das Fusionsprotein StyA2B zwei FAD-Bindestellen mit unterschiedlicher Cofaktor-Affinität hat. In nachfolgenden Untersuchungen muss versucht werden, die Affinität zum reduzierten FAD zu ermitteln. Diese sollte noch höher als die zu FAD sein und kann weitere Informationen zur Cofaktorübertragung bzw. Stabilisierung liefern. Mögliche Quellen für FADH<sub>2</sub> sind der oben genannte Rhodium-Komplex oder hochaktive FAD-Reduktasen. Dank der Zusammenarbeit mit den Gruppen aus Wageningen und Delft habe ich einen Rhodium-Komplex zur Verfügung gestellt bekommen. Es gelang mir aber auch, eine FAD-Reduktase

aufzureinigen und zu immobilisieren, um mit dieser FAD in-situ zu reduzieren (ohne Wechselwirkung mit anderen Proteinen).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass ich viele neue Methodiken (z.B. die zur Berechnung von Proteinstruktur-Modellen, fluoreszenzspektroskopische Verfahren inkl. deren mathematischer Auswertung, künstliche FADH<sub>2</sub>-Generierung mit Rhodium-Komplexen bzw. immobilisierter Reduktase) erlernt habe sowie viele neue Kontakte an der Universität Wageningen bzw. an der TU Delft geknüpft habe. Des Weiteren hatte ich die Gelegenheit, die Ergebnisse meiner dortigen Arbeit im Rahmen eines Vortrages auf einem internationalen Kongress in Leipzig (Oxizymes 2010) vorzustellen. Zudem wurde ein Manuskript zur Veröffentlichung im Journal of Bacteriology fertiggestellt und eingereicht. Daher ist der Forschungsaufenthalt ein voller Erfolg gewesen und hat das Projekt entscheidend vorangebracht.

Ich bedanke mich herzlich beim Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg, der mir neben der großzügigen Unterstützung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt diesen Aufenthalt ermöglicht hat.

■ Dirk Tischler

## Grabstätte von Professor Hieronymus Theodor Richter in neuem Glanz

Seit 2006 hat die SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG gemeinsam mit der Frauengruppe der Historischen Freiburger Berg- und Hüttenknappschaft die Pflege fünf historischer Grabstätten auf dem Donatsfriedhof übernommen:

- Johann Carl Friedrich von Freiesleben (1774-1846),
- Johann Eduard Heuchler (1799-1879),
- Hieronymus Theodor Richter (1824-1898) sowie
- Moritz Döring (1798-1856) und August Ferdinand Anacker (1790-1854)

Die Grabstätte Richters war in einem ruinösen Zustand. Sie entsprach keinesfalls mehr einer würdigen Begräbnisstätte für einen berühmten Wissenschaftler der Bergakademie Freiberg. Prof. Richter ist vor allem durch die gemeinsam mit dem Freiburger Physikprofessor Ferdinand Reich gelungene Entdeckung des Indiums im Freiburger Erz bekannt geworden. Da sich die SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG satzungsgemäß u. a. der Pflege und dem Erhalt von berg- und hüttenmännischen Sachzeugen verpflichtet hat, entschloss sich der Stiftungsvorstand, die finanziellen Mittel für die aufwändige Sanierung der historischen Grabstätte bereitzustellen. Die Stiftung fand dabei Unterstützung bei unserem Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg sowie bei verschiedenen Hüttenbetrieben des Freiburger Raums.

Die Grabstätte Richters sollte eigentlich bereits im September 2008 zu seinem 110. Todestag saniert sein. Bedingt durch

die laufenden Instandhaltungsarbeiten an der Friedhofsmauer an der Himmelfahrtsgasse musste das Vorhaben aber in das Folgejahr verlegt werden und konnte erst im Oktober 2009 durch den Steinmetzbetrieb Deisinger und die Kunstschmiede J. Doczi mit einem Gesamtfinanzaufwand von 6.500 € fertiggestellt werden. Die Grabstättenanierung ist ein gutes Beispiel, wie in unserer Bergstadt mit Stiftungsarbeit und Sponsoring von Institutionen und Betrieben Kulturgüter erhalten und verdienstvolle Persönlichkeiten unserer alma mater freiburgensis entsprechend gewürdigt werden können.

■ Karl-Heinz Eulenberger



# Biowissenschaften an der Bergakademie: Vom Gen zur Landschaft

Michael Schlömann

Ein Institut für Biowissenschaften an der Bergakademie, gar eine gentechnische Anlage? Passt das? Sind da nicht mit einem Rektorat in der Aufbruchstimmung der 90er Jahre die Gäule durchgegangen? Es passt, und wir hoffen, dass die Darstellung von Aktivitäten des Instituts sowie weiterer Beteiligter mit biologischem Bezug zeigt, dass die Biowissenschaften an der Bergakademie durchaus gut in das Fächerspektrum der Universität einbezogen sowie mit der regionalen Wirtschaft vernetzt sind.

In der Region Freiberg prägte Hannß Carl von Carlowitz mit seinem Nachhaltigkeitsprinzip im Buch *Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht* (1713) ein in den heutigen biologischen und ökologischen Wissenschaften essenzielles Konzept.

Auch nach Gründung der Bergakademie waren dieser die Biowissenschaften nicht ganz fremd: So betrieb bereits Alexander von Humboldt (1769–1859) während seiner Studienzeit an der Bergakademie physiologische Studien an untertage in Bergwerken vorkommenden Kryptogamen (Algen, Flechten, Moose, Pilze, etc.). In seinem 1793 erschienenen Werk *Florae Fribergensis Specimen* beschrieb er zahlreiche bis dato unbekannte Formen der niederen Kryptogamen, insbesondere Pilze und Flechten.

Wilhelm August Lampadius (1772–1842) führte als Professor für Chemie und Hüttenkunde in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts Versuche zur Gewinnung von Rübenzucker aus Zuckerrüben durch und experimentierte auf einem Versuchsfeld mit verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.

Von 1941 bis 1945 war Karl Alfons Jurasky Professor für Brennstoffgeologie und beschäftigte sich mit paläobotanischen Fragestellungen.

In den 40er und 50er Jahren des letzten Jahrhunderts arbeitete Dr. Erich Krüger, der Vater des Stifters Dr. Peter Krüger, u. a. am Metallhüttenmännischen Institut der Bergakademie an der Forschungsstelle für Rauchgasschäden. Er hatte in Leipzig Chemie, Zoologie und Botanik studiert und war insofern zumindest zur Hälfte Biologe. Wissenschaftlich

versuchte er u. a., eine Basis für einen Ausgleich zwischen den Freiburger Hütten und den von Rauchschäden betroffenen Imkern der Region herbeizuführen.

Eine weitere Wurzel der Biowissenschaften an der Bergakademie ist in den Untersuchungen zur Erzlaugung zu sehen, die in den 1980er Jahren am Institut für Anorganische Chemie in der Arbeitsgruppe von Frau Kirsten Pollmer durchgeführt wurden.

In den Diskussionen zur Ausrichtung der Bergakademie nach der Wende wurde von Seiten des damaligen Ministerpräsidenten Biedenkopf die Bergakademie als künftiges Zentrum für Nachhaltigkeit gesehen und deshalb eine Stärkung des Umweltprofils der Bergakademie vorgeschlagen. Diese Überlegungen führten zur formellen Gründung des Interdisziplinären Ökologischen Zentrums (IÖZ) im Jahr 1996. Zwar wurden letztlich nicht alle nach den ursprünglichen Vorstellungen vorgesehenen Berufungen realisiert, aber die beiden heute am Institut für Biowissenschaften tätigen Gruppen Biologie/Ökologie und Umweltmikrobiologie gehören zu denen, die sich aus diesem strukturellen Ursprung entwickelten.

Im Zusammenhang mit der Gründung des IÖZ wurden im Jahr 1996 auch drei innovative, interdisziplinär angelegte und ganz oder zum Teil auf Umweltfragestellungen orientierte Studiengänge eingerichtet, und zwar Angewandte Naturwissenschaft (in der Fakultät 2, Chemie und Physik), Geoökologie (in der Fakultät 3, Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau) sowie Umwelt-Engineering (in der Fakultät 4, Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik). Da alle drei Studiengänge biologisch orientierte Lehrveranstaltungen umfassten, war von Seiten der Lehre die Notwendigkeit gegeben, die Biologie permanent an der Universität zu verankern. Alle drei Studiengänge haben sich seitdem sehr gut entwickelt und gehören zum festen Repertoire der Universität. Zudem haben ökologische Aspekte beispielsweise auch in die Studiengänge Angewandte Mathematik und IMRE (International Management of Resources and Environment), biochemisch-biotechnologische auch in den Studiengang Chemie und bio- und

naturstoffverfahrenstechnische in den Studiengang Verfahrenstechnik Eingang gefunden.

Im Folgenden werden einige der Personen oder Gruppen mit Bio-Bezug anhand von Beispielen ihrer Aktivitäten genauer vorgestellt. Die Darstellung der Aktivitäten ist schon für die einzelnen Gruppen nicht vollständig. Darüber hinaus gibt es aber auch noch in weiteren Instituten mehr oder weniger intensive Bezüge zur Biologie: So arbeitet das Institut für Technische Chemie auch auf dem Feld der weißen Biotechnologie wie an der biologischen CO<sub>2</sub>-Fixierung. Das Institut für Analytische Chemie bearbeitet u. a. die Kopplung von chromatographischen und elektrophoretischen Trennungen mit spektrometrischen Methoden und nutzt diese gekoppelten Methoden zur Untersuchung der Wechselwirkung von Proteinen und Peptiden mit Metallionen und organischen Schadstoffen. Im Institut für Physikalische Chemie wird seit Jahren die Biokalorimetrie intensiv praktiziert. Die Paläontologie hat nach wie vor starke Bezüge zur Biologie, vor allem im Hinblick auf paläoökologische Fragestellungen. Die Professuren für Hydrogeologie, Geochemie und Geoökologie sowie Boden- und Gewässerschutz und auch eine Arbeitsgruppe an der Professur für Geoströmungs-, Förder- und Speichertechnik analysieren häufiger Stoffumsetzungen in Umweltkompartimenten, die von Organismen bewirkt werden oder auch Rückwirkungen auf diese haben. Die Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen beschäftigt sich u. a. mit Strömungen in Atemwegen oder Stimmlippen und hat eine Lehrveranstaltung zur Bionik initiiert. Und schließlich beschäftigt sich der Lehrstuhl für Gas- und wärmetechnische Anlagen u. a. mit Biogas-Prozessen.

## Arbeitsgruppe Biologie/Ökologie: Bioindikation, Biodiversität und das Nachhaltigkeitsprinzip

Nach dem Start 1996 und einer zwischenzeitlichen Besetzung der Professur für Biologie mit Prof. Schierwater (1998/99) wird die Arbeitsgruppe seit Oktober 1999 permanent von Prof. Hermann Heilmeyer geleitet. Gemäß den

Anforderungen in der Lehre und der Ausrichtung der modernen Ökologie erstreckt sich das Forschungsspektrum in der AG Biologie/Ökologie von biochemisch-physiologischen Anpassungsmechanismen von Pflanzen über die Regulation von Stoffflüssen in Ökosystemen bis hin zu angewandten Fragen der Phytoremediation von mit Spurenelementen belasteten Flächen und dem Biotop- und Landschaftsmanagement in der Bergbaufolgelandschaft inkl. der Erarbeitung von Naturschutzkonzeptionen auf Bundes- und Landesebene. Drei Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Biologie/Ökologie sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

### **Bioindikation auf biochemischer Ebene mittels Bodenenzymen**

Bodenenzyme können von einer Reihe von Organismen wie Bakterien, Pilzen, Pflanzen und Tieren gebildet werden. Sie kommen entweder in den Zellen selbst (intrazellulär) oder extrazellulär (meist adsorbiert an Tonminerale oder Humus) vor und katalysieren biochemische Reaktionen wie den Abbau organischer Substanz mittels hydrolytischer oder Redoxreaktionen. Extrazelluläre Bodenenzyme sind entscheidend an den biogeochemischen Kreisläufen von Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel beteiligt. Intrazelluläre Enzyme wie Dehydrogenasen (eine Oxidoreduktase), die z. B. in der Atmungskette und bei der Beseitigung von oxidativem Stress eine wichtige Rolle spielen, sind gute Indikatoren für die allgemeine biologische Aktivität von Böden. Allgemein werden die Aktivitäten der Bodenenzyme von Umweltparametern wie Temperatur, Art und Menge der organischen Bodensubstanz, pH-Wert, Bodenart, Ionenkonzentration und Gehalt an Spurenelementen bestimmt. Aus diesem Grund sind Bodenenzyme als Indikatoren für die Bodenqualität und eventuell vorhandene Kontaminationen sehr gut geeignet.

Durch den jahrhundertelangen Bergbau im Freiburger Raum weisen die hiesigen Böden hohe Gehalte an Spurenelementen wie Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Zink (Zn) auf, die gegenüber dem natürlichen geogenen Hintergrund um mehrere Größenordnungen erhöht sein können. Die Eignung von Bodenenzymen als Bioindikatoren bei Spurenelementbelastung wurde von der AG Biologie/Ökologie am Beispiel der Alkalischen Phosphatase, Arylsulfata-

se, Dehydrogenase und Urease für eine Reihe von Substraten aus der Freiburger Umgebung (Muldenaue bei Rosine/Weißborn, Rauchblöße bei Muldenhütten, Davidschacht, 7. Lichtloch) im Vergleich zu einem Referenzboden aus der Nähe von Oberschöna untersucht. Der Boden der Muldenaue wies, dem geogenen Hintergrund des Erzgebirges entsprechend, insgesamt nur leicht erhöhte Gehalte der Elemente As, Pb, Cd und Zn im Ammoniumnitratextrakt auf. Die Böden der Rauchblöße und vom 7. Lichtloch waren vor allem mit As und Pb belastet, während der Boden vom Davidschacht hohe Gehalte von Cd und Zn aufwies. Die Aktivität der Urease war durch den Gehalt an Spurenelementen kaum beeinträchtigt. Dies weist auf eine hohe Stabilität dieses Enzyms hin, die in vorausgehenden Untersuchungen beispielsweise auch unter ariden Bedingungen in Namibia gezeigt werden konnte. Die Aktivität der Urease war vielmehr mit dem Gehalt an organischer Substanz im Boden korreliert, die das Enzym vor den schädlichen Wirkungen der untersuchten Spurenelemente schützt. Die Aktivitäten der Dehydrogenase, der Alkalischen Phosphatase und der Arylsulfatase korrelierten deutlicher mit dem Gehalt an mobilem Pb, Cd und Zn im Bodenextrakt, weshalb diese als Bioindikatoren für eine Bodenbelastung mit toxischen Spurenelementen herangezogen werden können. Vor allem die Arylsulfatase erwies sich in einer Reihe weiterer Untersuchungen als geeigneter Bioindikator für eine Vielzahl ökologisch relevanter Fragestellungen. So war ihre Aktivität nicht nur mit der Belastung von Böden mit Uran im Vogtland korreliert, sondern auch mit dem Sukzessionsstadium, wie an verschiedenen Standorten der Bergbaufolgelandschaft im Braunkohletagebau Nochten (Lausitz) sowie für Böden aus dem Steinkohlebergbau der Halde Nui Beo im Nordosten Vietnams in unmittelbarer Nachbarschaft zum Weltenerbe Halong-Bucht gezeigt werden konnte.

### **Die Bedeutung der Bergbau(folge)-landschaft für die Biodiversität**

Ein weitere wissenschaftliche Fragestellung, die sich hervorragend in das Kompetenzspektrum der TU Bergakademie einpasst, ist: Wie entwickeln sich Vegetation und Tierartengemeinschaften in der Bergbau(folge)landschaft? In Studien zur Sukzession auf Kippenflächen im Braunkohletagebau Nochten mit Unter-

stützung von Vattenfall Mining & Generation konnten wichtige geologische, geochemische und strukturelle Faktoren für die Entwicklung der biologischen Vielfalt (Biodiversität) sowie der Bodenaktivität (Bodenenzyme, s. o.) herausgefunden werden. Die unterschiedlich bewachsenen Kippenflächen erwiesen sich bereits nach kurzer Zeit als sehr wertvoll, insbesondere als Sekundär-Lebensräume für stark gefährdete Insektenarten. Diese Ergebnisse fließen in das bereits angesprochene und derzeit noch laufende Projekt zur Renaturierung von Steinkohlehalde in Vietnam mittels standortangepasster Pflanzenarten ein, das unter Federführung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) umgesetzt wird. In diesem Zusammenhang stehen auch angewandte Forschungen zur Phytoremediation schwermetallbelasteter landwirtschaftlich genutzter Standorte.

### **Integration des Nachhaltigkeitskonzepts in Naturschutzkonzeptionen auf Bundes- und Landesebene**

Bereits 1997 erstellte die Arbeitsgruppe in einem vom Bundesamt für Naturschutz ausgeschriebenen Projekt eine wissenschaftliche Konzeption zum bundesweiten Monitoring der Bestandsentwicklung von Tierarten am Beispiel der Vogelfauna (1997–2001). Dieses Konzept wurde mittlerweile als bundesweites Vogelmonitoring umgesetzt und liefert nun die Daten zur Berechnung des „Nachhaltigkeitsindikators für die Artenvielfalt in Deutschland“, der ebenfalls unter Federführung der AG Biologie/Ökologie entwickelt wurde (2002–2006). Als einer von 21 Nachhaltigkeitsindikatoren der Bundesregierung beschreibt der Index, wie nachhaltig der Umgang mit der Natur in Deutschland ist (eine Frage, die mit Hannß Carl von Carlowitz ihren Ursprung in Freiberg hat). Der Indikatorwert, der auf der Bestandsentwicklung von ökologisch sensiblen Vogelarten in den Hauptlebensräumen Deutschlands beruht, wird jährlich berechnet und regelmäßig im Indikatorenbericht zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht. Ebenfalls auf Bundesebene angesiedelt war ein Projekt der Arbeitsgruppe (2002–2004), in dem – wiederum in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen und Verbänden – die Gefährdungsursachen für Tierarten in Deutschland am Beispiel planungsrelevanter Artengruppen zusammengestellt und analysiert

wurden. Die mit diesen Konzipierungen gesammelten Erfahrungen fließen nun in die derzeit laufende Erarbeitung eines Artenschutzkonzepts für den Freistaat Sachsen ein (2008–2010), die im Auftrag des Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) erfolgt. Motiviert von der Flut im Jahr 2002 erarbeitete die Gruppe Biologie/Ökologie mit verschiedenen Partnern innerhalb und außerhalb der Universität im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) ein wissenschaftlich fundiertes Methodenkonzept zu der Frage, wie eine Mittelgebirgslandschaft gestaltet werden kann, so dass sie sowohl den Zielen des vorbeugenden Hochwasserschutzes (z. B. Reduzierung von Hochwasserspitzen in der Fläche) als auch denen des Naturschutzes (z. B. Förderung von Bergwiesen und anderen Landschaftsstrukturen) dient. Ebenfalls von überregionaler Bedeutung ist das kürzlich abgeschlossene Projekt GehVege zur Naturschutzbiologie der europaweit bedeutenden Teichbodenvegetation der Revierwasserlaufanstalt Freiberg (2007–2010). Das ebenfalls von der DBU geförderte Projekt wurde u. a. in Kooperation mit dem Institut für Wissenschafts- und Technikgeschichte der TU Bergakademie Freiberg, der Landestalsperrenverwaltung und der Friedrich-Schiller-Universität Jena durchgeführt.

**Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie: Zwischen Bergbauwässern und biotechnologischen Produkten**

Die Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie wurde 1998 mit der Berufung von Michael Schlömann auf die Stiftungsprofessur der Deutschen Bundesstiftung Umwelt eingerichtet (und 2003 in den Landeshaushalt übernommen). Umweltmikrobiologie beschäftigt sich traditionell weitgehend mit dem Abbau organischer Schadstoffe durch Mikroorganismen. Dies trifft auch für die Mikrobiologie in Freiberg zu, wo über viele Jahre die Biochemie und Genetik des Abbaus von halogenierten Aromaten, wie Chlorphenolen, Chlorbenzolen u. ä., im Vordergrund standen. Diesbezügliche Arbeiten werden insbesondere am „Haustier“ *Rhodococcus opacus* durchgeführt, da die Actinobakterien, zu denen die Art gehört, wichtige Bodenbakterien sind und da sich zeigte, dass der Halogenaromatenabbau durch diese Organismen wesentliche Unterschiede zu dem der viel besser untersuchten Proteobakterien aufweist.

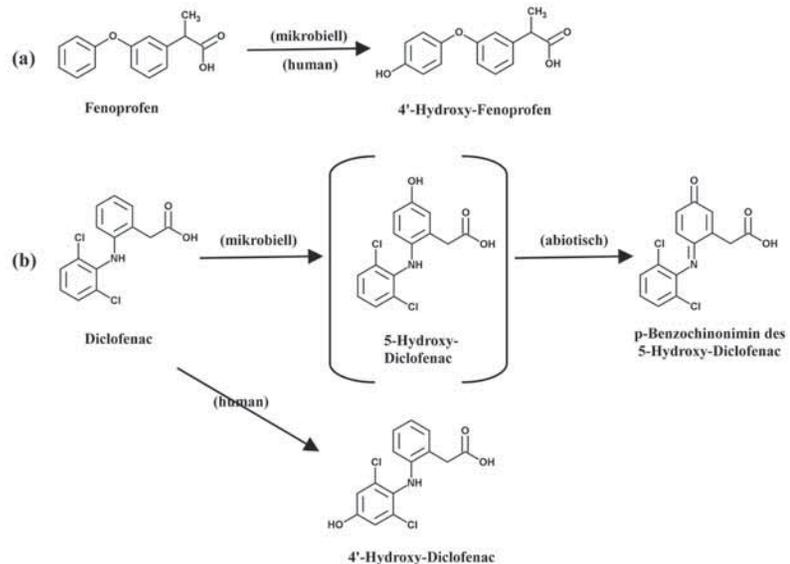


Abb. 1: Transformation der nichtsteroidalen Entzündungshemmer Fenopfen und Diclofenac durch Mikroorganismen und im menschlichen Körper

Wissenschaftlich gesehen gibt es in der Biochemie und Genetik des Abbaus organischer Schadstoffe nach wie vor viele offene Fragen. Im Hinblick auf die praktische Anwendung hat das Gebiet aber an Gewicht eingebüßt, da in der chemischen Industrie der produkt- und der produktionsintegrierte Umweltschutz gegenüber den nachsorgenden Technologien an Bedeutung gewonnen haben. Zudem sind inzwischen viele Altlasten gesichert und viele Sanierungen bereits angeschoben. Insofern hat sich auch das Arbeitsgebiet der Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie auf weitere Problemkreise ausgedehnt, von denen im Folgenden ein paar Beispiele genannt seien.

**Herstellung und ökotoxikologische Untersuchung von Abbau-Intermediaten von Pharmazetika**

Einen neuen Focus der Arbeiten zum Abbau organischer Verbindungen stellen die Untersuchungen zum Abbau von Medikamenten dar. Medikamente gelangen i. d. R. über Fäkalien in das Abwasser, werden in der Kläranlagen aber oft nicht vollständig abgebaut – und das im doppelten Sinne: Zum Einen ist im Auslauf oft noch ein gewisser, aber geringer Teil der Ausgangsverbindungen nachweisbar, zum Anderen werden die Verbindungen manchmal nur modifiziert, aber nicht vollständig zu CO<sub>2</sub> oxidiert. Mittlerweile wurden zahlreiche Pharmazetika im Oberflächen- und im Grundwasser nachgewiesen. Da nicht auszuschließen ist, dass die durch mikrobielle Aktivitäten gebildeten Metabolite toxischer sind als die Ausgangsverbindungen, zielt ein

Projekt im Rahmen der Graduiertenschule HIGRADE des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle darauf ab, Zwischenprodukte des mikrobiellen Abbaus zu identifizieren und in relevanten Mengen durch chemische oder biologische Verfahren zu gewinnen. In diesem Rahmen konnte z. B. nachgewiesen werden, dass Fenopfen – ein nichtsteroidaler Entzündungshemmer, dessen Abbau bisher kaum untersucht ist – zunächst in 4'-Position hydroxyliert wird, wobei bekannt ist, dass das entstehende 4'-Hydroxy-Fenopfen ebenfalls während des Fenopfen-Abbaus im Menschen auftritt (Abb. 1a). Bei Diclofenac (Hauptwirkstoff in Voltaren®), einem anderen entzündungshemmenden Mittel, sind dagegen unterschiedliche Hydroxylierungsprodukte bekannt. Bei Transformationen im menschlichen Körper ist dabei eine Hydroxylierung in 4'-Position wichtig, wohingegen 5-Hydroxy-Diclofenac ein Intermediat der mikrobiellen Stoffwandlung darstellt, das unter natürlichen Bedingungen leicht zum stabileren p-Benzochinonimin chemisch oxidiert werden kann (Abb. 1b). Die isolierten Metabolite werden in der Arbeitsgruppe Schüürmann auf ökotoxische Wirkungen untersucht.

**Mikrobiologie von Bergbauwässern**

Im Rahmen von Bergbauaktivitäten, sei es im Kohle- oder im Erzbergbau, werden im Untergrund vorhandene Minerale, wie z. B. Metallsulfide, dem Sauerstoff ausgesetzt und können ggf. rein chemisch oder unter Mitwirkung von Mikroorganismen oxidiert werden. Aus den

Metallsulfiden entstehen dabei Schwefelsäure und Metallionen, die mobil sind und ausgewaschen werden können. Solche Laugungsprozesse werden z.T. gezielt für die Gewinnung von Metallen aus armen Erzen eingesetzt. Oft laufen die Laugungsprozesse aber auch ungewollt ab. So entstehen z.B. beim Braunkohle-Tagebau in der Lausitz große Mengen an Bergbauwässern, die durch einen niedrigen pH-Wert und hohe Frachten an Sulfat sowie an Eisen und anderen Metallen gekennzeichnet sind. Das Eisen kommt in den Sumpfungswässern der Tagebaue weitgehend in der löslichen zweiwertigen Form vor, d. h. der Pyrit wird in den Kippen nur unvollständig oxidiert. Die konventionelle Behandlung solcher Wässer vor der Einleitung in die Spree umfasst deshalb die Erhöhung des pH-Wertes durch Kalkung sowie die Belüftung. Bei den dadurch eingestellten neutralen oder leicht alkalischen pH-Werten wird das Eisen unter oxidierenden Bedingungen rein chemisch zum dreiwertigen Eisen oxidiert und in Form von Eisenhydroxiden ausgefällt. Jedoch verringert sich die Sulfatfracht (sofern unterhalb der Löslichkeit von Gips) hierdurch nicht. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe Verbrauch an Kalk (verbunden mit dem daraus resultierenden Energieverbrauch und den Kosten).

Von der Firma G.E.O.S. Freiberg wurde deshalb ein Verfahren entwickelt, bei dem das Eisen ohne Kalkung bei pH 3 oxidiert wird. Bei diesem pH-Wert ist die chemische Reaktion viel zu langsam, und die Oxidation erfolgt weit überwiegend durch Mikroorganismen, die das Eisen als Elektronendonator (also gewissermaßen an Stelle von Brot oder Kartoffeln in der menschlichen Ernährung) verwenden. Im Rahmen eines ersten BMBF-Projekts gemeinsam mit G.E.O.S., Vattenfall und der TU Berlin wurde festgestellt, dass der bei der Ausfällung entstehende und gut zu entwässernde Schwertmannit ( $\text{Fe}_{16}[\text{O}_{16}(\text{OH})_{9-12}(\text{SO}_4)_{3,5-2}]$ ) für die Herstellung von Farbpigmenten geeignet ist. Die Untersuchung der mikrobiellen Lebensgemeinschaft in Pilotanlagen am Tagebau Nochten (Abb. 2) mit molekularökologischen Methoden, also Methoden, die auf DNA basiert sind und keine Kultivierung der Organismen erfordern, zeigte, dass die Anlagen durch noch nicht gültig beschriebene Organismen dominiert werden. Die beiden dominierenden Typen von Bakterien wurden von Kollegen der Bangor University (Wales)



Abb. 2: Pilotanlage der Firma G.E.O.S. Freiberg zur mikrobiologischen Eisenoxidation am Tagebau Nochten und darin gebildeter Schwertmannit



Abb. 3: Reaktor zur mikrobiellen Sulfatreduktion, links kurz nach dem Start, rechts nach Beginn der Reduktion des Sulfats zu schwarzen Sulfiden

auch in Wässern einer stillgelegten Mine in Wales entdeckt. Während der eine Typ demnächst als neue Gattung und Art mit dem Namen *Ferrovum myxofaciens* veröffentlicht werden soll, ist der andere noch nicht näher beschrieben und mit neutrophilen Eisenoxidierern der Gattung *Gallionella* verwandt. Neuere Untersuchungen in Kooperation mit Kollegen in Braunschweig und München zeigten, dass der Schwertmannit nicht wie andere Eisenminerale direkt auf der Oberfläche der Mikroorganismen wächst, sondern in einer gewissen Distanz zu den Zellen.

Auch der Sulfatfracht in den Bergbauwässern widmet sich die Umweltmikrobiologie seit einiger Zeit in Kooperation mit den Firmen Siemens und G.E.O.S. sowie Kollegen der Analytischen Chemie, der Hydrogeologie und der Umweltverfahrenstechnik. Aufgabe der Mikrobiologie ist es hierbei, eine mikrobiologische Sulfatreduktion mit möglichst geringer Verweilzeit und unter Verwendung von preisgünstigen Elektronendonoren, wie z. B. Alkoholen, zu realisieren. Da die Sulfatreduzierer verhältnismäßig langsam wachsen, müssen für die Zurückhaltung der Biomasse Aufwuchskörper, wie z. B. Sand, vorhanden sein. Hierbei besteht allerdings das Risiko, dass eine Bedeckung durch entstehende Sulfide die Aktivität der Zellen reduziert und dass ein altern-

der Biofilm zu Ablösungserscheinungen und damit zu schlechter Reinigungsleistung führt. Deshalb wird in dem Projekt ein neues Konzept für einen Festbetteaktor erprobt (Abb. 3).

### Mikrobiologie des tiefen Untergrunds in Gegenwart hoher $\text{CO}_2$ -Konzentrationen

Um die Konzentration des  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre zu begrenzen, wird seit Jahren überlegt, dieses Treibhausgas verstärkt in den tiefen Untergrund, z. B. in alte Erdgas-Lagerstätten, zu verpressen. In der Praxis erfolgt dies bereits, um die Gasausbeute nahezu erschöpfter Lagerstätten zu erhöhen. Für eine zukünftige, langfristige Speicherung von großen Mengen  $\text{CO}_2$  müssen jegliche Risiken erforscht sein. So könnten im tiefen Untergrund mikrobielle oder chemische Umwandlungen des  $\text{CO}_2$  ablaufen, die ggf. die Druckverhältnisse beeinflussen und damit sicherheitsrelevant wären (vgl. Kretzschmar, Köckritz, S. 33). Die Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie untersucht deshalb Wasserproben aus Erdgas-Lagerstätten in der Altmark bzw. in Schneeren mit Unterstützung von Gaz de France Suez und in Kooperation mit dem Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau sowie dem Dresdner Grundwasserforschungszentrum und der Bun-

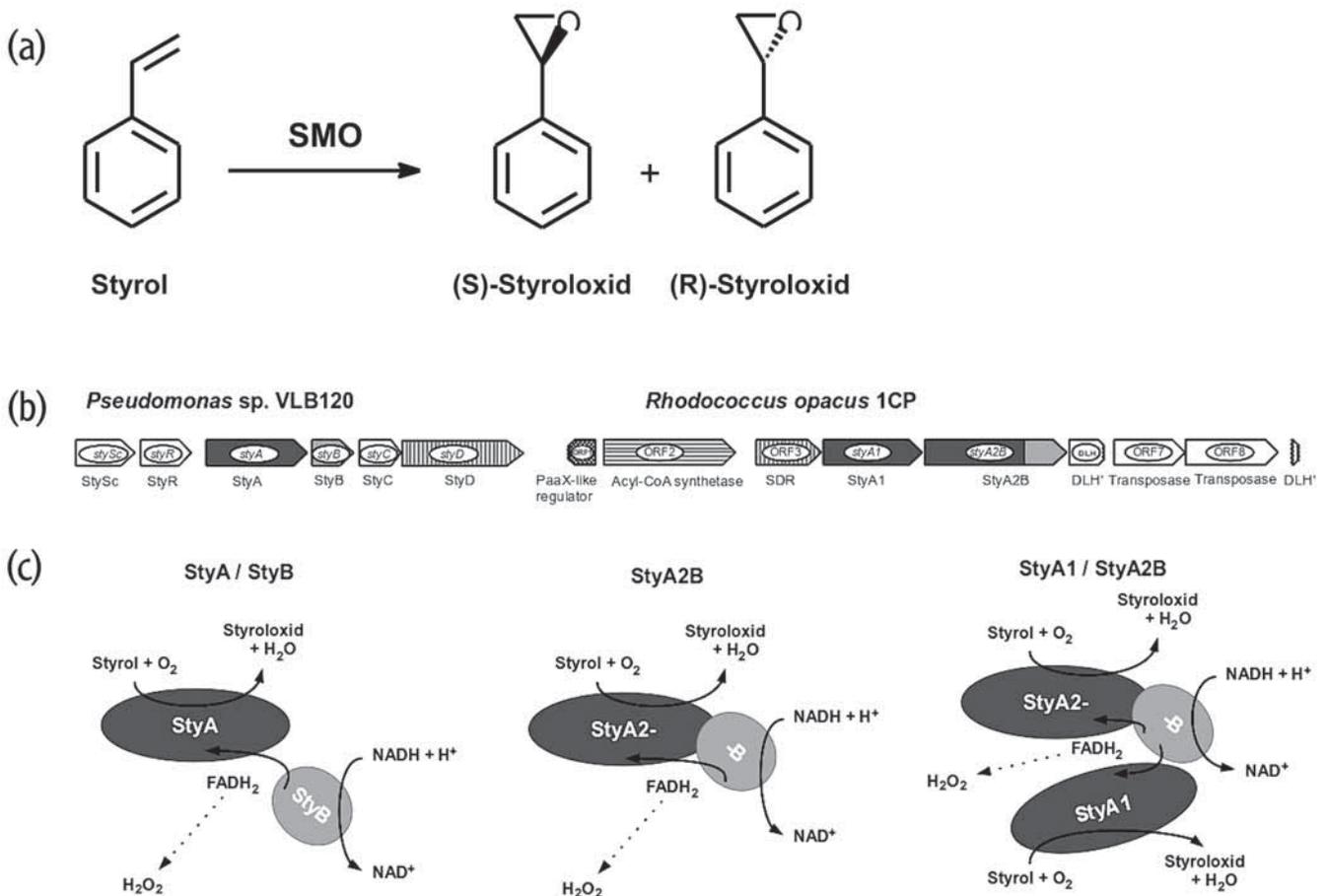


Abb. 4: (a) Umsatz von Styrol durch Styrol-Monooxygenasen (SMOs) zu viel (S)-Styroloxid und wenig (R)-Enantiomer. (b) SMOs kodierende Gencluster aus *Pseudomonas* und *Rhodococcus*. (c) Links: Die SMO aus *Pseudomonas*, bestehend aus Reduktase (StyB), welche FAD mit NADH reduziert, und der Oxygenase (StyA), welche das FADH<sub>2</sub> benötigt, um Sauerstoff auf Styrol zu übertragen und Styroloxid zu bilden. Als Nebenprodukt fällt durch unspezifische Reaktion von Sauerstoff mit FADH<sub>2</sub> Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) an. Mitte: Das Fusionsprotein aus *Rhodococcus* (StyA2B), wobei der Mechanismus gleich dem vorherigen ist, nur dass hier Reduktase und Oxygenase fusioniert sind. Rechts: Das komplette System aus *Rhodococcus* (StyA1/StyA2B) mit der Nutzung von überschüssigem FADH<sub>2</sub> durch die Oxygenase StyA1 zur Oxidation von Styrol

desanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe auf mögliche mikrobiologische Vorgänge. Aufgabe der Mikrobiologie ist es dabei, die mikrobiellen Lebensgemeinschaften und ggf. Reaktionen bestimmter Typen von Mikroorganismen zu charakterisieren. Auch hierbei kommen weitgehend molekularökologische, kultivierungsunabhängige Methoden zur Anwendung. So wurden wiederholt ungewöhnliche thermophile Bakterien beobachtet, die mit der Gattung *Thermoanaerobacterium* verwandt sind. Ein neuer Typ von *Petrotoga*-Bakterien wurde isoliert und das Potenzial zur Methanogenese, also zur Umwandlung von CO<sub>2</sub> mit einem Elektronendonator zu Methan, durch Nachweis entsprechender Mikroorganismen gezeigt.

### Enantioselektive Synthesen durch Monooxygenasen und andere Abbauenzyme

Mikroorganismen nutzen ihre Enzyme wie erwähnt zum Abbau organischer

Verbindungen bei aeroben, also Sauerstoff benötigenden Mikroorganismen i. d. R. mit Kohlendioxid als Endprodukt. Die bei den Abbauprozessen entstehenden Zwischenprodukte sind häufig allerdings auch als Synthesebausteine von Interesse, insbesondere dann, wenn bei sogenannten chiralen Verbindungen nur eines der Enantiomere (d. h. eine der zueinander spiegelbildlichen Verbindungen) gebildet wird. Da Verbindungen in der Biologie i. d. R. bestimmte Enantiomere sind, müssen Pharmazeutika so hergestellt werden, dass nur das Enantiomer mit der gewünschten biologischen Aktivität vorhanden ist und nicht das weitere mit möglicherweise schädlicher Aktivität (bekanntestes Beispiel: Contergan Ende der 1950er Jahre). Analoges gilt, um ungewollte Umweltbeeinträchtigungen zu vermeiden, in zunehmendem Maße auch für Pestizide. Die Produktion von nur einem der möglichen Enantiomere ist rein chemisch oft relativ aufwändig und damit teuer. Da Enzyme dagegen oft ein

Enantiomer ausschließlich oder im Überschuss bilden, ist die Synthese chiraler Bausteine ein ideales Betätigungsfeld für die „weiße“ Biotechnologie mit stark zunehmender Bedeutung für die chemische Industrie.

In der Arbeitsgruppe Umweltmikrobiologie wird derzeit insbesondere an der Bildung von (S)-Styroloxid aus Styrol gearbeitet (Abb. 4a). (S)-Styroloxid und seine Derivate sind wichtige Intermediate für die Synthese von Medikamenten (z. B. Indinavir als HIV-Protease-Hemmer oder Levamisole in der Krebsbehandlung bzw. als Entzündungshemmer). Bereits seit Jahren bekannt ist die Nutzung der Styrol-Monooxygenasen (StyA/StyB) aus Bakterien der Gattung *Pseudomonas* für die Herstellung von (S)-Styroloxid im Pilotmaßstab (noch nicht großtechnisch). Ein Problem ist allerdings die Instabilität des Enzymsystems, die damit zusammenhängt, dass das von einer Untereinheit des Enzyms gebildete FADH<sub>2</sub> (ein Wasserstoff-Überträger) mit Sauerstoff

unter Bildung von Wasserstoffperoxid reagieren kann, welches dann auch das Enzym selbst schädigt. Einen vielversprechenden Ansatz zur Lösung dieses Problems bietet die Styrol-Monooxygenase, die vor einigen Jahren im „Haustier“ des Instituts *Rhodococcus opacus* 1CP gefunden wurde. In der Styrol-Monooxygenase dieses Stammes liegen die beiden Enzymteile, die in *Pseudomonas* zwei getrennte Untereinheiten bilden, in einer Proteinkette, also als natürliches Fusionsprotein, vor. Damit scheint ein effektiverer Transfer des FADH<sub>2</sub> einherzugehen, so dass weniger Wasserstoffperoxid gebildet wird (Abb. 4c). Allerdings hat auch das *Rhodococcus*-Enzym noch eine wei-

tere Untereinheit, nämlich eine zusätzliche Oxygenase-Untereinheit (StyA1), und das Fusionsprotein (StyA2B) allein zeigt relativ geringe Aktivität. Im Rahmen eines Promotionsstipendiums der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Stipendenschwerpunkt „Nachhaltige Bioprozesse“ sowie mehrerer Bachelorarbeiten wird die Charakterisierung des neuartigen Enzyms in Kooperation mit einer Arbeitsgruppe aus Wageningen (Niederlande) bearbeitet (vgl. D. Tischler, S. 110).

Darüber hinaus wird daran gearbeitet, mutmaßlich ähnliche Enzyme, deren Gene in Genomsequenzen von *Nocardia*- und *Arthrobacter*-Stämmen gefunden

wurden, zugänglich zu machen. Schließlich sollen entsprechende Gene auch aus dem sogenannten Metagenom Styrol abbauender Lebensgemeinschaften heraus „gefischt“ werden.

Wenn es gelingt, eine Variante des neuen Typs von Styrol-Monooxygenase zu finden, die nicht nur stabiler und bezüglich des FADH<sub>2</sub>-Transfers effektiver ist als herkömmliche Styrol-Monooxygenasen, sondern auch ebenso aktiv, dann wäre ein wesentlicher Schritt dafür getan, bei der Synthese des wichtigen Intermediats (S)-Styroloxid Nebenprodukte und Energieverbrauch zu reduzieren und so einen Beitrag zum vorsorgenden, produktionsintegrierten Umweltschutz zu leisten.

## Alternativmethoden zur toxikologischen Bewertung chemischer Stoffe

Alexander Böhme, Franziska Schramm, Dominik Wondrousch, Gerrit Schüürmann

Vor bereits mehr als fünfzig Jahren haben Russel und Burch mit ihrem Buch „The Principles of Human Experimental Technique“ (1959) das Ziel formuliert, die tierexperimentelle Prüfung biologischer Wirkungen von Chemikalien durch Alternativmethoden zu ersetzen. Sie begründeten damit das 3R-Prinzip, welches zugleich eine Leitlinie der Erforschung von Ersatzmethoden für Tierversuche und einen Weg zu ihrer schrittweisen Einführung darstellt und sich wie folgt zusammenfassen lässt:

- **Reduce:** Reduktion der Anzahl von Tierversuchen
- **Refine:** Verminderung der Tierbelastung bei Tierversuchen
- **Replace:** Ersatz von Tierversuchen

Über viele Jahre wurde dieser Ansatz so verstanden, dass jeweils eine *In-vivo*-Untersuchung, wie z. B. die Prüfung der Fischgiftigkeit von Industriechemikalien, durch eine Alternativmethode (*in vitro*) ersetzt werden soll (1:1-Ersatz). Zugleich war von Beginn an klar, dass jede Ersatzmethode auch eine Vereinfachung der *in vivo* vorhandenen Schadwirkungsmöglichkeiten bedeutet. Die Herausforderung besteht also darin, trotz der grundsätzlichen qualitativen Reduktion beim Übergang von *in vivo* zu *in vitro* eine für den jeweiligen Prüfzweck ausreichende Sicherheit in der Identifizierung der mit bestimmten chemischen Strukturen verbundenen toxikologischen Wirkpotenziale zu erhalten.

### REACH und Kosmetik-Verordnung

Das 3R-Prinzip hat u.a. Eingang in die neue europäische Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals; europaweit in Kraft getreten am 1.6.2007) gefunden. Für die ökotoxikologische und toxikologische Bewertung von Industriechemikalien sind nach REACH soweit wie möglich Alternativmethoden einzusetzen. In der Praxis allerdings ist man noch weit davon entfernt, die Sicherheitsvorsorge für den Umgang mit chemischen Substanzen vollständig ohne Tierversuche durchzuführen.

Zur konkreten Reduktion von *In-vivo*-Experimenten hat es in den letzten Jahren einen Paradigmenwechsel gegeben, der auch als Weiterentwicklung des 3R-Prinzips verstanden werden kann. Während zunächst – wie oben erläutert – Strategien zum 1:1-Ersatz entwickelt worden sind, ist mit REACH das neue

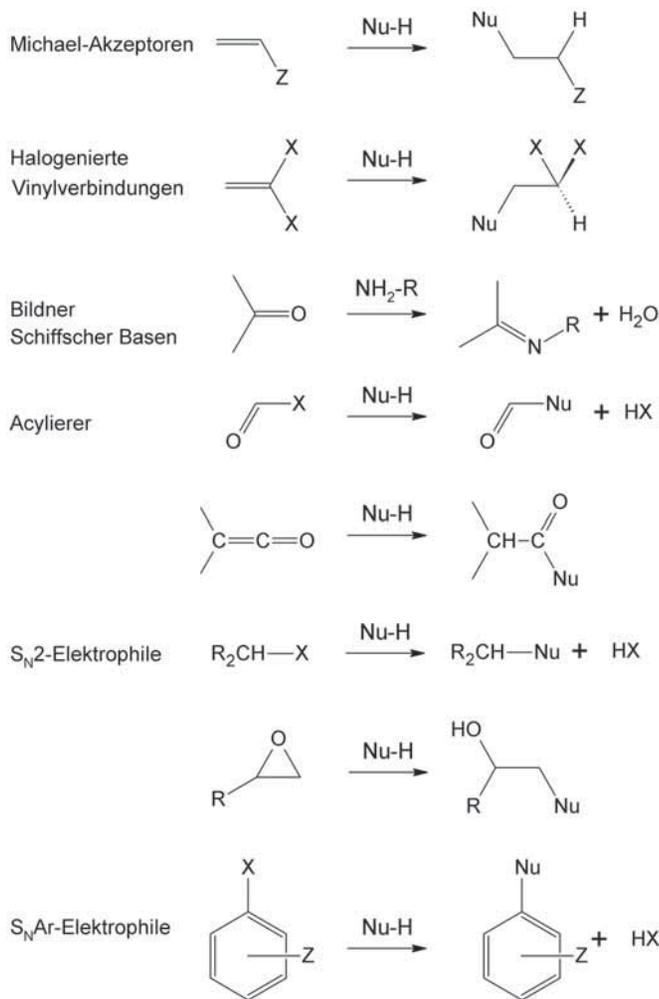
Instrument integrierter Teststrategien (ITS) eingeführt worden. Letzteres bedeutet, dass zum Ersatz einer *In-vivo*-Untersuchung nun vermehrt kombinierte Anwendungen von *In-vitro*-Methoden im Sinne einer Testbatterie entwickelt werden, und dass neben experimentellen Alternativmethoden auch computerbasierte Bewertungsinstrumente eingesetzt werden. Der ITS-Ansatz führt also verschiedene alternative Methoden zusammen mit dem Ziel, einen 1:n-Ersatz für eine *In-vivo*-Untersuchung zu liefern. Da hierfür sowohl *In-vitro*- als auch *In-silico*-Methoden (*in silico* hat sich in der Fachsprache als Analogon zu *in vitro* eingebürgert) zur Verfügung stehen bzw. entwickelt werden, unterscheidet man auch zwischen alternativen Testmethoden (*in vitro*) und Nichttestmethoden (*in silico*), wobei mit letzteren nichtexperimentelle Verfahren, wie zum Beispiel computerisierte Expertensysteme oder Struktur-Aktivitäts-Beziehungen, gemeint sind.

Es gibt allerdings auch eine Klasse von Gebrauchskemikalien, für deren Entwicklung bereits heute keine Tierversuche zur Prüfung der toxikologischen Wirkung mehr eingesetzt werden dürfen. Hierbei handelt es sich um Kosmetika, für welche im Rahmen der siebten Änderung der europäischen Kosmetika-Richtlinie im Jahre 2003 ein tierexperimentelles Testverbot mit Wirkung vom 11. März 2009 verfügt worden war. Die einzige Ausnahme betrifft derzeit noch den Prüf-Endpunkt „Toxizität nach wiederholter Gabe“ (repeated dose toxicity), für welchen als Ausschlussfrist der 11. März 2011 festgelegt worden ist. Diese Frist ist auch in die heute europaweit gültige Kosmetik-Verordnung übernommen worden, die Ende 2009 verabschiedet worden war und seit dem 1.1.2010 in Kraft ist.

### Chemoassays, Bioassays und Computermethoden

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projektes OSIRIS (Optimized Strategies for Risk Assessment of Industrial Chemicals through Integration of Non-Test and Testing Information) entwickeln wir gemeinsam mit 30 weiteren europäischen Partnern Alternativmethoden zur ökotoxikologischen und toxikologischen Bewertung chemischer Stoffe. Unsere Arbeiten konzentrieren sich dabei auf drei Bereiche:

Zum einen entwickeln wir **Chemoassays** zur Prüfung der toxi-kologisch relevanten Reaktivität organischer Chemikalien ge-genüber solchen funktionellen Gruppen, wie sie in Proteinen und der DNS häufig vorkommen. Hierbei handelt es sich um sogenannte nukleophile (elektronenreiche) Gruppen wie etwa die Thiolgruppe (-SH), welche in einem unserer Chemoassays durch das Tripeptid Glutathion (GSH) als Modellnukleophil re-präsentiert wird. Die Messung der Geschwindigkeitskonstante der Reaktion des Modellnukleophils mit einer elektrophilen (elektronenarmen) Testchemikalie liefert eine Information da-rüber, in welchem Ausmaß mit einer chemischen Bindung des Fremdstoffes an Proteine oder die DNS und mit einer dadurch verursachten toxikologischen Wirkung zu rechnen ist. Da hier die Toxizität auf eine chemische Reaktion zwischen elektro-philem Fremdstoff und körpereigenem Molekül zurückgeht, spricht man in diesem Zusammenhang auch von der reaktiven Toxizität der chemischen Substanz. In *Schema 1* sind einige elektrophile organische Stoffklassen und ihre typischen Reak-tionen mit nukleophilen Zentren körpereigener (endogener) Stoffe zusammengefasst.



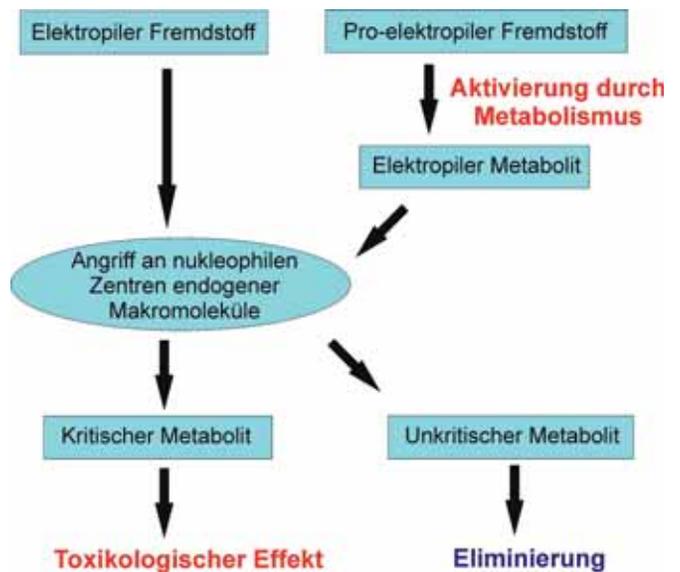
Schema 1: Chemische Reaktionen elektrophiler organischer Verbindungen mit nukleophilen Zentren körpereigener Moleküle (Nu-H bzw.  $NH_2$ -R)

Zum anderen setzen wir *In-vitro*-Systeme als **Bioassays** zur Cha-rakterisierung der aquatischen Toxizität (Toxizität gegenüber Wasserorganismen) ein. Ein Schwerpunkt ist die systematische Analyse der reaktiven Toxizität elektrophiler organischer Ver-bindungen. Hierbei gilt, dass wasserbürtige organische Sub-

stanzen proportional zu ihrer Hydrophobie von aquatischen Organismen passiv-diffusiv aufgenommen werden und dort zunächst unspezifische Schädwirkungen ausüben können. Letztere werden auch unter dem Fachbegriff Narkosewirkung zusammengefasst und können auch ohne reaktive oder spezi-fische Wirkmechanismen zur Letalität führen. Die Erfahrung zeigt nun, dass das Ausmaß der narkotischen Schädwirkung mit der Hydrophobie in Form des logarithmierten Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten,  $\log K_{ow}$ , korreliert. Nach der Narkose-theorie lässt sich dieser Zusammenhang präzisieren: Jeder neu-trale organische Stoff ist gegenüber aquatischen Organismen mindestens so toxisch, wie es seiner durch die Hydrophobie verursachten Anreicherung aus Wasser in den Organismus ent-spricht (wobei die Anreicherung bzw. das Anreicherungsvermö-gen durch den  $\log K_{ow}$  abgeschätzt wird). Die sich allein daraus ergebende Toxizität wird auch als Minimaltoxizität oder Basis-toxizität bezeichnet. Eine wichtige Schlussfolgerung lautet, dass die aquatische Toxizität organischer Stoffe im Allgemeinen mit ihrer Hydrophobie zunimmt, was zur prognostischen Beurtei-lung toxikologischer Wirkstärken eingesetzt werden kann.

Reaktiv toxische Stoffe zeigen gegenüber dem Narkose-Le-vel und damit gegenüber der aus dem  $\log K_{ow}$  abschätzbaren (theoretischen) Basistoxizität ggf. stark erhöhte Wirkungen. Damit kann durch Vergleich der Wirkstärke einer organischen Testsubstanz mit der Wirkstärke von Referenz-Narkotika beur-teilt werden, in welchem Ausmaß die Protein-Reaktivität des Fremdstoffes zu seiner (*in vitro* beobachteten) Toxizität beiträgt. Dieser Vergleich erfolgt anhand eines – durch lineare Regressi-on experimenteller Messwerte abgeleiteten – Narkosemodell, mit welchem die zu einem bestimmten  $\log K_{ow}$ -Wert gehörende Narkose-Wirkstärke berechnet werden kann.

Weiterhin ist zu beachten, dass chemische Substanzen auch im Organismus zu elektrophilen Metaboliten umgebaut (biotransformiert) werden können. Neben elektrophilen Aus-gangsstoffen können also auch elektrophile Metaboliten zur reaktiven und damit erhöhten Toxizität führen. In *Schema 2* ist der Sachverhalt noch einmal zusammenfassend dargestellt, wo-bei nichtelektrophile Ausgangsstoffe mit einem Potenzial zur Umwandlung in elektrophile Metabolite als Pro-Elektrophile bezeichnet werden.



Schema 2: Toxizität elektrophiler und pro-elektrophiler Chemikalien

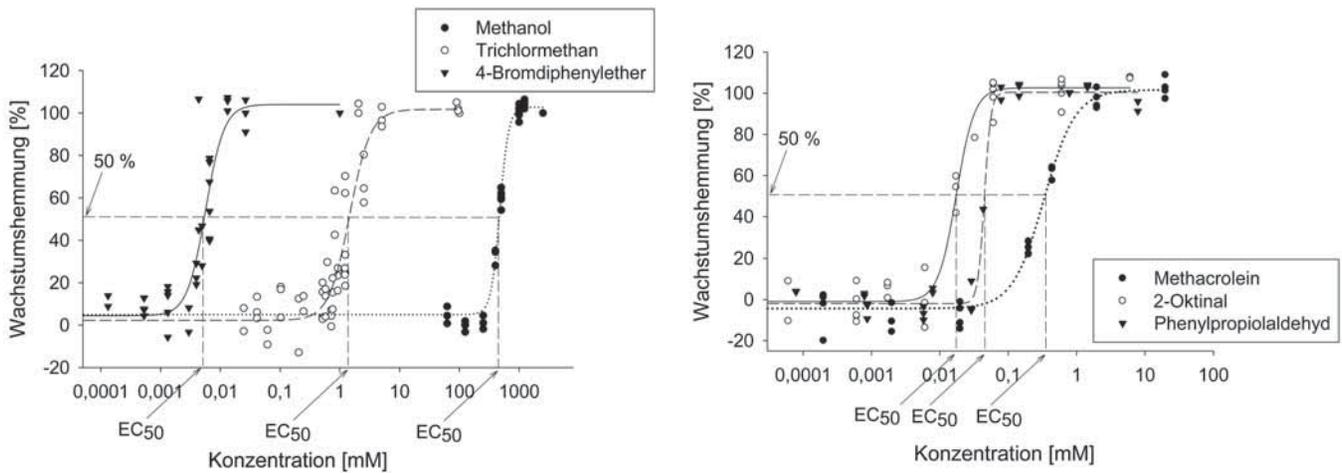


Abb. 1: Konzentrations-Wirkungs-Kurven von drei Narkose-Stoffen (links) und drei  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Aldehyden (rechts) zur Wachstumshemmung aquatischer Einzeller (Bioassay mit den Ciliaten *Tetrahymena pyriformis*) durch Exposition an organische Fremdstoffe über 48 h.

Als dritte Komponente alternativer Methoden entwickeln wir **Computermethoden** (*in silico*) zur Vorhersage der toxikologisch relevanten elektrophilen Reaktivität organischer Stoffe aus ihrer Molekülstruktur. Hierzu werden quantenchemische Methoden eingesetzt, wobei wir neben semiempirischen Verfahren auch Rechnungen mit Hilfe der Dichtefunktionaltheorie (DFT) sowie auf dem *Ab-initio*-Niveau durchführen. Im Gegensatz zu experimentellen Methoden bieten Rechenverfahren die Möglichkeit, auch noch nicht synthetisierte Strukturen chemischer Stoffe im Hinblick auf ihre elektrophile Reaktivität und das damit verbundene reaktive Toxizitätspotenzial zu prüfen. Zur Kalibrierung setzen wir dabei gemessene Geschwindigkeitskonstanten der elektrophilen Reaktivität der Stoffe aus unseren Chemoassay-Untersuchungen ein.

### Bioassay-Charakterisierung der reaktiven Toxizität von Michael-Aldehyden

Aldehyde enthalten die funktionelle Gruppe -CHO. Sie sind am Carbonyl-Kohlenstoff elektrophil und können mit Amino-gruppen körpereigener Moleküle zu Iminen bzw. Schiffsen Basen reagieren (*vgl. Schema 1*). Sofern zusätzlich eine Doppelbindung zwischen den dazu in  $\alpha$ - und  $\beta$ -Stellung befindlichen C-Atomen vorliegt, handelt es sich um ein elektrophiles Michael-System, welches mit Nukleophilen eine konjugierte 1,4-Addition durchführen kann (*vgl. Schema 1*). Beide Reaktionswege führen also zur chemischen Veränderung körpereigener Moleküle. Dabei legen die Ergebnisse einer kürzlich durchgeführten Untersuchung nahe, dass bei dieser Stoffklasse der reaktive Beitrag zur toxikologischen Wirkung vermutlich hauptsächlich auf Michael-Additionen an Proteine zurückzuführen ist [1].

In *Abb. 1* sind die Konzentrations-Wirkungs-Kurven von drei Referenz-Narkotika (links) sowie von drei  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Aldehyden (rechts) dargestellt. Aufgetragen ist die Wachstumshemmung von Ciliaten (aquatische Einzeller *Tetrahymena pyriformis*) gegen die Schadstoff-Konzentration im logarithmischen Maßstab. Der  $EC_{50}$ -Wert ( $EC_{50}$  = effektive Konzentration 50%) stellt dabei den Wendepunkt der jeweiligen Kurve dar und markiert die Konzentration, bei welcher eine 50%-Wachstumshemmung nach 48 h Exposition erreicht wird. Kleine  $EC_{50}$ -Werte zeigen eine große Wirkstärke an, weil dann bereits kleine Stoffkonzentrationen zu einer 50%-Wachstumshemmung als toxikologischem Endpunkt ausreichen.

Die sechs  $EC_{50}$ -Werte sind mit weiteren Angaben zur Hydrophobie ( $\log K_{ow}$ ), zur Toxizitätserhöhung im Vergleich zur Narkose-Vorhersage ( $\log T_e$ ) und zur Steigung der Konzentrations-Wirkungs-Kurven (Hill-Steigung) in *Tab. 1* zusammengestellt (Franziska Schramm, Doktorarbeit). Dabei ist die Toxizitätserhöhung  $T_e$  definiert als Quotient aus theoretischem Narkose- $EC_{50}$  und tatsächlich gemessenem  $EC_{50}$  und liefert somit ein Maß für den Reaktivitätsbeitrag zur Toxizität.

Tab. 1: Drei Narkosestoffe und drei  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Aldehyde mit Angaben zur Hydrophobie in Form des  $\log K_{ow}$  (Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient) sowie zur Wachstumshemmung der Ciliaten *Tetrahymena pyriformis* nach 48 h Exposition in Form des  $EC_{50}$  (effektive Konzentration zur 50%-Hemmung in mmol/L), der Toxizitätserhöhung  $T_e$  gegenüber dem berechneten Narkose-Level und dem Steigungsparameter der mit der Hill-Gleichung kalibrierten Konzentrations-Wirkungs-Kurve

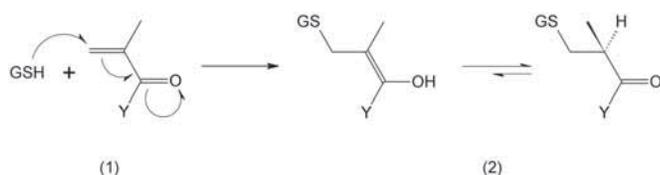
Name	CAS	$\log K_{ow}$	$EC_{50}$ [mM]	$\log EC_{50}$ [M]	$\log T_e$	Hill-Steigung
<b>Narkose-Stoffe</b>						
Methanol	67-56-1	-0,77	$476 \pm 8$	$-0,32 \pm 0,01$	-0,02	$5,9 \pm 0,9$
Trichlormethan	67-66-3	1,97	$1,43 \pm 0,17$	$-2,84 \pm 0,05$	0,12	$2,5 \pm 0,5$
4-Bromdiphenylether	101-55-3	4,94	$0,0057 \pm 0,005$	$-5,24 \pm 0,04$	-0,04	$2,8 \pm 0,8$
<b><math>\alpha,\beta</math>-ungesättigte Aldehyde</b>						
Methacrolein	78-85-3	0,74	$0,33 \pm 0,03$	$-3,47 \pm 0,03$	1,82	$1,9 \pm 0,3$
2-Oktinal	1846-68-0	2,07	$0,017 \pm 0,001$	$-4,76 \pm 0,03$	1,96	$3,1 \pm 1,2$
Phenylpropionaldehyd	2579-22-8	1,32	$0,045 \pm 0,016$	$-4,34 \pm 0,14$	2,19	$9,1 \pm 7,5$

Für die drei Narkose-Beispielstoffe Methanol, Trichlormethan und 4-Bromdiphenylether (wobei die Narkosewirkung sich auf die wässrige Exposition gegenüber aquatische Organismen bezieht) sind die  $\log EC_{50}$ -Werte den  $\log K_{ow}$ -Werten proportional ( $\log T_e$  nahe 0), und damit sind ihre Unterschiede um fast fünf Größenordnungen im wesentlichen durch Unterschiede in der Aufnahme bedingt. Zunehmende Hydrophobie bedeutet dabei eine Zunahme der passiv-diffusiven Aufnahme in den Organismus, womit zunehmend kleinere Expositionskonzentrationen im Wasser ( $EC_{50}$ ) zum Erreichen der (gleichen) Dosis für eine 50%-Hemmwirkung genügen.

Die drei  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Aldehyde zeigen  $\log T_e$ -Werte um 2 und damit Toxizitätserhöhungen um etwa einen Faktor 100 gegenüber isohydrophoben Narkotika. Dieser Befund macht deutlich, dass für diese Stoffe ihre elektrophile Reaktivität einen wichtigen Beitrag zur toxikologischen Wirkstärke liefert. Ohne den Reaktivitätsbeitrag wären die Aldehyde also um etwa einen Faktor 100 weniger stark toxisch. Für die aquatische Toxizität spielen also sowohl die Hydrophobie ( $\log K_{ow}$ ) als auch die elektrophile Reaktivität eine Rolle. Dabei können wir in Erweiterung der Narkosetheorie als Regel formulieren, dass die toxikologische Wirkstärke im Allgemeinen mit zunehmender Hydrophobie und zunehmender elektrophiler Reaktivität zunimmt.

### Chemoassay-Bestimmung der Thiol-Reaktivität organischer Elektrophile

Zur experimentellen Bestimmung der Reaktivität organischer Elektrophile gegenüber der Thiol-Gruppe in Form von Geschwindigkeitskonstanten zweiter Ordnung,  $k_{GSH}$ , ist ein photometrischer GSH-Chemoassay entwickelt worden (Alexander Böhme, Doktorarbeit; [2]). Die zugrunde liegende chemische Reaktion des Modellnucleophils Glutathion ist am Beispiel  $\alpha,\beta$ -ungesättigter Carbonylverbindungen in *Schema 3* dargestellt.



*Schema 3*: Michael-Addition (1,4-Addition) einer  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Carbonylverbindung an Glutathion (GSH). Der nucleophile Angriff der Thiolgruppe erfolgt am elektrophilen  $\beta$ -Kohlenstoffatom (1), wodurch ein Enol-Intermediat gebildet wird, welches im letzten Schritt in die stabilere Ketoform tautomerisiert (2). In Abhängigkeit vom Substituenten Y handelt es sich bei der Carbonylverbindung um ein Keton (Y = Alkyl), einen Ester (Y = O-Alkyl) oder einen Aldehyd (Y = H).

Wir konnten nun kürzlich zeigen, dass für 15  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Aldehyde die aquatische Toxizität auch quantitativ auf ein Zusammenwirken von Hydrophobie ( $\log K_{ow}$ ) und elektrophiler Reaktivität ( $\log k_{GSH}$ ) zurückgeführt werden kann [1]:

$$\log EC_{50} [\text{mol/L}] = -0,526 (\pm 0,042) \cdot \log K_{ow} - 0,433 (\pm 0,036) \cdot \log k_{GSH} - 2,45 (\pm 0,09)$$

$$n = 15; r^2 = 0,96; q_{cv}^2 = 0,94; rms = 0,11; rms_{cv} = 0,15; F_{2,12} = 142$$

Hierbei hat  $k_{GSH}$  die Einheit  $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , und es sind folgende statistischen Parameter angegeben:  $r^2$  = quadrierter Korrelationskoeffizient,  $q_{cv}^2$  = quadrierter Vorhersage-Korrelationskoeffizient gemäß Kreuzvalidierung [3],  $rms$  = mittlerer quadratischer Fehler (root-mean-square error),  $rms_{cv}$  = mittlerer quadratischer Fehler bei Kreuzvalidierung,  $F_{2,12}$  = F-Test-Wert der linearen Regression. Der  $r^2$ -Wert der Regressionsgleichung zeigt also an, dass die Varianz des  $\log EC_{50}$  zu 96% mit Hilfe der stoffspezifischen Parameter  $\log K_{ow}$  und  $\log k_{GSH}$  erklärt werden kann, wobei der mittlere quadratische Fehler 0,11  $\log$ -Einheiten beträgt.

Für 15  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Ketone konnte eine entsprechende Regressionsgleichung mit ähnlicher statistischer Güte abgeleitet werden:

$$\log EC_{50} [\text{mol/L}] = -0,242 (\pm 0,085) \cdot \log K_{ow} - 0,683 (\pm 0,043) \cdot \log k_{GSH} - 2,44 (\pm 0,15)$$

$$n = 15; r^2 = 0,96; q_{cv}^2 = 0,93; rms = 0,19; rms_{cv} = 0,26; F_{2,12} = 134$$

Interessanterweise zeigt der Vergleich mit den Aldehyden, dass bei letzteren der Hydrophobieeinfluss auf die Toxizität deutlich

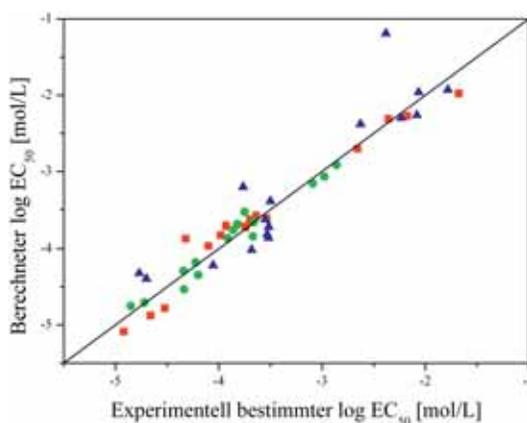
größer (Regressionskoeffizienten  $-0,542$  vs.  $-0,242$ ) und der Reaktivitätseinfluss hingegen kleiner ( $-0,433$  vs.  $-0,683$ ) ist.

Für wiederum 15  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Carbonsäureester liefert die Regressionsanalyse:

$$\log EC_{50} [\text{mol/L}] = -0,227 (\pm 0,129) \cdot \log K_{ow} - 0,830 (\pm 0,081) \cdot \log k_{GSH} - 2,59 (\pm 0,22)$$

$$n = 15; r^2 = 0,91; q_{cv}^2 = 0,80; rms = 0,27; rms_{cv} = 0,42; F_{2,12} = 58,9$$

Diese Stoffklasse zeigt somit innerhalb der Gruppe der bisher untersuchten  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Carbonylverbindungen den größten Reaktivitätseinfluss auf die Toxizität (Regressionskoeffizient  $-0,830$ ) bei zugleich kleinstem Hydrophobieeinfluss ( $-0,227$ ). In *Abb. 2* sind berechnete gegen gemessene  $\log EC_{50}$ -Werte für alle drei Stoffklassen aufgetragen. Man erkennt, dass die  $EC_{50}$ -Variation und damit die Unterschiede in der Stärke der Wachstumshemmung insgesamt gut durch das (allerdings stoffklassenspezifische) Zusammenwirken von Hydrophobie und elektrophiler Reaktivität erklärt werden können.



*Abb. 2*: Berechneter gegen experimentell gemessener  $\log EC_{50}$  (50% Wachstumshemmung der Ciliaten *Tetrahymena pyriformis* nach 48 h Exposition) für 46  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Carbonylverbindungen: 15 Aldehyde (●), 15 Ketone (■) und 16 Ester (▲). Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe der im Text angegebenen Regressionsmodelle unter Verwendung stoffspezifischer Werte für den  $\log K_{ow}$  (Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient) und den  $\log k_{GSH}$  (Geschwindigkeitskonstante zweiter Ordnung der Reaktion mit Glutathion als Modellnucleophil). Der Ausreißer Methyltiglat (im Bild rechts oben) wurde für die Kalibrierung des Ester-Regressionsmodells nicht mit verwendet; hier ist die elektrophile Reaktivität so gering, dass sie keinen Beitrag zur Toxizität liefert (siehe Text).

Bei den Estern ist zusätzlich zu den 15 Stoffen des Regressionsmodells Methyltiglat als 16. Stoff mit eingezeichnet (blaues Dreieck rechts oben im Bild). In diesem Fall besteht ein sehr großer Unterschied zwischen (aus Hydrophobie und Reaktivität) vorhergesagtem und gemessenem  $\log EC_{50}$ . Dies kann wie folgt erklärt werden: Die sehr geringe Reaktivität von Methyltiglat ( $k_{GSH} = 0,007 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) reicht für eine Reaktion mit endogenen Thiolgruppen praktisch nicht aus, so dass hier trotz grundsätzlich vorhandenem Michael-System *de facto* keine toxikologisch relevante Michael-Reaktivität vorliegt. Tatsächlich lässt sich zeigen, dass in diesem Fall der  $EC_{50}$ -Wert sehr gut einem einfachen Narkose-Modell für aliphatische Carbonsäureester entspricht. [1]

### Quantenchemische Vorhersage toxikologisch relevanter Reaktivität

Quantenchemische Methoden bieten die Möglichkeit, Molekülreaktivitäten rechnerisch zu analysieren und vorherzusagen. Neben der expliziten Berechnung von Übergangszu-

ständen für bestimmte (Modell-)Reaktionen können dafür auch störungstheoretische Ansätze herangezogen werden. Letztere sind rechentechnisch dann besonders günstig, wenn die reaktivitätsrelevante Information direkt aus Eigenschaften der Elektronenstruktur des Molekül-Grundzustandes abgeleitet werden kann. Ein Beispiel für Letzteres ist die Elektrophilie  $\omega$  eines Moleküls, welche störungstheoretisch definiert werden kann als Quotient aus dem Quadrat des chemischen Potentials  $\mu$  und der elektronischen Härte (hardness)  $\eta$ :

$$\omega = \frac{\mu^2}{2\eta}$$

Die beiden letztgenannten Größen sind ihrerseits nach Koopmans' Theorem näherungsweise durch die Energien des höchsten besetzten Molekülorbitals,  $E_{\text{HOMO}}$  (highest occupied molecular orbital), und des tiefsten unbesetzten Molekülorbitals,  $E_{\text{LUMO}}$  (lowest unoccupied molecular orbital) gegeben:

$$\mu = \frac{1}{2} (E_{\text{LUMO}} + E_{\text{HOMO}})$$

$$\eta = \frac{1}{2} (E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}})$$

Damit kann  $\omega$  aus den HOMO- und LUMO-Energien des elektronischen Grundzustands von Molekülen berechnet werden.

Wir haben kürzlich lokale und damit zentrenspezifische bzw. regiospezifische Varianten für  $E_{\text{HOMO}}$ ,  $E_{\text{LUMO}}$  und den darauf basierenden Elektrophilie-Parameter  $\omega$  abgeleitet (Dominik Wondrousch, Doktorarbeit; [4]). Eine erste Anwendung betraf die schon oben erwähnten  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Ketone und Ester. Die Detailanalyse ergab, dass deren Thiol-Reaktivität gut mit dem lokalen Elektrophilie-Parameter  $\omega_{\alpha,\beta}^q$  korreliert. Die Indizes dieses Parameters zeigen dabei an, dass bei seiner Berechnung der  $\beta$ -Kohlenstoff als Elektronenakzeptor und Angriffsstelle des Nucleophils fungiert, der Carbonyl-Sauerstoff einen Elektronendonator für die Aufnahme des Protons bei der 1,4-Michael-Addition darstellt (vgl. Schema 3), und dass in die Kalibrierung eine für die Polarisierung der reaktiven Zentren charakteristische Ladungsmenge ( $q$ ) eingeht [4] (was wir hier nicht näher erläutern).

Für die 15  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Ketone und 16  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Ester (einschließlich Methyltiglat) lautet die Regressionsgleichung zur Berechnung der Thiol-Reaktivität in Form der Geschwindigkeitskonstanten zweiter Ordnung wie folgt:

$$\log k_{\text{GSH}} = 16,2 \cdot \omega_{\alpha,\beta}^q + 2,4 \cdot I - 16,2$$

$$n = 31; r^2 = 0,91; q_{\text{cv}}^2 = 0,89; rms = 0,40; rms_{\text{cv}} = 0,44; F_{2,28} = 144,8$$

Hierbei bezeichnet  $I$  eine Indikatorvariable mit den Werten 1 für Ketone und 0 für Ester. Der Regressionskoeffizient von  $I$  zeigt somit, dass Ketone bei gleichem intrinsischen Elektrophiliewert um 2,4 log-Einheiten reaktiver gegenüber Thiolgruppen sind als Ester. Die zugehörige Datenverteilung ist in Abb. 3 dargestellt. Insgesamt bietet der quantenchemische Elektrophilie-Ansatz also eine aussichtsreiche Möglichkeit, toxi-zitätsrelevante Reaktivitäten organischer Substanzen aus ihrer Molekülstruktur vorherzusagen bzw. abzuschätzen und damit auch wertvolle Hinweise zur prognostischen Beurteilung der reaktiven Toxizität zu liefern.

### Weitere Instrumente integrierter Teststrategien

Die hier gezeigten Beispiele stellen nur einen kleinen Ausschnitt aus den insgesamt in der Entwicklung oder Validie-

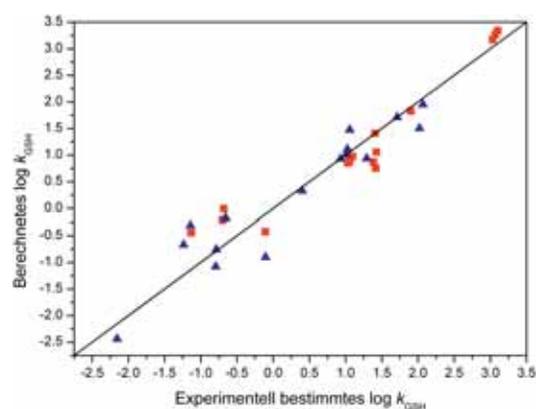


Abb. 3: Berechnete gegen experimentell gemessene Geschwindigkeitskonstante zweiter Ordnung in logarithmischer Form,  $\log k_{\text{GSH}}$  [ $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ] für die Reaktion von 31  $\alpha,\beta$ -ungesättigten Carbonylverbindungen mit Glutathion als Modell-nucleophil: 15 Ketone (●) und 16 Ester (▲). Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe eines Regressionsmodells unter Verwendung eines quantenchemischen lokalen Elektrophilie-Parameters (siehe Text).

rung befindlichen alternativen Methoden zur Bewertung des ökotoxikologischen und toxikologischen Potentials chemischer Stoffe dar. Weitere Verfahren betreffen molekularbiologische Methoden (Omics-Techniken: genomics, proteomics, metabolomics), empirisch abgeleitete toxikologische Schwellenwerte (TTC = threshold of toxicological concern), chemische Analogiebetrachtungen (read-across), chemische Kategorienbildungen, qualitative und quantitative Struktur-Aktivitäts-Beziehungen (QSAR), Spezies-Spezies-Extrapolationen, die Expositionsanalyse zur Einschränkung auf die grundsätzlich relevanten Expositionsbereiche und schließlich entscheidungstheoretische sowie statistische Verfahren zur Zusammenführung verschiedener und dabei ggf. unvollständiger oder auch gegensätzlicher Informationen. Die Beurteilung der mit Chemikalien verbundenen Wirkpotenziale wird dabei auch unterstützt durch computerisierte Methoden zur Generierung relevanter Tautomere [5] sowie zur Berechnung von H-Brückenbindungsstärken [6] und  $pK_s$ -Werten [7], womit die Milieuabhängigkeit ihrer chemischen Strukturen eingeschätzt werden kann. Auch wenn der Weg zu einem vollständigen Ersatz von Tierversuchen noch weit ist, verfügen wir heute über eine große Palette an alternativen Test- und Nichttestmethoden, mit denen bereits substantielle Reduktionen tierexperimenteller Studien möglich sind. Dabei zeigt die Erfahrung, dass die Identifizierung toxikologischer Wirkmechanismen einen Schlüssel zur Realisierung des 3R-Prinzips im Rahmen integrierter Teststrategien darstellt, und dass hierfür die Zusammenführung chemischen, biologischen und toxikologischen Wissens notwendig ist.

### Literatur

- 1 Böhme A, Thaens D, Schramm F, Paschke A, Schüürmann G 2010. Chem. Res. Toxicol. 23: im Druck
- 2 Böhme A, Thaens D, Paschke A, Schüürmann G 2009. Chem. Res. Toxicol. 22: 742-750
- 3 Schüürmann G, Ebert R-U, Chen J, Wang B, Kühne R 2008. J. Chem. Inf. Model. 48: 2140-2145
- 4 Wondrousch D, Böhme A, Thaens D, Ost N, Schüürmann G 2010. J. Phys. Chem. Lett. 1: 1605-1610
- 5 Thalheim T, Vollmer A, Ebert R-U, Kühne R, Schüürmann G 2010. J. Chem. Inf. Model. 50: 1223-1232
- 6 Schwöbel J, Ebert R-U, Kühne R, Schüürmann G 2009. J. Comput. Chem. 30: 1454-1464
- 7 Yu H, Kühne R, Ebert R-U, Schüürmann G 2010. J. Chem. Inf. Model., akzeptiert

# Bier ist Genuss, Lebensfreude und Energie Michael Eßlinger



Blick auf die zweitkleinste Brauerei in Freiberg und ins „Herz der Brauerei“, das Sudhaus

Für jeden Menschen ist das Naturprodukt Bier ein besonderes, einzigartiges Erlebnis. Emotional stehen Genuss und Lebensfreude im Vordergrund, faktisch ist es das reinste aller Lebensmittel und der erfrischendste aller Energieträger. So nimmt es nicht wunder, dass die „Biervorlesung“ am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen angesiedelt ist. Acht Studiengänge haben in Freiberg die Möglichkeit, ihr Bierwissen auf eine breite Basis zu stellen und sich mit der Theorie und Praxis der Bierherstellung vertraut zu machen. Und die Praxis soll dabei nicht zu kurz kommen.

Schon 2005 bei der Suche nach einem Nachfolge-Dozenten für diese Vorlesung knüpfte IEC-Institutsdirektor Professor Bernd Meyer eine Bedingung an die Fortführung dieser Lehrveranstaltung: Ein Kleinsudwerk musste her, mit dem Bier für sensorische Prüfungen hergestellt werden konnte. Gesagt, getan: in Zusammenarbeit mit dem Freiburger Brauhaus wurde ein kleines Sudwerk für 150 Liter Ausschlagwürze beschafft, mit dem der Schritt vom Malz zur Bierwürze handwerklich vollzogen werden kann. Danach sorgt die stets frische, gärkräftige Bierhefe aus dem Brauhaus dafür, dass alle Vorgänge bis zum fertigen Bier gelingen und das Produkt allen Prüfern bestens mundet.

Den Hörer täuscht der anfängliche lockere Exkurs in die Bierhistorie über die folgenden trockeneren Kapitel. Obwohl beim Mälzen viel von Feuchtigkeitsgehalten die Rede ist, führen die „staubigen

Brüder der Brauer“ letztendlich doch einen Kampf zuerst mit, dann aber gegen das Wasser. Die Keimung des Gerstenkorns kommt durch Wasser und Luft in Gang, mit Wasserentzug fixiert man die Wachstumserscheinungen, die Enzymbildung und die Kornlösung und erzielt gleichzeitig je nach Abdarrtemperatur ein malzig-caramelartiges Aroma und die gewünschte Farbe. Das Produkt des ersten biochemischen Schrittes der Bierbereitung wird wegen seiner charaktergebenden Eigenschaften deshalb auch als „Seele des Bieres“ bezeichnet.

Weiter geht es mit dem Hopfen, der zwar zur Familie der Hanfgewächse gehört, aber ein Würzmittel mit völlig anderen, nämlich nur beruhigenden Wirkungen ist. Bitterstoffe (Humulone) und Aromastoffe (Hopfenöle) machen insbesondere Biere Pilsner Brauart interessant und beliebt. Freiberg hat übrigens schon 1863 ein helles, hopfenbetontes Bier nach Pilsner Art hergestellt – und das war nur möglich wegen des heute noch verwendeten idealen weichen Brauwassers. Der mengenmäßig bedeutendste Rohstoff des Bieres hat in Freiberg nämlich nur 2 deutsche Härtegrade Karbonathärte und 2 deutsche Härtegrade Nichtkarbonathärte und wird wegen dieser natürlichen Zusammensetzung ohne weitere Aufbereitungsmaßnahmen direkt zum Brauen verwendet.

Bleibt noch die Besprechung des „Haustiers der Brauerei“, des Organismus' Bierhefe. Die Zuckerpilze haben die Brauer seit jeher fasziniert und so nimmt

es nicht wunder, dass ein niederländischer Brauer 1680 das erste brauchbare Mikroskop zusammengebastelt hat und als erstes Studienobjekt die Hefe aus seiner Brauerei in Augenschein nahm. Die 10µm große Brauereihefe hat also die Ehre, als erster Mikroorganismus dem Menschen als sichtbare Zelle gegenübergetreten zu sein. Die Hochachtung ist gegenseitig: ihre Stoffwechselprodukte machen die Hefe bei Menschen auf allen Erdteilen so beliebt.

Die folgenden Stunden widmen sich dem zweiten biochemischen Schritt zum Bier, der Würzebereitung. Dazu wird das Malz geschrotet, mit Wasser vermengt („Einmaischen“) und bei den Optimaltemperaturen der die Malzinhaltstoffe abbauenden Enzyme gemaischt. Beim Läutern der verzuckerten Maische gewinnt man schließlich die Bierwürze, und diese wird mit Hopfen gekocht und dann abgekühlt.

Mit der Hefe bringt man ein völlig anderes Enzymsystem zum Wirken und ist damit beim dritten biochemischen Prozess der Bierbereitung. Die belüftete und mit 20 Millionen Hefezellen pro Milliliter Würze versetzte Suspension beginnt den Extrakt zu vergären, und wenn alle geschmacksrelevanten Reifungsvorgänge abgeschlossen sind, kann gekühlt werden. Mit der Steuerung dieser Vorgänge zielt man auf ein aufregendes Geschmackserlebnis der besonderen Art ab: frisches Bier.

Nach den Methoden zur Verlängerung der Haltbarkeit, der Abfüllung von



Gott gebe Glück und Segen drein – Studenten brauen einen Sud am IEC auf der „Reichen Zeche“

Bier und den speziellen Herstellverfahren werden die Bierpflege beim Ausschank und natürlich die sensorische Analyse und die Eigenschaften von Bier besprochen. Im Kapitel „Bier und Gesundheit“ erfahren die Studenten dann, warum jeder Tag ohne Biertrinken ein Gesundheitsrisiko ist und wie jeder seine Blutalkoholkonzentration errechnen kann. Weitere Themen behandeln den Biermarkt und die Gewinnung von Spirituosen. Das in den Vorlesungen erworbene Wissen wird im Praktikum auf der „Reichen Zeche“ umgesetzt. Dort hat sich in diesem Jahr eine Destille für die höhergeistige Spirituosenherstellung zum

Kleinsudwerk hinzugesellt; selbstverständlich sind beide Anlagen beim Hauptzollamt Erfurt angemeldet. Der letzte Vorlesungsteil findet schließlich in der Brauerei Am Fürstenwald statt. Nach einer Betriebsbesichtigung werden die Studenten dann in die Geschmackswelt der Produkte des Freiburger Brauhauses entführt, und es gibt auch das im Praktikum eingebraute Spezialbier zu trinken. Es gab kein Jahr, wo dieser meist mit Caramalzen und etwas stärker eingebraute Sud nicht höchstes Lob einheimste ...

Obwohl Bier zu den eher kalorienärmeren Getränken zählt, kann man nach einer gewissen Anlaufphase nachempfinden, dass der Trunk stärkt, die Gespräche anregt und die Geselligkeit fördert. Den physiologischen Brennwert in kJ/l kann man übrigens ganz leicht errechnen, wenn man den Stammwürzegehalt in GG % mit dem Faktor 150 multipliziert. Beispielsweise hat Freiburger Pils 11,5 % Stammwürze und demzufolge 1.700 kJ/l (oder 410 kcal/l). Kennt man die Stammwürze nicht, so kann man sich auch in erster Näherung mit dem auf dem Etikett deklarierten Alkoholgehalt behelfen ( $VV \% \text{ Alkohol} \times 340 = \text{kJ/l}$ ).

Ist die Verkostungstour vom Leichten

zum Bock, vom Mildem zum Bitteren, vom Hellen zum Dunklen und vom Untergärigen zum Obergärigen absolviert, stärken sich die wissensdurstigen Kommilitonen mit einem typisch deutschen Essen: Schweinshaxe mit Sauerkraut und Freiburger Pils soviel das Herz begehrt.

Das Sudwerk auf der Reichen Zeche wird aber nicht nur zum Einbrauen von Spezialbieren genutzt; hier finden auch Produktentwicklungen für das Freiburger Brauhaus statt. Überhaupt ist die Zusammenarbeit von TU und Brauerei recht lebendig. Zahlreiche Semester- und Diplomarbeiten und 2002 sogar eine am Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik abgeschlossene Promotion belegen dies.

Das Freiburger Brauhaus hält darüber hinaus als vielfältiges technisches Anschauungsobjekt her: beispielsweise bei der Sommeruniversität, wo Abiturienten zum Studium einer Ingenieurwissenschaft animiert werden, oder als Exkursionsziel für Mikrobiologen, Angewandte Naturwissenschaftler, Chemiker, Automatisierer, Verfahrens- oder Energietechniker. Alle Disziplinen finden Praxisanwendungen ihres Fachgebietes verwirklicht.

## Von den Göttern geschenkt, von den Menschen gemacht – Vorlesung „Weinbau und Kellerwirtschaft“ im Studium generale

Das Wissen, das hinter der Frage nach der Entstehung eines anspruchsvollen Weines aus einfachen Trauben steht, füllt mehrere Bibliotheken. Dennoch steckt weit mehr hinter erfolgreichem Weinbau und Kellerwirtschaft, als das Wissen um Fachpublikationen und das Auswendiglernen von Tabellen und Rezepturen.

Wie kein anderes Getränk unserer Zeit vereint der Wein Menschen, Klima, Boden, Geschichte, Wissenschaft, Religion und Mythen. Einstellung und Philosophie der Erzeuger spiegeln sich im Glase wider und sind letztendlich entscheidend für den Erfolg jedes Weinguts.

Diese Vorlesung bietet die Chance, einen Einblick in die geheimnisvolle Welt des Weins zu erhalten. Die Zuhörer sind somit eingeladen, ein komplettes Weinjahr mit Vegetationspflege und Vinifikation mitzuerleben und sozusagen live bei der Entstehung des nächsten Weinjahrganges dabei zu sein. Das Erwerben eines soliden Grundwissens über den Weinbau und die Kellerwirtschaft, Ex-

kursionen in die Weinberge und in den Keller des Weinguts Schloss Proschwitz nach Meißen sowie regelmäßige Verkostungen edler Weine sind Bestandteil der Vorlesung. Diese umfasst neben einer Einführung in die Geschichte des Weinbaus im Einzelnen die Bereiche der so genannten Traubenproduktion, der Vinifikation, des Marketings und der Organoleptik. Sie wendet sich an Studie-

rende von Studiengängen mit biotechnologischen und/oder ökologischen Inhalten wie Angewandte Naturwissenschaft, Geoökologie, Chemie, Verfahrenstechnik und Umwelt-Engineering. Jedoch auch Gasthörer, die sich für Wein und seine Herstellung interessieren und genauere Kenntnisse erwerben wollen, sind natürlich herzlich willkommen.

■ Georg Prinz zur Lippe



Weingut Schloss Proschwitz

# Erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg und der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meissen, besonders nach 1980

Wolfgang Schulle, Bernd Ullrich

Im Jahre des 300-jährigen Bestehens der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meissen erscheint es angemessen, auf die erfolgreiche wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit zwischen der Manufaktur und dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg hinzuweisen. Das Institut war bis zur Umbenennung 2002 unter dem Namen Institut für Silikattechnik deutschlandweit und darüber hinaus als hervorragende Ausbildungs- und Forschungsstätte der Keramik bekannt. Das Institut war 1950 als Institut für Keramik gegründet worden, wurde 1954 in Institut für Silikathüttenkunde umbenannt und erhielt schließlich 1968 im Rahmen einer Hochschulreform die Bezeichnung Institut für Silikattechnik.

Ungeachtet der mehrfachen Namensänderung bestanden seit Gründung ständige Kontakte zur Manufaktur in Meißen, die sich besonders nach 1980 intensiv gestalteten. Bereits vor 1950 sind über zweihundert Jahre Kontakte zwischen der Manufaktur und der Bergakademie Freiberg nachweisbar. Die Erfindung des Europäischen Hartporzellans und die Entwicklung seiner ersten Fertigungsstätte sind vielfältig verknüpft mit Freiberg und seiner Bergakademie.

## Historische Kontakte

An der Erfindung des Europäischen Hartporzellans und am Geschehen in den Anfangsjahren der Entwicklung der Manufaktur waren bereits Freiberg Berg- und Hüttenleute beteiligt. Zur Unterstützung der anfänglichen Goldtintierarbeiten des Alchimisten Johann Friedrich Böttger (1682-1719) in Dresden unter Aufsicht des sächsischen Universalgelehrten Ehrenfried Walter von Tschirnhaus (1651-1708) [15] waren seit 1703 bis zu 14 spezialisierte Freiberg Berg- und Hüttenleute als Gehilfen tätig, die auf Anweisung Augusts des Starken durch den Freiberg Oberzehntner Pabst von Ohain (1656-1728) abgestellt worden waren [9, 13, 14].

Wann sich die Arbeiten auf die Entwicklung keramischer Gebrauchswerkstoffe orientierten, ist nicht eindeutig nachweisbar. Wahrscheinlich von 1705 an traten solche Arbeiten, wie die zur



Abb. 1: Johann Friedrich Böttger

Herstellung von Fayencen, imitiertem Marmor, Jaspis, Steinzeug und chinesischem Porzellan unter dem Einfluss von Tschirnhaus zunehmend in den Vordergrund. Zu einer direkten Beteiligung an den keramischen Entwicklungsarbeiten sind folgende Berg- und Hüttenleute hervorzuheben [14]:

- Gottfried Pabst von Ohain (1656-1729)
- Balthasar Görbig (1672-1739)
- Johann Andreas Hoppe (1692-1731)
- David Köhler (1683-1723)
- Michael Morgenstern (?-1725)
- Johann George Schuberth (1682-1732)
- Samuel Stöltzel (1685-1737)
- Christoph Wieden (?-1717)
- Paul Wildenstein (1681-1744)

Unter ihrer Mitwirkung konnte 1707 das rote Böttgersteinzeug [19] und schließlich im Januar 1708 das Europäische Hartporzellan [2, 3, 17, 21] erfolgreich entwickelt werden. Einige haben auch später nach Gründung der Manufaktur am 24. Januar 1710 auf der Albrechtsburg in Meißen eine bedeutende Rolle gespielt:

- David Köhler [10], der über zwölf Jahre die Verantwortung für die gesamte Masseaufbereitung der Manufaktur trug und dem etwa Ende 1719 die bedeutsame Entwicklung einer brauchbaren unterglasurblauen Farbe gelang;
- Samuel Stöltzel [11] (nach 1723 in Köhlers Nachfolge Obermeister für den technischen Bereich der Manufaktur), der nach 1724 gemeinsam mit dem

Freiberger Johann George Schuberth feldspathaltige Flussmittel in die Porzellanmasse einführte, was den wichtigen Übergang vom Kalkporzellan Böttgers zum heutigen Feldspatporzellan ermöglichte, und der 1720 den berühmten Porzellanmaler Johann Gregorius Höroldt (1696-1775) an die Manufaktur brachte;

- Andreas Hoppe [14], der eine spezielle Porzellanmasse für Unterglasurmalerei entwickelte.

Auch in späteren Jahren ist die einflussnehmende Tätigkeit Freiberg Berg- und Hüttenleute nachweisbar. Dem Freiberg Oberhüttenvorsteher C. Klinghammer gelang 1789 die Herstellung der keramischen Farbe Purpur, vor allem des so genannten Rosenpurpurs.

C. F. Wentzel, Freiberg Oberhütten-assessor, war zwischen 1778 und 1790 oft monatelang auf der Albrechtsburg in Meißen tätig. Ihm wird eine deutliche Verbesserung des Unterglasurkobaltblaus zugeschrieben. Im Jahre 1782 gelang es ihm, das von der französischen Porzellanmanufaktur in Sevres bekannte „bleu royale“ zu entwickeln. Nach 1814 übernahm C. W. von Oppel die Direktion der Meissener Porzellanmanufaktur. Er war der zweite Sohn des Oberberghauptmanns F. W. von Oppel, dessen ehemaliges Wohnhaus noch heute als Hauptgebäude der Bergakademie Freiberg dient. Nach seiner Ernennung zum Direktor der Porzellanmanufaktur durch den sächsischen König berief C. W. von Oppel drei weitere Freiberg Bergakademisten nach Meißen, von denen H. G. Kühn der erfolgreichste und von 1849 bis 1870 als Bergrat und geheimer Bergrat sein Nachfolger im Amt des Direktors der Porzellanmanufaktur Meissen wurde. Kühn stellte alle Produktionsabteilungen auf den neuesten technischen Stand um, wobei er auch neue maschinentechnische Lösungen einführte. Im künstlerischen Bereich führte er neue Formen und Dekore ein, die dem Zeitgeschmack Rechnung trugen. Ohne die Manufakturtraditionen zu verletzen, entwickelte er die Manufaktur zu einem wirtschaftlich leistungsfähigen Unternehmen. In die Zeit seines Direktorats fielen auch die Errichtung des neuen und zweckmäßige



Abb. 2: Bierkrug, poliert mit geschliffenem Dekor, Chinoiserien nach Paul Decker, Töpferzeichen des Peter Geithner, Böttgersteinzeug 1710–1711

ren Manufakturbetriebs im Triebischtal von Meißen und die Übersiedlung der Manufaktur von der Albrechtsburg in ihr neues Domizil 1861 bis 1864 auf einem großzügigen Komplex von ca. 5,4 ha. Zu erwähnen ist auch F. A. Köttig, der sich vom „Klaubejungen“ im Freiburger Bergbau über den Absolventen der Bergakademie bis zum 1. Betriebsdirektor der Manufaktur emporgearbeitet hatte, das künstliche Ultramarin erfand und die Brennöfen der Porzellanmanufaktur von Holz- auf Steinkohlenfeuerung umstellte. Im ausgehenden 19. Jahrhundert erwarb sich H. K. Brunnemann, ein weiterer Absolvent der Bergakademie, Verdienste. Nach kurzer Tätigkeit in den Freiburger Hütten trat er 1862 in die Porzellanmanufaktur Meissen ein und übernahm dort 1895 das Direktorat. 1901 trat er als Geheimer Bergrat in den Ruhestand. William Funk (1879–1945) war vor dem Ende des 2. Weltkriegs der letzte Direktor der Manufaktur, der die Bergakademie als Berg- und Hüttenmann absolviert hatte [12]. Funk trat 1906 als Betriebsassistent in die Manufaktur ein. Besonders hervorzuheben ist, dass Funk 1919 das Rezept des roten Böttgersteinzeugs neu entwickelte, das bereits im 18. Jahrhundert in Vergessenheit geraten war. Von 1927 bis 1939 wirkte Funk als Direktor der Meissener Manufaktur und trat dann in den Ruhestand.

## Zusammenarbeit nach Gründung des Lehrstuhls für Keramik 1950

Mit der Berufung von Prof. Dr. phil. nat. Theodor Haase 1950 zum ordentlichen Professor für Keramik an die Bergakademie Freiberg begann die Zeit direkter, auch persönlich geprägter Kontakte zur Manufaktur in Meißen, die in unterschiedlichen Formen der Zusammenarbeit ihren Ausdruck fanden. Haase gründete 1950 das Institut für Keramik und veranlasste 1954 unter dem Gesichtspunkt der Ausweitung des Aufgabenbereiches auf weitere Inhalte, wie Glas- und Bindemitteltechnik, die Umbenennung in ein Institut für Silikathüttenkunde.

Mit Beginn der Ausbildung in Freiberg bestand seit 1956 die Möglichkeit, der Industrie Diplomingenieure mit speziellen keramischen Kenntnissen zur Verfügung zu stellen. Davon profitierte in den folgenden Jahren auch die Manufaktur in Meißen. Besonders zwei leitende Mitarbeiter sind zu nennen, die als Absolventen aus Freiberg in der Manufaktur nach 1950 tätig waren: Der langjährige Direktor für Technik, Werner Graf, der nach einer Betriebsassistentenzeit nach dem altersbedingten Ausscheiden des verdienstvollen Direktors für Technik, Dr. W. Miels, 1962 dessen Aufgabenbereich bis 1991 übernahm, sowie Prof. Dr. Karl Petermann, der nach einer vorangegangenen Berufung zum ordentlichen Professor für Keramik an die Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar 1969 die Leitung der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meissen bis zu seinem Tode im Jahr 1983 innehatte. Petermann gebührt das Verdienst, unter Beibehaltung der Manufakturtraditionen die Porzellanmanufaktur Meissen zu einem nach modernen keramischen Technologien produzierenden Betrieb entwickelt zu haben.

Ausgehend von persönlichen Kontakten – besonders zu Dr. M. Miels und W. Graf – veranlasste Prof. Haase in Einzelfällen eine Unterstützung der Manufaktur bei der Lösung wissenschaftlich-technischer Probleme durch studentische Arbeiten bzw. wurden die Ergebnisse solcher Arbeiten aus dem Institut den Verantwortlichen der Manufaktur zur Kenntnis übergeben, wenn dazu ein Interesse vorlag. Im Zeitraum 1950 bis 1980 betraf dies ca. acht Studien- und drei Diplomarbeiten. Allerdings war für keine Arbeit eine direkte Auftragsvergabe der Manufaktur erfolgt.

Die inhaltlichen Probleme betrafen Fragen der Bewertung von Rohstoffen

(Tone, Kaoline, feldspathaltige Flussmittel), der bildsamen und der Gießformgebung sowie der Eigenschaftsbeurteilung von Glasuren und keramischen Farben. Die Porzellanmanufaktur ihrerseits ermöglichte dem Institut zur Unterstützung der Ausbildung die Durchführung von studentischen Betriebsexkursionen und stellte in Einzelfällen Rohstoff- sowie Werkstoffproben für Untersuchungen und als Anschauungsmaterial zur Verfügung.

## Zusammenarbeit nach 1980

Etwa ab 1980 kam es zu einer deutlichen Intensivierung der direkten Zusammenarbeit zwischen dem Institut in Freiberg und der Manufaktur in Meißen. Ein Grund war nicht zuletzt der gute persönliche Kontakt der Institutsleitung zur Direktion in Meißen, besonders unter dem Direktorat von Professor Petermann und Dr. Hannes Walter, der von 1989 bis 2009 die Meissener Manufaktur leitete.

## Aktivitäten zur Böttgerehrung 1982

Ein erster Höhepunkt der erneuerten, ausgeweiteten Zusammenarbeit ergab sich im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung der Veranstaltungen zur Ehrung von Böttger anlässlich seines 200. Geburtstags. Das Institut war maßgeblich beteiligt an der inhaltlichen Gestaltung des Buches „Johann Friedrich Böttger – Die Erfindung des Europäischen Porzellans“, das vom Verlag Edition Leipzig 1982 in Lizenz bei der Bücher-gilde Frankfurt/Main und beim Verlag W. Kohlhammer 1982 verlegt wurde sowie 1984 in französischer Sprache bei Edition Pygmalion Paris erschien. Das Buch wurde zum international anerkannten Standardwerk [3].

Verantwortlich eingebunden war das Institut auch in die Durchführung des Internationalen Symposiums am 5./6. Februar 1982 in Dresden mit der Organisation des Vortragsprogramms und einem eigenen bedeutsamen Vortrag zu „Der Werkstoff Böttgerporzellan – seine Gefügecharakteristik und werkstoffliche Weiterentwicklung“. Dem Vortrag waren umfangreiche Untersuchungen an historischen Porzellanen vorausgegangen, die erstmals wissenschaftlich belegen konnten, dass in Sachsen ein eigenständiges neuartiges europäisches Hartporzellan entwickelt worden war, das in seinem Eigenschaftsprofil deutliche Unterschiede zu den bisher bekannten ostasiatischen Porzellanen aufweist, wie Vergleiche von

Tab. 1: Die Probematerialien nach zeitlicher und sachlicher Herkunft

Probennr.	Sachliche Herkunftscharakteristik	Herstellungszeitraum
1	Böttgerporzellan; Scherben einer Deckelvase ohne Bemalung, 55 cm Höhe	um 1715
2	Meissener Porzellan; Scherben einer Groteskvase von Kirchner	etwa 1731
3	Meissener Porzellan; Scherben von Speiseserviceteilen	1981
4	Chinesisches Porzellan; Scherben eines Gefäßes aus Kingtetschen	letztes Viertel 17. Jh.
5	Japanisches Porzellan; Scherben eines Tellers im Imari-Stil	um 1700

Tab. 2: Dichte, Rohdichte, Porosität und chemische Zusammensetzung historischer Porzellanproben

Probennr.	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> )	Gesamtporosität (%)	Orientierende chemische Zusammensetzung (%)					
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	Rest
1	2,58	2,50	3,1	61	33	0,1	0,2	4,8	0,9
2	2,57	2,48	3,5	59	35	4,0	0,8	0,3	0,9
3	2,57	2,45	4,7	66	29	3,4	0,8	0,3	0,5
4	2,55	2,38	6,7	72	20	5,7	0,5	0,7	1,1
5	2,53	2,32	8,3	74	19	5,0	0,4	0,8	1,3

Eigenschaftskennwerten in *Tab. 1 bis 3* erkennen lassen. Auch eine Gegenüberstellung von Gefügeabbildungen in den *Abb. 3 und 4* belegt diese Aussagen [1]. Gemeinsam mit der Manufaktur konnten auch grundlegende Erkenntnisse dazu vorgelegt werden, dass die Erfindung des Europäischen Hartporzellans eine systematische und schöpferische Entwicklung [1, 2] gewesen ist.

**Zusammenarbeit bis zur Wende 1990**

Ausgehend von der erfolgreichen Zusammenarbeit anlässlich der Böttgerehrung entwickelte sich in den folgenden Jahren ein intensiver wissenschaftlich-technischer Arbeitskontakt. In Vorbereitung auf dieses Jubiläum wurde im Auftrag der Staatlichen Porzellanmanufaktur Meissen an der Bergakademie Freiberg eine Reihe von technikhistorischen und naturwissenschaftlichen Projektarbeiten begonnen. Die naturwissenschaftlichen Arbeiten im Institut für Silikatechnik bezogen sich auf historische Erzeugnisse der Manufaktur ab 1710 und der Rohstoffe, die für die Produktion dieser Porzellane eingesetzt wurden. Ziel dieser

Arbeiten war es, erstmals die Gefügeentwicklungen und makrochemischen Zusammensetzungen der Erzeugnisse der Porzellanmanufaktur ab ihrer Gründung bis zum Ausgang des 19. Jahrhunderts mit Hilfe von rasterelektronenmikroskopischen (REM) und elektronenstrahlmikroanalytischen Untersuchungen (EDAX) zu untersuchen.

Darüber hinaus sollten röntgenfluoreszenzanalytische Untersuchungen (RFA) die Spurenelementgehalte in den eingesetzten keramischen Rohstoffen und in den daraus hergestellten keramischen Produkten aufzeigen. Da die Einsatzzeiten der verschiedenen Rohstoffe in der Porzellanmanufaktur Meissen archivarisch gut belegt sind, konnten die in den Rohstoffen enthaltenen charakteristischen Spurenelemente und ihre Konzentrationsverhältnisse in den Porzellanerzeugnissen ebenfalls qualitativ und quantitativ festgestellt werden. Damit wurde erstmals eine von der kunsthistorischen Einschätzung unabhängige Altersdatierung auf der Basis von naturwissenschaftlichen Untersuchungen möglich [7].

Tab. 3: Phasenbestand (halbquantitativ) historischer Porzellane

Probennr.	Mullit	Phasenbestand in %	
		Quarz	Glasphase
1	28	3	ca. 69
2	29	2	ca. 69
3	28	2	ca. 70
4	10	14	ca. 76
5	11	14	ca. 75

Von 1986 bis 1990 sind an über 200 Bruchstücken sicher datierter Erzeugnisse der Porzellanmanufaktur Meissen rasterelektronenmikroskopische Gefüge- und Mikrosondenuntersuchungen zur Ermittlung des Hauptelemente-Chemismus durchgeführt worden. Mit Hilfe der RFA wurden insgesamt 2.900 Spurenelementanalysen an über 1.100 sicher datierten historischen Erzeugnissen der Manufaktur erstellt. Diese umfangreichen RFA-Untersuchungen sind im Depot der Porzellanmanufaktur Meissen, in den Porzellansammlungen des Zwingers/Dresden und in der Porzellansammlung des Bayerischen Nationalmuseums München durchgeführt worden. Auf Grund der Ergebnisse der komplexen Untersuchungen waren bei den analysierten historischen Erzeugnissen der Porzellanmanufaktur Meissen von 1710 bis 1900 sieben Produktionsperioden erkennbar, die sich durch charakteristische stoffliche und Gefügeparameter voneinander abheben. Damit wurde es erstmals möglich, Echtheitsuntersuchungen und Altersbestimmungen von historischen Erzeugnissen der Manufaktur unabhängig von kunsthistorischen Aussagen zu treffen. Zur Unterstützung dieser Arbeiten, die weitgehend durch Dr. B. Ullrich ausgeführt bzw. betreut wurden, sind in direkter Abstimmung mit der Manufaktur in Meißen zwei Diplomarbeiten entstanden [5, 6].

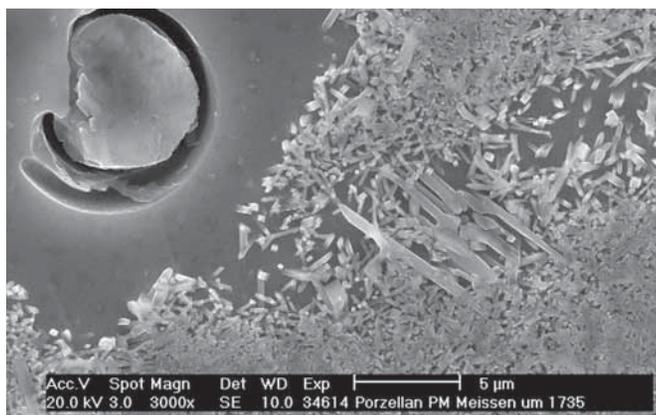


Abb. 3: REM-Aufnahme des Gefüges einer historischen Meissener Porzellanprobe (um 1735); Vergr. 3000 ×

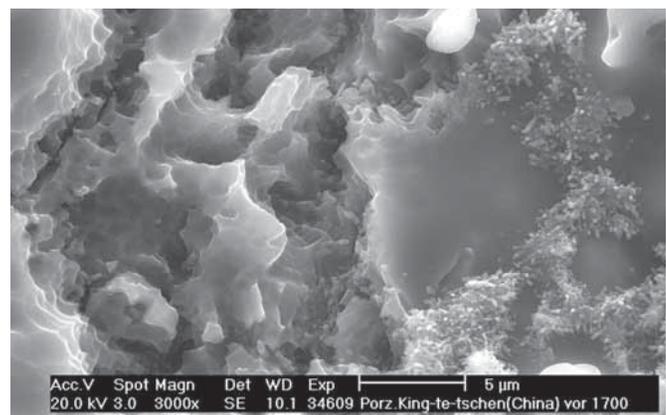


Abb. 4: REM-Aufnahme des Gefüges einer historischen ostasiatischen Porzellanprobe (chinesisch, Kingtetschen vor 1700); Vergr. 3000 ×



Abb. 5: REM-Aufnahme der Kontaktzone Glasur/Scherben einer historischen Meissener Porzellanprobe (um 1735); Vergr. 500 ×



Abb. 6: REM-Aufnahme der Kontaktzone Glasur/Scherben einer historischen ostasiatischen Porzellanprobe (chinesisch, Kingtetschen vor 1700); 500 ×



Abb. 7: Typisches Gefüge eines Böttgersteinzeugs (18. Jh.); Vergr. 5000 ×

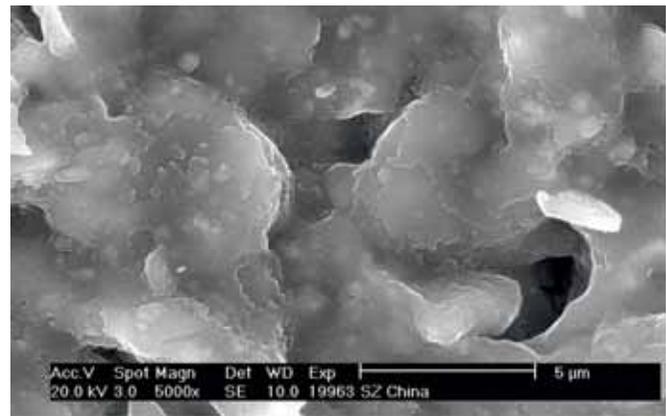


Abb. 8: Typisches Gefüge eines Steinzeugs aus China (18. Jh.); Vergr. 5000 ×

Interessante neue Ergebnisse ergaben auch Untersuchungen an den Glasuren historischer Meissener Porzellane im Vergleich zu historischen ostasiatischen Porzellanen [4], wobei besonders der Kontaktbereich zwischen Glasur und Scherben Unterschiede erkennen lässt. Während die Meissener Porzellane eine deutliche Kontaktzone mit intensiver Nadelmullitbildung zeigen, ist eine solche Zone bei den ostasiatischen Porzellanen weniger ausgeprägt, was auf niedrigere Ausbrandtemperaturen hinweist und in den *Abb. 5 und 6* zu erkennen ist.

### Zusammenarbeit nach 1990

Eine weitere Intensivierung der Zusammenarbeit setzte nach 1990 ein. In deren Rahmen wurden gemeinsame Aktivitäten realisiert, die von der Manufaktur z. T. finanziert worden sind. Am 15.4.1991 wurde in Freiberg ein Symposium zu Fragen historischer Meissener Porzellane mit internationaler Beteiligung durchgeführt, auf dem auch zu den Freiburger Arbeitsergebnissen umfangreich berichtet wurde. Hervorzuheben sind auch die gemeinsame Organisation und Vortragstätigkeit über Arbeitsergebnisse von Projekten auf Bezirksgruppen-

tagungen der Deutschen Keramischen Gesellschaft 1992 in Meißen, 1995 in Freiberg und im Rahmen der Jahrestagung der Gesellschaft 1999 in Freiberg [8, 11, 14].

Im Auftrag der Manufaktur wurden 1994 umfangreiche Untersuchungen zum Verformungsverhalten bildsamer keramischer Massen in Abhängigkeit von den eingesetzten bildsamen keramischen Rohstoffen (Tone und Kaoline) ausgeführt, die wertvolle Erkenntnisse zum zweckmäßigen Rohstoffeinsatz ergaben. Im Jahre 2001/2002 beauftragte die Manufaktur das Institut in Freiberg mit „Untersuchungen zur Resistenz von Aufglasurfarben“, die weitgehend im Rahmen einer Diplomarbeit realisiert wurden [16]. Die Diplomandin hat später nach Abschluss ihrer Promotion am Institut 2008 die verantwortliche Tätigkeit der Leitung des Labors in der Meissener Manufaktur übernehmen können. Aus Anlass einer Jahresveranstaltung der „Freunde des Meissener Porzellans“ am 20.8.2005 in der Meissener Manufaktur berichteten Prof. Schulle und Dr. Ullrich ausführlich zu „Naturwissenschaftliche Untersuchungen an historischen Meissener Porzellanen“. Böttgersteinzeuge

spielten bei den Untersuchungen in den 1980er und 1990er Jahren eine untergeordnete Rolle. Erst das 300-jährige Jubiläum dieses Werkstoffs im Jahr 2007 führte zur intensiveren Beschäftigung mit ihm und zu gemeinsamen Aktivitäten bei wissenschaftlichen Analysen sowie zur Vorbereitung der Festveranstaltung am 10.11.2007 in Meißen aus Anlass der Erfindung des Böttgersteinzeugs vor 300 Jahren [19, 20]. Die Untersuchung historischer Böttgersteinzeuge des 18. Jahrhunderts im Vergleich zu Steinzeugen anderer Herstellungsregionen wie Brandenburg und China, zeigte bezüglich der Hauptbestandteile und der Spurenelementführung keine Unterschiede. Dies war wenig verwunderlich, da rotbrennende Steinzeugtone weltweit aus Primärgesteinen nach gleichen geologischen Gesetzmäßigkeiten entstehen und daher ähnliche Eigenschaften aufweisen. Deutliche Unterschiede indizierten erst die rasterelektronenmikroskopischen Gefügeuntersuchungen. Während chinesische Steinzeuge dichte verglaste keramische Scherben zeigten, offenbarten Böttgersteinzeuge mullitreiche Gefüge mit gut sichtbaren Restquarzen, wie *Abb. 7 und 8* erkennen lassen.

Anlässlich des 300. Jubiläums der Böttgerporzellanherstellung im Jahre 2008 bestand in der Porzellanmanufaktur Meissen der Wunsch, ein solches Porzellan auf der Basis der historisch überlieferten Rezeptur vom 17. Januar 1708 herzustellen. In Vorbereitung dazu wurde bereits 2005 eine entsprechende Diplomarbeit in Freiberg durchgeführt [18]. Dieser folgten weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der Manufaktur. In der Rezeptur vom Januar 1708 ist die Verwendung eines Tones aus der Nähe der Stadt Colditz in Sachsen und von „Alabaster“ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dokumentiert. Nach dieser Rezeptur wurde im Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik ein Versuchsporzellanversatz hergestellt und gesintert.

Das bei ca. 1400 °C gesinterte Brennprodukt zeigte ein starkes Aufblähen.  $\text{CaSO}_4$  spaltet bei der angegebenen Sintertemperatur gasförmiges  $\text{SO}_2$  bzw.  $\text{SO}_3$  ab, was ein Aufblähen des schon verdichteten Porzellans bewirkt. Setzt man dagegen „Kreide“ ( $\text{CaCO}_3$ ) in der angegebenen historischen Rezeptur ein, ist ein weitgehend fehlerfreies Porzellan herstellbar, denn die Abgabe von gasförmigem  $\text{CO}_2$  erfolgt bereits ab 800 °C, also in einem Temperaturbereich, wo ein problemloser Austritt des Reaktionsgases aus dem noch nicht dichten Porzellankörper möglich ist. Nach dieser „Berichtigung“ des im historischen Rezept offenbar falsch bezeichneten Rohstoffs wurde in Colditz der nicht mehr unmittelbar zugängliche historische Ton neu erkundet, aufgeschlossen, abgebaut, aufbereitet und in der Porzellanmanufaktur Meissen zu einem originalen Böttgerporzellan erfolgreich verarbeitet [22].

Das Institut hat auch maßgeblich bei der Gestaltung des 300-jährigen Jubiläums der Erfindung des Europäischen Hartporzellans mitgewirkt. Dies betraf besonders die Festveranstaltung zur Eröffnung der Ausstellung „300 Jahre Porzellanerfindung in Sachsen – vom europäischen Porzellan zum Hightech-Produkt“ auf der Albrechtsburg in Meißen sowie die Konzipierung der dazu gestalteten Ausstellung vom 14. März bis 8. Juni 2008 [23].

Das Institut war auch eingebunden in Feierlichkeiten, die 2010 zum 300-jährigen Jubiläum der Gründung der Porzellanmanufaktur durchgeführt wurden, wie das Symposium am 25.6.2010 in Meißen aus Anlass des Jahrestreffens der „Freunde des Meissener Porzellans“.

## Ausblick

Die seit 1950 bestehenden Kontakte zwischen der Porzellanmanufaktur Meissen und dem Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg, die besonders nach 1980 erfolgreich intensiviert und gestaltet worden sind, bilden eine solide Basis dafür, dass an die erfolgreiche Zusammenarbeit auch in den kommenden Jahren angeknüpft wird. Damit würde eine über 300-jährige Tradition der Einflussnahme und Mitwirkung Freiburger Wissenschaftler bei der Porzellanherstellung in Europas erster Porzellanmanufaktur ihre Fortsetzung finden.

## Bibliografie der Veröffentlichungen des Instituts zur Manufaktur und ihren Erzeugnissen (nach 1980)

- Schulle, W.; Ullrich, B.: Ergebnisse gefügeanalytischer Untersuchungen an Böttgerporzellan. *Silikattechnik* 33 (1982) 2: S. 44 - 47
- Schulle, W.; Goder, W.: Die Erfindung des europäischen Porzellans durch Böttger – eine systematische schöpferische Entwicklung. *Keram. Ztschr.* 34 (1982) 10; S. 598-600
- Autorenkollektiv: J. F. Böttger – Die Erfindung des Europäischen Porzellans. Edition Leipzig 1982, Büchergilde Frankfurt/M. - Wien - Zürich 1982, Verlag W. Kohlhammer GmbH Stuttgart 1982, Edition Pygmalion Paris 1984
- Schulle, W.; Ullrich, B.: Orientierende Untersuchungen an den Glasuren von historischen Meissener Porzellanproben. *Silikattechnik* 36(1985)6, S. 170-173
- Franke, Chr.: Ermittlung und Anwendung von Gefüge- und chemischen Daten historischer Böttger- und Meissener Porzellane. Diplomarbeit 1988
- Schaller, M. B.: Rechnergestützte Auswertung von Spurenelementen an historischen Erzeugnissen der Porzellanmanufaktur Meissen. Diplomarbeit 1990
- Bothe, H. K.; Ullrich, B.: Beurteilung historischer keramischer Erzeugnisse mit der Röntgenfluoreszenzanalyse. *Keram. Ztschr.* 42 (1990), S. 900-903
- Schulle, W.: Verfahrenstechnische Gesichtspunkte der Porzellanherstellung zur Böttgerzeit. *cfi/Ber. DKG* 70 (1993) 4; S. 190-194
- Ullrich, B.: Die Freiburger Montanwissenschaften – ihre Rolle bei der Erfindung und Vervollkommnung des Meissener Porzellans. *Ztschr. TU Bergakademie Freiberg* (1993)4, S. 26-28 und 5; S. 19-21
- Ullrich, B.: David Köhler – Arkanist der Porzellanmanufaktur Meissen. *Keram. Ztschr.* 45(1993)11, S. 725-726
- Schulle, W.; Ullrich, B.: Samuel Stöltzel zum 310. Geburtstag. *cfi/Ber. DKG* 73(1996)5, S. 324-325
- Ullrich, B.; Miels, A.: Zum 120. Geburtstag von William Funk. *Keram. Ztschr.* 51(1999)1, S. 52
- Ullrich, B.: Freiburger Berg- und Hüttenleute im Dienste der Meissener Manufaktur im 18. Jahrhundert; Katalog der Ausstellung „Ein fein bergmännig Porcelain“, Dresden und Düsseldorf 1999, S. 18-22
- Schulle, W.; Ullrich, B.: Das Wirken Freiburger



Oberberghauptmann, Meissener Porzellan nach Kaendler, ca. 1741-1755

- Berg- und Hüttenleute im Keramikbereich. *cfi/Ber. DKG* 76(1999)6, S. 380-387
- Ullrich, B.: Zum 350. Geburtstag von Ehrenfried Walther von Tschirnhaus. *Keram. Ztschr.* 54(2001)12, S. 1145-1146
  - Pech, Bianka: „Untersuchungen zur Resistenz von Aufglasurfärbungen“. Diplomarbeit 2002
  - Ullrich, B.; Miels, A.: Der Stand des Wissens und neue Erkenntnisse zur europäischen Porzellanerfindung. Teil I: *Keram. Ztschr.* 55(2003)12, S. 936-941, Teil II: *Keram. Ztschr.* 56(2004)2, S. 90-92
  - Mai, Susanne: Untersuchungen zur Herstellung von Kalkporzellan auf der Grundlage von Colditzer Ton. Diplomarbeit 2005
  - Walter, H.; Fratzscher, R.; Ullrich, B.: 300 Jahre Böttgersteinzeug. *cfi/Ber. DKG* 84(2007)9, S. D 29-D 31
  - Gerlach, Nora: Untersuchungen zur Verbesserung der Oberflächen- und Poliereigenschaften der Steinzeugmasse L 342 der Staatl. Porzellanmanufaktur Meissen. Diplomarbeit 2007
  - Ullrich, B.: 300 Jahre Böttgerporzellan: Betrachtungen zur Erfindung des ersten europäischen Hartporzellans in Sachsen. *cfi/Ber. DKG* 85(2008)5, S. D 22-D 24
  - Ullrich, B.; Penzel, A. Voigtländer, V.: Der Ton Colditz als wichtiger Rohstoff für die Erfindung des europäischen Hartporzellans in Sachsen (1708). *Jahrbuch der Staatlichen Schlösser, Burgen und Gärten Sachsens* 15 (2008), S. 24-27
  - Ullrich, B.; Aneziris, C. G.: Vom ersten europäischen Porzellan zum keramischen Hightech-Produkt, 300 Jahre Porzellanerfindung in Sachsen. Begleitheft zur gleichnamigen Ausstellung auf der Albrechtsburg zu Meißen, 14.3.-8.6.2008, Staatliche Schlösser, Burgen und Gärten Sachsens, Meißen 2008, S. 1-17
  - Ullrich, B.; Lange, P.; Kerbe, F.: Meissener und Thüringer Porzellan des späten 18. und frühen 19. Jahrhunderts - ein werkstoffhistorischer Vergleich. *Festband 250 Jahre Porzellan aus Thüringen*, Museumsverband Thüringen 2010, S. 281-289



Im Freiberger Schloss Freudenstein ist seit 28. August 2010 noch bis zum 28. Februar 2011 im Präsentationsfoyer des Bergarchivs eine Sonderausstellung „Freiberg und die europäische Porzellanerfindung“ zu sehen.

Mit dieser gemeinsamen Ausstellung der TU Bergakademie Freiberg, des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg sowie des Bergarchivs Freiberg soll der Anteil des Freiberger Montanreviers an der Erfindung des europäischen Porzellans und dem Aufbau der Manufaktur Meissen gewürdigt werden. Wie im vorhergehenden Beitrag dargestellt, reicht die enge Verbindung von Freibergern zur Manufaktur Meissen von der Frühzeit der Porzellan Geschichte durchgängig bis zur Gegenwart. Bereits der Porzellanerfinder Böttger versammelte innerhalb des „Königlichen Contuberniums“, der ältesten sächsischen Forschungsgemeinschaft, 15 Freiberger Berg- und Hüttenleute sowie fachlich führende Bergbeamte des Oberbergamts in Freiberg. In den folgenden drei Jahrhunderten waren es immer wieder Freiberger Bergbeamte und Absolventen, die auf die Entwicklung der Porzellanmanufaktur entscheidend Einfluss nahmen.

**Ansprechpartner:**

- Dr. Herbert Pfforr, Tel. 03731/35115
- Dr. Bernd Ullrich, TU Bergakademie Freiberg, Tel. 03731/39-2498
- Dr. Peter Hoheisel, Bergarchiv Freiberg, Tel. 03731/39-4601

## Das Großschergerät GS 1000 – ein Meisterwerk sächsischer Ingenieurskunst Heinz Konietzky



Abb. 1: Gesamtansicht GS-1000

Der Lehrstuhl für Felsmechanik am Institut für Geotechnik konzentriert sich in der Forschung methodisch auf die Anwendung numerischer Simulationsverfahren und die Durchführung komplexer felsmechanischer Versuche im Labor. Letzteres erfordert den Ausbau des felsmechanischen Labors durch die weitere Anschaffung bzw. Eigenentwicklung von servogesteuerter Versuchstechnik. 2010 ist uns ein weiterer wichtiger Schritt in diese Richtung gelungen. Im Rahmen des von der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung finanzierten Freiberger Hochdruck-Forschungszentrums (FHP) wurde mit Unterstützung dieser Stiftung am Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau in Zusammenarbeit mit sächsischen Firmen ein in der Welt bezüglich seiner Leistungsparameter einzigartiges Großschergerät (siehe Tab. 1) entwickelt und gebaut.

Schergeräte dienen in der Geotechnik zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Böden bzw. Gesteinen. Während solche Geräte in der Bodenmechanik zum Standard gehören, sind sie in der Felsmechanik weniger häufig anzutreffen, in Form von Großschergeräten (ausgelegt für großvolumige Proben) sogar extrem selten, da die technischen Anforderungen und damit auch die Kosten sehr hoch sind. Tab. 1 zeigt, in welchem Maße das neue Großschergerät die bisher realisierten Parameter, und das im weltweiten Vergleich, übertrifft.

Tab. 1: Vergleich der Parameter des Schergerätes GS-1000 mit der derzeitigen internationalen Spitze

Bisherige internationale Spitze (etwa Ende 2009)	GS-1000 (TU Bergakademie Freiberg)
Kräfte bis max. 500 kN nur statisch	bis max. 1.000 kN • bei Volllast dynamisch bis 40 Hz • bei Teillast > 40 Hz • getrennte, aber synchronisierte Dynamik für beide Zylinder
keine hydro-mechanische Kopplung	Wasserdruck im Scherspalt bis 100 bar
max. Probengröße 200 × 200 mm	max. Probengröße 200 × 400 mm

Die Besonderheit des neuen Großschergeräts liegt nicht nur in den deutlich höheren Kräften und Probengrößen, sondern vor allem darin, dass dynamische Versuche und hydro-mechanisch gekoppelte Versuche gefahren werden können. Die hohen Kräfte eröffnen Möglichkeiten, das Materialverhalten in großen Teufen (bis zu etwa 5.000 m) oder bei extremen Krafteinwirkungen (Bohr- und Schlagprozesse) zu untersuchen.

Das Gerät wurde in enger Zusammenarbeit zwischen der Firma GIESA GmbH (Wilsdruff, Sachsen) und dem Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau (Institut für Geotechnik) unter Leitung von Prof. Konietzky konzipiert. Der mechanisch-hydraulische Teil wurde unter Leitung der Firma GIESA GmbH durch sächsische Firmen realisiert. Steuerung, Datenaufzeichnung und dazugehörige

Hard- und Softwareentwicklung erfolgten in Arbeitsteilung zwischen GIESA und dem Lehrstuhl. Die Entwicklungszeit bis hin zur Inbetriebnahme betrug ca. zwei Jahre. Die Nutzung der vollen Funktionalität wird voraussichtlich Ende 2010 gewährleistet sein.

Neben dem Einsatz für die Projekte innerhalb des FHP bietet die Anlage einzigartige Forschungsmöglichkeiten zu folgenden Themen:

- Verhalten von Kluftsystemen unter Erdbebenanregung
- Verhalten von Gesteinsmatrix und/oder Klüften unter Wechsellasten
- Verhalten von fluidgefüllten Klüften und/oder Gesteinsmatrix unter Scherbelastung - relevant z. B. für Geothermieprojekte und CO<sub>2</sub>-Sequestrierung
- Verhalten von Bauwerksfugen (z. B. Gründungsfugen bei Staumauern und Kontaktfugen von Verschlussbauwerken)
- Verhalten von Mauerwerk
- Verhalten von Gesteinsschotter unter hohen Belastungen

Kopfzerbrechen bereitete uns lange Zeit die Kühlung der Anlage. Detailliert diskutiert wurde eine klassische Ventilator Kühlung (zu groß, zu laut, zu energieintensiv), auch in Kombination mit aktivem Schallschutz, d. h. Auslöschung durch gerichtete Beschallung (zu teuer, zu groß, zu riskant im Bezug auf Erfolgsaussichten). Letztlich wurde eine umweltfreundliche Wasserkühlungsvariante realisiert. Sie besteht aus unterirdischen Wasserspeichern (3 × 3.300 l) und ca. 100 m im Erdreich vergrabenen Rohrleitungen zum zusätzlichen Wärmeabtrag. Damit entsteht ein geschlossener Wasserkreislauf mit natürlicher Kühlung. Es wird lediglich eine kleine Tauchpumpe zur Zirkulation benötigt. Die Kühlanlage ist so ausgelegt, dass auch noch ein weiteres großes Triaxialgerät angeschlossen werden kann.

Das Schergerät GS-1000 (Abb. 1) besteht im Kern aus einem oberen und unteren Scherkasten sowie aus einem vertikalen und horizontalen Zylinder (Abb. 2). Verschiedene Druckspeicher sorgen dafür, dass enorme dynamische Lasten realisiert werden können. Man stelle sich vor: 2 × 100 Tonnen werden bis zu 40-mal in der Sekunde hin- und her bewegt! Den statischen Lasten können beliebige dynamische Lasten überlagert werden. Beide Zylinder sind synchronisiert, können aber völlig verschiedene Lasten bzw. Anregungen bekommen. Die wirkenden

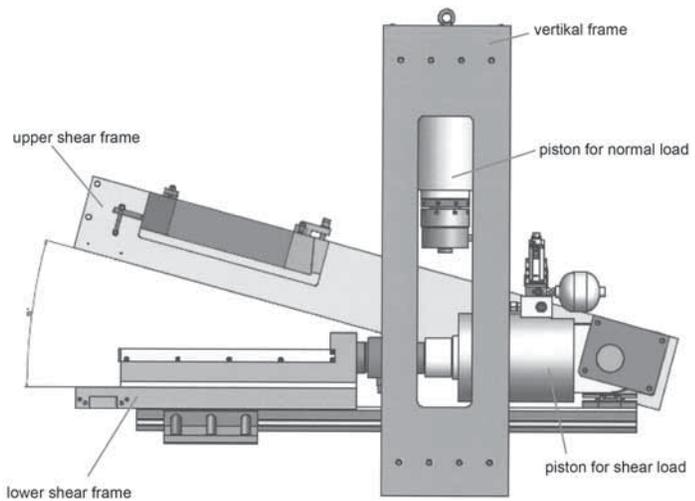


Abb. 2: Schematisierter Aufbau des Großschergeräts mit oberem und unterem Scherrahmen, vertikalem und horizontalem Zylinder sowie vertikalem Rahmen

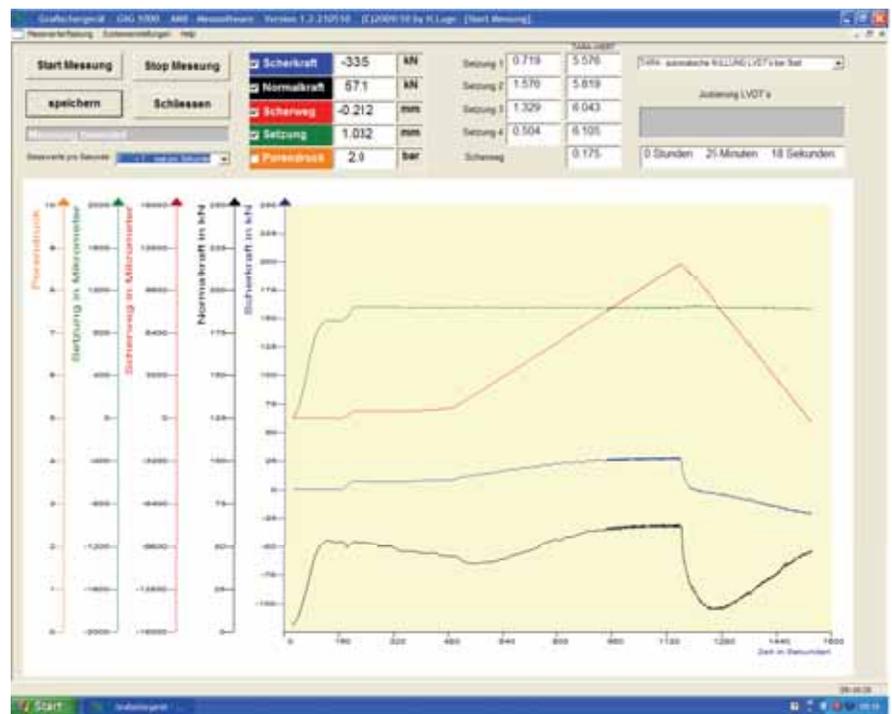


Abb. 3: Screenshot des Überwachungsmonitors mit Darstellung ausgewählter Messwerte während eines Scherversuchs

Kräfte werden über Kraftmessdosen aufgenommen. Die Kolbenwege werden intern gemessen. Über fünf externe LVDT (Linear Variable Differential Transformer) werden die Scherbewegung und die Dilatanz gemessen. Ebenfalls aufgezeichnet wird der Wasserdruck im Scherkasten im Falle von hydro-mechanisch gekoppelten Versuchen. Die Steuerung erfolgt primär über eine SPS (speicherprogrammierbare Steuerung), die ihrerseits über eine PC-basierte Software vom Benutzer angesteuert wird. Auf Basis der selbstentwickelten Software sind verschiedene Versuchsregime fahrbar, z. B. kraftgesteuerte, weggesteuerte oder auch dilatanzgesteuerte Versuche. Belie-

bige dynamische Signale und auch externe Zeitreihen können als zusätzliche Anregung dienen. Alle Daten und Messgrößen sind an zwei großen Bildschirmen online sichtbar (Abb. 3) und werden permanent in verschiedenen Formaten zur späteren Auswertung abgespeichert. Abb. 4 zeigt die Steuerungs- und Datenaufzeichnungseinheit in einer Übersicht mit folgenden Komponenten:

- AM8: 8-kanalige Messdatenaufzeichnung von externen Sensoren mit je 16 bit Auflösung
- SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung zur Kommunikation mit Steuerungssoftware, Soll- und Istwertverarbeitung sowie Sicherheitsfunktionen

## Flowchart electronic control system of the Shearmachine GS1000

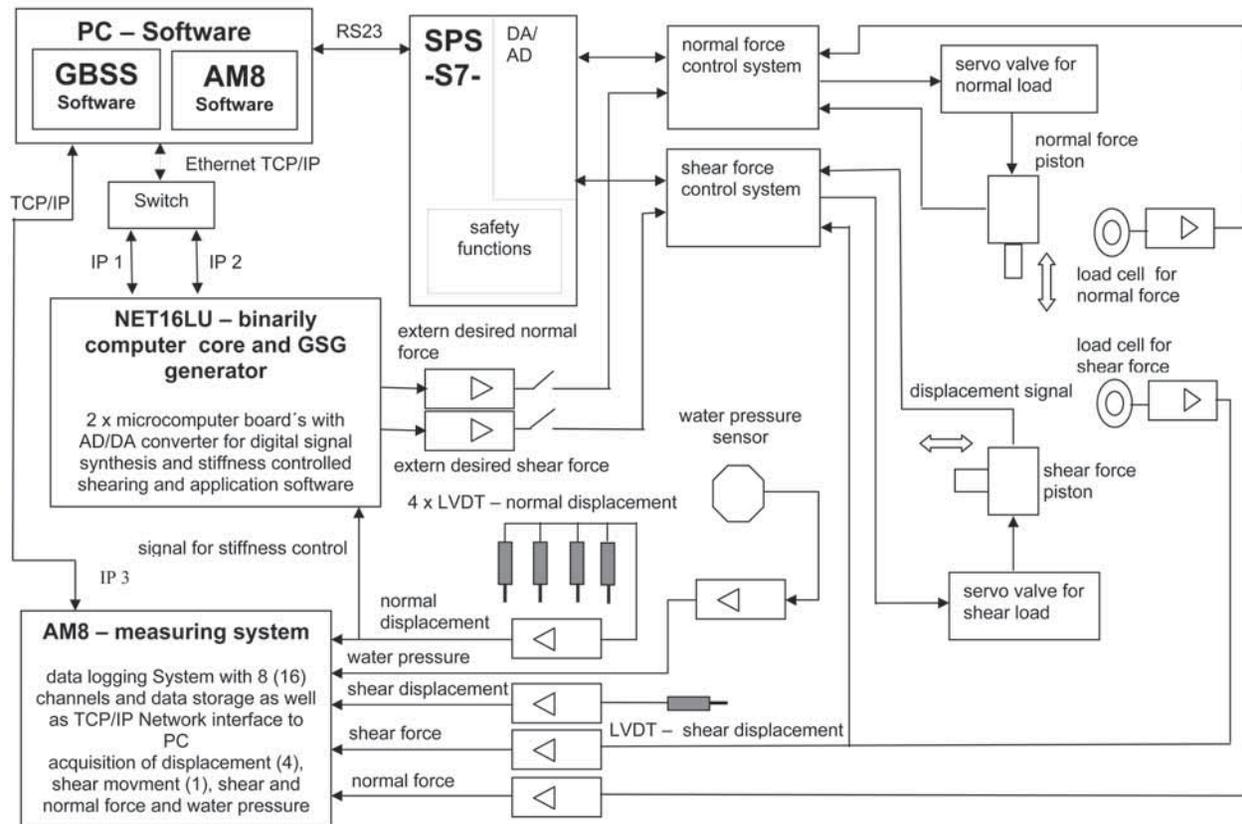


Abb. 4: Übersichtsplan der Gerätesteuerung und Datenaufzeichnung

- GSG: Generator zur Erzeugung der dynamischen Anregung sowie dilatanzgesteuerten Versuchsführung
- GBSS-Software: Software zur Steuerung und Datenanzeige auf PC-Basis

Nach einer ausführlichen Testphase wird ein vietnamesischer Gastwissenschaftler als erster Doktorand zum Thema „Dynamisches Verhalten von Klüften im Hartgestein“ am Großschergerät arbeiten. Er wird das mechanische Verhalten von Klüften unter dynamischer Anregung laborativ am GS-1000 untersuchen und parallel dazu numerische Simulationen durchführen. Neben den Messergebnissen, die direkt vom Schergerät kommen, wird besonderer Wert auf die Kluffstruktur (Rauhigkeit) gelegt, die vor und nach den Versuchen mittels hochauflösendem 3D-Scanner analysiert wird. Ziel ist es, ein praktikables Kluffstoffgesetz für dynamische Anregungen zu formulieren.

Parallel zu den Experimenten werden numerische Simulationen durchgeführt. Abb. 5 zeigt exemplarisch ein numerisches Modell zur Abbildung des Scherversuches mit konstanter Normalbelastung mit farbiger Kennzeichnung der Normalspannungskomponente in Schubrichtung.

Im April 2010 erfolgte in feierlichem Rahmen die offizielle Inbetriebnahme des Großschergeräts in Anwesenheit des Stifterrats, der Hochschulleitung, der Mitglieder des FHP sowie vieler Gäste (siehe Abb. 6).

Unser Dank gilt der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, ohne deren finanzielle Unterstützung dieses Gerät nicht hätte realisiert werden können.

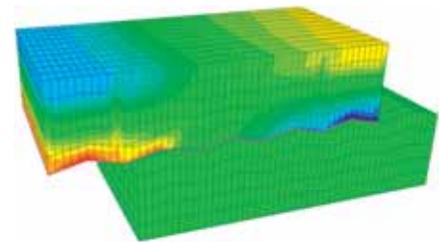


Abb. 5: Numerisches Modell zur Simulation des Scherversuchs (exemplarisch)



Abb. 6: Vorstellung der Anlage anlässlich des Besuchs des Krüger-Stifterrats (Frau Krüger mit den acht Professoren des Hochdruckforschungszentrums vor dem Großschergerät GS-1000). Foto: Detlev Müller

## Magnesium-Zentrum in Freiberg gegründet



Gewogen und für leicht befunden: Autoteile aus Werkstoffen auf Magnesiumbasis. Foto: Eckardt Mildner

Um die Magnesiumforschung in Freiberg zu bündeln und weiter auszubauen, gründeten Wissenschaftler der TU Bergakademie gemeinsam mit der Industrievertretern und Partnerhochschulen am 24. März 2010 das Zentrum für hochfeste und duktile Magnesiumwerkstoffe. Ziel ist es, vor allem der Automobilindustrie und deren Zulieferern in Sachsen Impulse zu geben.

Das Gewicht von Fahrzeugen zu reduzieren, ist seit langem eines der wichtigsten Anliegen der Automobilindustrie. Der Verwendung von innovativen Leichtbaumaterialien kommt angesichts neuer gesetzlicher Umwelt- und Klimaschutzvorgaben eine strategische Bedeutung zu. Größte Hoffnungen werden dabei mit Werkstoffen auf Magnesiumbasis verbunden. Forscher der TU Bergakademie Freiberg arbeiten bereits erfolgreich an der Entwicklung innovativer Magnesiumwerkstoffe mit verbesserten Eigenschaften. Gemeinsam mit der Magnesium Flachprodukte GmbH, einer Tochtergesellschaft der ThyssenKrupp Steel Europe AG, konnte eine weltweit einmalige Technologie entwickelt werden, die eine wirtschaftlich günstige Herstellung von Magnesiumblech und Magnesium-Band ermöglicht. Eine eigene Pilotanlage zur Herstellung von Magnesiumband im Gießwilverfahren ist dabei weltweit einmalig.

Zeitgleich nimmt auch eine zehnköpfige Nachwuchsforschergruppe in diesem Bereich ihre Tätigkeit auf. Sie erhält eine umfangreiche Förderung aus dem ESF (Europäischer Sozialfonds). Über das Programm „Hochschule und Forschung“ stehen ihr zwei Millionen Euro für das Thema „Feinkristalline Magnesiumwerkstoffe zur Herstellung von Flachprodukten mit hochwertigem Eigenschaftsprofil“ zur Verfügung.

■ Christel-Maria Höppner

## Technologie-Roadmapping zu Magnesiumwerkstoffen durch Wirtschaftswissenschaftler der TU Bergakademie Freiberg

Die Forschung zu Magnesium-Werkstoffen wurde im Jahr 2009 zu einem von zehn fachübergreifenden Zukunftsthemenfeldern der TU Bergakademie Freiberg erhoben. Das grundlegende Ziel der dahinter stehenden Forschungsvorhaben besteht darin, die Möglichkeiten des Einsatzes von Magnesium auszuweiten und nachhaltig zu gestalten. Auch wenn dabei in erster Linie die technologische Weiterentwicklung im Vordergrund steht, waren in die interdisziplinäre Arbeitsgruppe neben Vertretern der Ingenieur- und der Werkstoffwissenschaften sowie der Mathematik auch die wirtschaftswissenschaftlichen Lehrstühle Unternehmensführung & Personalwesen (Prof. Nippa) und Industriebetriebslehre, Produktion & Logistik (Prof. Höck) aktiv einbezogen. Aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht ergeben sich im Zusammenhang mit der Nutzung innovativer Werkstoffe auf Magnesiumbasis einige sehr interessante Fragestellungen und Untersuchungsgebiete, so bei Innovationsmanagement und -ökonomik, Wirtschaftlichkeitsanalyse und Technologiebewertung, Produktionswirtschaft und Marketing. Darüber hinaus konnten Kompetenzen im Bereich des Projektmanagements und -controllings eingebracht werden.

Für den Aufbau des Zukunftsthemenbereichs Magnesiumwerkstoffe und zur Vorbereitung weitergehender drittmittelfinanzierter Forschungsprojekte wurden für den Zeitraum Oktober 2009 bis September 2010 seitens der Hochschulleitung die Mittel zur Besetzung einer Teilzeitstelle für einen wissenschaftlichen Mitarbeiter bereitgestellt. Wesentliche Aufgabenstellungen, die mit dieser Förderung verbunden sind, waren der Aufbau einer Organisations- und Projektmanagementstruktur für die Zukunftsthemengruppe und die Entwicklung einer fundierten Forschungs- und Technologieroadmap als Grundlage für die Technologieplanung im Bereich der Magnesium-Werkstoffforschung. Maßgeblichen Einfluss auf die sogenannte Technologieattraktivität haben (1) Einflussfaktoren aus den übergeordneten Umfeldern der Industrie (z. B. natürliche, sozio-kulturelle, politisch-rechtliche, ma-

kröökonomische Einflüsse), (2) Kunden mit ihren spezifischen Anforderungen sowie (3) das funktionale und kostenmäßige Potenzial der Magnesiumwerkstofftechnologie. Im Rahmen des aktuellen Projekts gilt es, globale empirische Untersuchungen auf Basis von Technologie-Portfolio-, Umfeld- und Szenario-Analysen etc. mit dem Ziel durchzuführen, eine Technologie-Roadmap zu entwickeln.

Das Technologie-Roadmapping dient der Veranschaulichung der Entwicklung technologischer Anforderungen für spezifische Technologiefelder. Als kreatives Analyseverfahren soll es ermöglichen, die Entwicklungspfade von Produkten und Dienstleistungen, aber auch von Technologien in deren zukünftigem Verlauf zu prognostizieren.

Ziel ist die Vorhersage und Bewertung der zukünftigen technologischen und marktlichen Entwicklungen innerhalb eines Handlungsfeldes. Damit verbunden sollen innerhalb der Handlungsoptionen Prioritäten gesetzt werden. Durch die Erstellung einer Roadmap wird ein Rahmenwerkzeug für die Gestaltung von Innovationsprozessen gegeben. Entwicklungswege werden im Zeitverlauf dargestellt und ihnen eine zeitliche Struktur verliehen. Es wird angestrebt, technologische Leistungs- und Verbreitungskennzahlen zu integrieren und die zeitliche Abfolge der erforderlichen Prozesstechnologien zu identifizieren. Chancen und Gefahren in der weiteren Entwicklung können so frühzeitig verdeutlicht werden.

Darüber hinaus lässt die grafische Form der Technologie-Roadmap sehr gut ihre Verwendung als Kommunikationsinstrument zu. Dadurch wird ein Zuwachs an Transparenz erreicht und ein effizienterer Ressourceneinsatz möglich. Für die Forschung ergibt sich die Möglichkeit, systematisch die Attraktivität bestimmter Forschungslinien und Entwicklungen einzuschätzen und ihre Entwicklungsziele entsprechend festzulegen. Zudem können mögliche Einsatzgebiete neuentwickelter Technologien schneller identifiziert und so der Wissenstransfer in die praktische Umsetzung gefördert werden.

■ Jens Grigoleit, Michael Höck, Anne Stoermer

## TU Bergakademie präsentierte zum Tag der Energie synthetisches Benzin

Positive Energie in Form vielfältiger Impulse sandte die Veranstaltung der TU Bergakademie am Sonnabend, dem 25. September 2010, auf dem Gelände der Reichen Zeche in Richtung Wissenschaft, Forschung, Wirtschaft und Politik aus. Zum bundesweiten Tag der Energie präsentierte die Universität in Anwesenheit der Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, Prof. Sabine von Schorlemer, und Wirtschaftspartnern gleich zwei erfolgreiche Projekte.

Die Gäste der Veranstaltung konnten hochoktaniges synthetisches Benzin aus der Syngas-to-Fuel-(STF) Versuchsanlage schnuppern und in Augenschein nehmen. Sie erfuhren, wie das Deutsche EnergieRohstoff-Zentrum Freiberg im Verbund mit der Wirtschaft an den Technologien des Nach-Erdölzeitalters forscht. In ihrem Grußwort betonte Ministerin Schorlemer: „Die Technologiepolitik des Freistaates Sachsen, das Umfeld der Universitätsstadt Freiberg, das unternehmerische Engagement der Chemnitz Chemieranlagenbauer und die wissenschaftliche Exzellenz der TU Bergakademie Freiberg verbinden sich im Projekt ‚Syngas-to-Fuel‘ in vorbildlicher Weise“. Die Freiburger Universität nehme mit ihren Projekten eine Spitzenposition in der Kohleforschung entlang der gesamten Wertschöpfungskette ein. Die Ministerin versicherte, dass das Sächsische Wissenschaftsministerium einen Antrag der Hochschule zur Gründung eines Forschungsinstituts für Technologi-



Prof. Bernd Meyer (l.) und CAC-Geschäftsführer Joachim Engelmann präsentieren der Öffentlichkeit am Tag der Energie 2010 erstmals ein neues hochoktaniges synthetisches Benzin aus der Syngas-to-Fuel-(STF)-Versuchsanlage. Foto: Detlev Müller

en zur nachhaltigen Rohstoffversorgung und Ressourceneffizienz beim Bundesministerium für Bildung und Forschung ausdrücklich unterstützt.

Die Versuchsanlage für das STF-Benzin wurde in Kooperation zwischen den Freiburger Instituten für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) sowie Technische Chemie und dem Chemieranlagenbau Chemnitz GmbH (CAC) errichtet. „Besonders bemerkenswert daran ist nicht nur die Rekordzeit der Inbetriebnahme, sondern vor allem, dass es sich hier um das erste erfolgreiche, im Pilotmaßstab demonstrierte,

deutsche Benzinsyntheseverfahren nach dem 2. Weltkrieg handelt“, berichtet Prof. Bernd Meyer, Rektor der TU Bergakademie und Direktor des IEC. „Das STF-Benzin entsteht aus Synthesegas und kann sowohl aus fossilen als auch nachwachsenden Rohstoffen oder aus beidem gemeinsam gewonnen werden.“ Joachim Engelmann, Geschäftsführer der CAC, kommentierte: „Diese Anlage ist dank ihres Aufbaus und der Technik mit den eigens dafür eingesetzten isothermischen Reaktoren einmalig in der Welt.“

In seiner Ansprache an die rund 100 Teilnehmer machte Rektor Prof. Bernd Meyer noch einmal mit Blick auf die heimische Braunkohle deutlich, dass kohlenstoffhaltige Energieträger in Zukunft mehr und mehr stofflich-chemisch genutzt werden müssen. „Unsere Botschaft lautet: Kohle soll nicht mehr nur verbrannt, sondern bevorzugt als Chemierohstoff genutzt werden.“ Er ist überzeugt: „Diese CO<sub>2</sub>-arme Brückentechnologie hat Zukunft!“

Zum Abschluss wurde auf die neue STF-Anlage und das Synthesebenzin mit einem Glas prickelndem „STF-Benzin“ angestoßen. Bei einem Rundgang über das Gelände überzeugten sich die teilweise von weit her angereisten Gäste der Veranstaltung und am Nachmittag auch rund 100 Besucher aus der Region von der Forschungskompetenz der Freiburger Universität.

■ Christel-Maria Höppner

## Kolloquium bündelt Forschungsergebnisse von ADDE nach einem Jahr

Das erste Kolloquium des Spitzentechnologieclusters „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defektengineering“ (ADDE) fand am 25. und 26. März 2010 im Haus Metallkunde an der TU Bergakademie Freiberg statt. Neben der Vorstellung der Projekte von ADDE – sie reichten von der Silicium-Chemie über Halbleitermaterialien, Sensoren, Hartstoffschichten und hochtemperaturkorrosionsfeste Werkstoffe bis zu Magnesiumwerkstoffen – präsentierten auch 24 Doktoranden ihre Resultate.

Darüber hinaus berichteten auch Wissenschaftler aus den Spitzentechnologieclustern der sächsischen Technischen Universitäten Dresden und Chemnitz über ihre Forschung. Zu den Teilnehmern am Kolloquium zählten auch Ko-

operationspartner aus dem Forschungszentrum Rossendorf, dem IFW Dresden sowie aus der Industrie.

Das ADDE-Projekt wird im Rahmen der Sächsischen Exzellenzinitiative mit rund 20 Millionen Euro gefördert.

Im Projekt ADDE entwickeln Forscher der TU Bergakademie Freiberg neue Materialien. Dazu erforschen sie gezielt die Wirkungen von Defekten in der Mikrostruktur, um wesentlich verbesserte Eigenschaften zu erhalten und innovative Anwendungsgebiete zu erschließen. Um die Entstehung und die Wirkung dieser Defekte vorhersagen zu können, setzten die Wissenschaftler auf umfangreiche Computersimulationen. Die Freiburger Wissenschaftler haben bei ihren Forschungen schon konkrete Anwendungen im Blick. Von verbesserten Materialien

für Solarzellen über elektronische Datenspeicher, Umweltsensoren bis hin zu Werkstoffen, die extreme Temperaturen aushalten können, reichen die Pläne. Insgesamt 19 Teilprojekte sind in dem Cluster miteinander verbunden.

Mit dem Forschungscluster ADDE ging die TU 2008 aus der Sächsischen Landesexzellenzinitiative als einer der Sieger hervor (vgl. Heft 2009). Vor genau einem Jahr nahm das Projekt ADDE seine Arbeit auf. Seitdem investierte ADDE rund 1,8 Millionen Euro in neue Forschungsgeräte. Mittlerweile arbeiten 18 Professoren und 50 Mitarbeiter, zum größten Teil Doktoranden, in 14 Instituten der TU Bergakademie sowie im Forschungszentrum Dresden-Rossendorf und am IFW Dresden zusammen.

■ Christian Möls, Uta Rensch

# Das Internationale Universitätszentrum wird 10 Jahre alt

## Motor für die internationale Ausbildung

Sieben Jahre lang habe ich die Entwicklung und die Aktivitäten des Internationalen Universitätszentrums (IUZ) begleiten und mitgestalten können. Der Facettenreichtum meiner bisherigen Tätigkeit als Direktorin des IUZ reicht von der Organisation und Begleitung von Besuchen ausländischer Hochschuldelegationen über die Beratung von Wissenschaftlern und Studenten zu den Fördermöglichkeiten für Projekte und Auslandsaufenthalte, die Einwerbung von Drittmitteln für internationale Aktivitäten, die Vergabe von Stipendien, die Begrüßung ausländischer Studierender, die Organisation ihrer Ausbildung in Deutschkursen, ihrer Betreuung und Unterkunft vor Ort, den Entwurf und die Prüfung von Hochschulvereinbarungen sowie Studien- und Prüfungsordnungen für das Studienkolleg und die Deutschausbildung, die Entwicklung neuer Projektideen, die Sicherstellung der Fremdsprachenausbildung bis hin zur Studienwerbung auf Bildungsmessen und an Hochschulen im Ausland.

Einige der schönsten Momente sind die (zumeist) glücklichen Gesichter bei der Zeugnisausgabe nach Deutschkursen und -prüfungen oder auch Bilder oder Fotos anzuschauen, die von Schülern Freiburger Schulen als Dankeschön an das IUZ für gelungene Schulprojekte mit ausländischen Studenten geschickt wurden. Ich freue mich über funktionierende fachbezogene Kooperationen mit ausländischen Partnern, die ich selbst mit aus der Taufe heben durfte, über positive Rückmeldungen ausländischer Absolventen oder auch das Wiedersehen mit Studenten oder Doktoranden in Freiberg, die ich im Rahmen der Studienwerbung im Ausland beraten habe. Und natürlich genieße ich auch das leckere Essen beim Internationalen Tag oder die Bowlingabende mit Sprachkursteilnehmern.

Die Vielfalt der Aufgaben und Tätigkeitsbereiche am IUZ ist das Ergebnis seiner Gründung im November 2000 als Zusammenschluss des Akademischen Auslandsamts, des Studienkollegs und – mit etwas Verzögerung 2002 – des Sprachenzentrums. Als Gründungsdirektor stand Prof. Dr. Michael Nippa dem „Unternehmen IUZ“ Pate, den Geschäftsbetrieb leitete bis zu seinem Wechsel zum Deut-



Foto: Detlev Müller

schen Akademischen Austauschdienst (DAAD) Ende 2001 Dr. Holger Finken.

Dem IUZ wurde die Koordinierung der internationalen Aktivitäten der TU Bergakademie übertragen. Es soll die Hochschulleitung bei der Entwicklung und Umsetzung der Internationalisierungsstrategie unterstützen, Vertragsabschlüsse mit internationalen Partnerhochschulen vorbereiten, Hochschulmitglieder zu internationalen Programmen und Auslandsaufenthalten beraten und selbst internationale Projekte durchführen. Darüber hinaus ist das IUZ für Internationales Marketing, die Rekrutierung ausländischer Studierender, für die fachliche und sprachliche Ausbildung und für die Betreuung der ausländischen Studierenden an der TU Bergakademie zuständig.

Mit der Bündelung dieser verschiedenen Aufgabenbereiche in einer Einrichtung war das IUZ ein Vorreiter in der deutschen Hochschullandschaft. Die Vorteile lagen auf der Hand: Organisation der Betreuung der internationalen Studierenden „aus einem Guss“ – von der Beantwortung der ersten Anfragen über die ersten Schritte in Freiberg, die Deutschausbildung bis hin zur Begleitung während des Studiums. Von Vorteil war weiterhin die Gestaltung eines bedarfsorientierten Deutsch- und Fremdsprachenunterrichts, die Vernetzung deutscher und ausländischer Studierender und nicht zuletzt ein Kompetenzzuwachs, einhergehend mit einer höheren Verantwortung für internationale Belange. Der Nachteil war aus unserer Sicht, dass das Zulassungsbüro für ausländische Studierende mit seinen hoheitlichen Aufgaben

im Dezernat für Studienangelegenheiten verblieb und das IUZ bis 2005 nicht an die zentrale studentische Datenbank angeschlossen war. Damit fehlten uns nicht nur statistische Informationen wie Studentenzahlen, Herkunftsländer, Stand der Einschreibung usw., sondern es war auch noch eine „doppelte Buchführung“ vonnöten.

Ab September 2003 teilte sich das IUZ die Verantwortung für die Koordinierung internationaler Aktivitäten mit zwei aktiven Prorektoren für Außenbeziehungen, Prof. Dr. Horst Brezinski und Prof. Dr. Christoph Breitzkreuz. Und schließlich wurde das IUZ durch den von Prof. Brezinski 2005 initiierten IUZ-Beirat zusätzlich beraten und unterstützt.

Derzeit hat das IUZ mit den drei Bereichen Internationale Beziehungen, Fachsprachenzentrum und Deutschausbildung noch acht hauptamtliche Mitarbeiter/innen und eine projektbezogene Mitarbeiterin, zwei wissenschaftliche und sechs studentische Hilfskräfte, die zu ca. 50% aus Drittmitteln finanziert werden. Darüber hinaus beschäftigen wir pro Semester etwa 12 Honorarkräfte in der Deutsch- und Fremdsprachenausbildung.

## Die TU Bergakademie Freiberg als Magnet für ausländische Studenten

International studieren hat in Freiberg Tradition. Der erste Student aus dem Ausland kam schließlich schon 1771 nach Freiberg. In den vergangenen 245 Jahren unterlag die Zahl der ausländischen Studenten an unserer Hochschule Schwankungen. Zum Zeitpunkt

der Gründung des IUZ waren es 370 immatrikulierte ausländische Studenten. Das entsprach einem Anteil an der Gesamtstudentenzahl von 11,5%. Im WS 2003/04 lag die Zahl bei 532 (12,4%), im WS 2006/07 bei 457 (10,1%). Im WS 2009/10 waren wieder 370 ausländische Studenten immatrikuliert; ihr Anteil an der Gesamtstudentenzahl betrug nur noch 7,3%. Gründe für diese Entwicklung, die deutschlandweit zu beobachten ist, gibt es mehrere:

Erstens wurden zur Sicherung eines höheren Studienerfolgs ausländischer Studierender an der TU Freiberg die fachlichen und sprachlichen Eingangsvoraussetzungen angehoben. Mit der Einrichtung der Akademischen Prüfstellen der Deutschen Botschaften in China, der Mongolei und später in Vietnam wurde ein zusätzliches Qualitätssicherungsverfahren eingeführt.

Zweitens erzeugte die sich über mehrere Jahre erstreckende Umstellung auf Bachelor- und Masterprogramme an der TU Freiberg und im europäischen Ausland bei den Studierenden zunächst mehr Unsicherheit als eine erhöhte Mobilität. Dies widerspiegelt sich zum Beispiel auch in der derzeit geringen Zahl der Studenten in Doppeldiplomprogrammen.

Drittens sind Entwicklungen in einigen wichtigen Herkunftsländern unserer Studenten zu berücksichtigen. Während z.B. noch Anfang dieses Jahrzehnts die chinesischen Studierenden für die verschiedensten Studienabschlüsse nach Deutschland kamen, absolvieren die meisten Chinesen heute eine Bachelorausbildung im Heimatland und bewerben sich dann zielgerichtet für ein passendes Masterstudium im Ausland. Da unsere Masterprogramme nun komplett sind, erwarten wir eine deutlich höhere Nachfrage.

Viertens bildet die Statistik nicht die tatsächliche Zahl der ausländischen Studierenden ab. Viele Doktoranden werden an der Hochschule als Mitarbeiter geführt und daher in der Zahl der Immatrikulationen nicht erfasst. Die wahre Zahl ausländischer Studierender und Doktoranden dürfte daher eher bei mindestens 450 liegen.

Fünftens haben wir gelernt, dass man sich im globalen Wettbewerb um qualifizierte Studierende und Doktoranden nicht darauf verlassen kann, dass der gute Ruf der Universität es allein bis in die für uns wichtigen Ecken der Welt schafft,

sondern dass wir aktives Marketing vor Ort betreiben müssen. Dies tut die TU Bergakademie seit einigen Jahren durch fachbezogene Projekte mit langjährigen Partnern, z. B. in Vietnam, durch eine gezielte Kontaktaufnahme mit profilähnlichen Hochschulen mit dem Ziel einer Kooperation in der Studentenausbildung (idealerweise zugleich in der Forschung), z. B. in China, durch die Teilnahme an Bildungsmessen in unseren Zielländern in Asien, Osteuropa und Lateinamerika sowie durch das Einbeziehen der Kontakte und Erfahrungen unserer ausländischen Absolventen. Davon abgesehen sind englischsprachige Studiengänge wie International Management of Resources and Environment (IMRE) oder International Business in Developing and Emerging Markets (IBDEM) äußerst attraktiv für ausländische Studierende.

Erfreulicherweise sind erste Erfolge unserer gemeinsamen Aktivitäten bereits sichtbar. Die Zahl der immatrikulierten ausländischen Studenten im Sommersemester 2010 lag bei 378. Die mit Abstand größte Gruppe kommt aus China (55), gefolgt von Russland (44), Vietnam (35), Polen (18), der Türkei (17), der Ukraine (14) und Syrien (13).

### Deutsche TU-Studenten im Ausland

In der Überzeugung, dass Auslandsaufenthalte zum Studium oder Praktikum auch für deutsche Studierende eine fachliche, sprachliche und persönliche Bereicherung sind, ermutigen wir die Studenten, sich für einen Auslandsaufenthalt zu entscheiden und beraten sie eingehend. Zwischen 2000 und 2009 nahmen insgesamt 420 Freiburger Studenten am ERASMUS-Programm teil. Die beliebtesten Zielländer unserer Studierenden waren Norwegen, Frankreich, Spanien, Italien, Schweden und Polen. In diesem Zeitraum nahmen außerdem 200 Lehrende unserer Hochschule am ERASMUS-Dozentenaustausch teil. Die Lehraufenthalte führten zumeist nach Frankreich, Italien, Tschechien, Polen, Rumänien und Bulgarien. Festzustellen ist, dass Studierende aller Fachbereiche gleichermaßen an dem Programm partizipieren. Die Nutzung dieser Austauschmöglichkeit und die Wahl des Ziellandes scheinen in erster Linie von den persönlichen Vorlieben und Sprachkenntnissen der Studierenden abzuhängen, zunehmend jedoch auch von der Integrierbarkeit des „Auslandsbausteins“ in das Studienprogramm, von Anerken-

nungsfragen und natürlich auch finanziellen Aspekten. Für die sprachlichen Voraussetzungen sorgt das Fachsprachenzentrum mit einem breitgefächerten fach- und allgemeinsprachlichen Kursangebot in derzeit 10 Fremdsprachen.

Seit ca. 2006 erfreuen sich auch unsere neu hinzugewonnenen Partnerhochschulen in Alberta, Kanada, großer Beliebtheit bei den deutschen Studierenden. Im kommenden Studienjahr werden neun Studenten für ein Austausch- oder Praktikumssemester an die University of Alberta nach Edmonton gehen. Das Austauschprogramm mit der University of Alberta wird durch die Teilnahme von ca. 12 Studenten aus Edmonton an der jährlich stattfindenden Internationalen Sommerschule „On the Cutting Edge of Sustainable Energy Supply“ an unserer Hochschule ermöglicht.

### Doppeldiplomprogramme

Während Zielhochschulen in Mittel- und Osteuropa bei den Studierenden erst in den letzten vier bis fünf Jahren in den Fokus rückten, hat die Forschungsk Kooperation, verbunden mit Studentenmobilität aus diesen Ländern an der TU Bergakademie, Tradition und ist weiter ausgebaut worden. Seit 2000 sind beispielsweise neun Doppeldiplomprogramme mit osteuropäischen Partnern hinzugekommen (vgl. Beitrag Brezinski, S. 151). Während diese fachlich von den Fakultäten getragen werden, erfolgt die Betreuung der Studenten und z.T. die administrative Verwaltung durch das IUZ. Finanziell unterstützt wird die Kooperation zum einen durch das Ostpartnerschaftsprogramm des DAAD, dessen Freiburger Budget von knapp 73.000 EUR durch das IUZ verwaltet wird. Zum anderen erlaubt uns das Agricola-Stipendienprogramm für Studenten aus Mittel- und Osteuropa des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst die Förderung unserer Doppeldiplomanden aus diesen Ländern. Und schließlich erhalten diese Studierenden in diesen Programmen Stipendien aus Industrie- und DAAD-Mitteln im Rahmen des Matching-Funds-Programms des DAAD.

### VNG – ein „starker Arm“

Zwei osteuropäische Hochschulen, die AGH Krakau und das Chemisch-Technologische Institut in Prag, sind neben der NTNU Trondheim und der Bergakademie Hochschulpartner in einem multilateralen und von der Verbundnetz Gas

AG unterstützten Forschungsnetzwerk, das 2009 15 Jahre alt wurde. Seit 1994 kamen insgesamt 233 Studenten der vier Partnerhochschulen (darunter 145 Freiburger Studenten) in den Genuss, mit einem VNG-Stipendium ein Praktikums- oder Studiensemester an einer der Partneruniversitäten zu absolvieren. Neben der Studierendenmobilität und dem fachlichen Austausch zwischen Wissenschaftlern spielt die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses eine besondere Rolle. Mit international gemischten Exkursionen, Doktorandenworkshops, dem Deutsch-Polnischen Metallurgischen Seminar und einem Deutsch-Norwegischen Workshop zur Photovoltaik haben wir ein gut funktionierendes europäisches Netzwerk geschaffen.

Auch in die von VNG geförderte Kooperation der TU Bergakademie mit der Bergbauuniversität St. Petersburg sind vor allem Nachwuchswissenschaftler involviert. Tradition haben mittlerweile das St. Petersburger Kolloquium im Rahmen des Berg- und Hüttenmännischen Tages sowie die Internationale Konferenz für Nachwuchswissenschaftler im April in St. Petersburg. Viele gemeinsame Aktivitäten der fünf Hochschulen wären ohne die großzügige Unterstützung durch die Verbundnetz Gas AG im Rahmen von VNG-Campus ([www.vng-campus.de](http://www.vng-campus.de)) nicht möglich gewesen. Besonders herzlich möchten wir uns an dieser Stelle bei Prof. e. h. Dr.-Ing. Klaus-Ewald Holst bedanken, der – mit Leib und Seele Freiburger Absolvent –, dieses Hochschulnetzwerk über die vielen Jahre als Vorstandsvorsitzender der Verbundnetz Gas AG und des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. begleitet und befördert hat.

Neben der Kooperation mit europäischen Partnern haben wir seit etwa 2007 auch verstärkt den Kontakt nach Lateinamerika gesucht und insbesondere die Zusammenarbeit mit Chile entwickelt – zum einen über Forschungsprojekte, z. B. in den Geowissenschaften, zum anderen im Studentenaustausch. Unsere Partner sind dabei die Universidad de Concepcion und die Universidad de Santiago de Chile sowie das Forschungszentrum für Bergbau und Metallurgie (CIMM). Unterstützt werden unsere Aktivitäten durch unsere chilenischen Absolventen, die 2007 in Anwesenheit einer Delegation der TU Freiberg einen kleinen Alumniverein gegründet haben.

## Asien – traditionelles und zukünftiges Partnerfeld

Vor allem aber haben wir unser Augenmerk in den letzten Jahren auf den Aufbau/die Intensivierung von Kontakten mit Hochschulen in Asien gerichtet.

Vietnam ist für uns ein langjähriger Partner. Viele vietnamesische Studenten haben in den sechziger und siebziger Jahren und auch danach an der TU Bergakademie studiert und promoviert und nach ihrer Rückkehr in Vietnam wichtige Positionen in Wissenschaft, Forschung, Industrie und in der Regierung übernommen. Mit dem Ziel, diese Kontakte zu pflegen, unseren Absolventen Weiterbildungsangebote zu unterbreiten, aber auch gemeinsame Projekte zu entwickeln und Studenten und Doktoranden für die TU Bergakademie zu gewinnen, haben der Prorektor für Außenbeziehungen, das IUZ und die Fakultäten in den letzten drei Jahren gemeinsam mehrere Alumnitreffen und Fachsymposien in Freiberg und Hanoi organisiert und sind mit Vertretern unserer Partnerhochschulen verstärkt auf internationalen Hochschulmessen in Vietnam präsent gewesen. Parallel dazu hat sich zwischen der Fakultät für Mathematik und Informatik der TU Hanoi und dem Institut für Mathematik und dem Lehrstuhl für Geoinformatik der TU Freiberg eine enge Kooperation entwickelt. Ergebnisse sind die Einrichtung des Masterstudiengangs Technomathematik an der TU Hanoi und die Promotion von Absolventen dieses Studiengangs in Freiberg.

In der Mongolei gibt es einen Verein der mongolischen Absolventen der TU Bergakademie. Intensive Fachkontakte wurden über die vergangenen Jahre vor allem im Bereich Bergbau gepflegt. Einen neuen Schub bekam die Zusammenarbeit durch den Besuch des Ministers für Bildung, Kultur und Wissenschaft der Mongolei und des Präsidenten der Mongolischen Universität für Wissenschaft und Technologie (MUST) zu Beginn dieses Jahres an der Bergakademie und beim DAAD. Die umweltschonende und effiziente Rohstoffgewinnung und -verarbeitung sind für die Mongolei Schlüsselfragen, bei deren Beantwortung Deutschland als wichtiger Partner gesehen wird. Die mongolische Regierung und der DAAD haben deshalb in diesem Jahr ein Stipendienprogramm zur Ausbildung mongolischer Studenten in Deutschland vereinbart. Die TU Bergakademie ist eine der Zieluniversitäten in diesem Pro-



Thu Huong Nguyen, Absolventin des Studiengangs Technomathematik

gramm. Die ersten neun mongolischen Bachelor- und Masterstudenten nehmen bereits im Oktober ihr Studium in Freiberg auf.

Im Wintersemester 2010/11 werden wir auch mindestens 15 neue Studenten und Doktoranden aus China an unserer Hochschule begrüßen. Die Entscheidung dieser Studenten und Nachwuchswissenschaftler für die TU Bergakademie Freiberg ist das Ergebnis einer Intensivierung des Engagements unserer Universität in China. Während die Kooperation mit chinesischen Partnern lange Zeit auf vereinzelte Fachkontakte beschränkt war, bestehen seit etwa drei Jahren vielfältige Forschungsk Kooperationen mit verschiedenen Hochschulen in China. Drei Professoren der TU Freiberg sind Gastprofessoren an chinesischen Hochschulen. Es gibt eine Vereinbarung über einen Doppelabschluss in der Eisen- und Stahltechnologie mit der Wuhan University of Science and Technology. Weitere Vereinbarungen zum Studentenaustausch mit ausgewählten Hochschulen sind in Vorbereitung. Mit 55 Studierenden stellen die Chinesen mittlerweile die mit Abstand größte ausländische Studentengruppe dar. Darüber hinaus forschen derzeit ca. 15 chinesische Doktoranden, Postdocs und Gastwissenschaftler an unserer Hochschule. Aber auch bei den deutschen Studierenden sind Studien- und Praktikumsaufenthalte in China zunehmend nachgefragt. Pro Semester lernen 30-40 deutsche Studenten im Fachspachenzentrum unserer Hochschule Chinesisch.

## Freiberg – Domizil für ausländische Studenten

Der Ausbau der internationalen Kontakte, insbesondere des Studentenaustauschs, setzt natürlich auch entsprechende Rahmenbedingungen in Freiberg



IMRE-Alumni während des Expert & Short Course „Recent Developments in Carbon Asset Management“ im Rahmen des 10-jährigen IMRE-Jubiläums. Foto: Detlev Müller

voraus, z. B. eine gute Betreuung der Studenten und Doktoranden an den Instituten und Fakultäten, ein bedarfsorientiertes Deutschangebot, ausreichend vorhandenen Wohnraum, ein attraktives Studentenleben und diverse Serviceangebote, die vor allem den Neankömmlingen die Orientierung und das Einleben in Freiberg erleichtern. Das IUZ hat in Kooperation mit verschiedenen Partnern in den vergangenen 10 Jahren mehrere Serviceangebote für ausländische Studierende entwickelt. Beispiele sind das vom IUZ koordinierte Mentorenprogramm zur Begleitung der ausländischen Studenten vor der Anreise und bei ihren ersten Schritten in Freiberg. Wir unterstützen ausländische Studierende bei der Wohnungssuche, bieten ihnen ein reiches Angebot an Veranstaltungen, Exkursionen und die Möglichkeit des Sprachaustauschs durch das Sprachtandemprogramm. Dank der Angebote Freiburger Familien sind wir in der Lage, ausländischen Studierenden den persön-

lichen Kontakt zu ihren Freiburger Gastgebern auch außerhalb der Universität zu ermöglichen. Besonders beliebt sind diese „Homestays“ um die Weihnachtszeit. Damit noch mehr ausländische Studierende in den Genuss dieses wunderbaren Erlebnisses kommen, suchen wir immer neugierige Freiburger Familien als Gastgeber. Ein ganz neues Projekt ist das Sprachtutorenprogramm, in dem Freiburger Bürger auf ehrenamtlicher Basis ausländischen Studierenden und Doktoranden einen Korrekturservice für ihre wissenschaftlichen Arbeiten, Projektanträge etc. anbieten.

Stolz sind wir auch auf unser Schulprojekt ISIS, in dessen Rahmen wir ausländische Studierende für eine Unterrichtsstunde oder zu Projekttagen mit dem Ziel des Lernens von- und miteinander an Schulen und Kindergärten in Freiberg und Umgebung vermitteln.

Schließlich bietet das IUZ ein umfassendes Angebot an Deutschkursen an: vom Anfängerunterricht über Vorberei-

tungskurse auf die Deutsche Sprachprüfung für den Hochschulzugang bis hin zu Fachsprachenkursen, wie Wirtschaftsdeutsch oder Deutsch für Techniker. Die Nachfrage nach bedarfsorientierten Deutschkursen steigt stetig. Wir haben Intensivkurse für Gäste im Rahmen bestimmter Hochschulprogramme und Projekte eingerichtet, richten Frühjahrs- und Herbstkurse für neu anreisende ausländische Studierende aus und bieten nunmehr auch eine Weiterbildungsveranstaltung für Deutschlehrer ausländischer Schulen und (Partner-)Hochschulen an. Neben der Vermittlung fachsprachlicher und landeskundlicher Aspekte in der Deutschausbildung sehen wir diesen Kurs vor allem auch als Möglichkeit der Studienwerbung über Multiplikatoren. Wir hoffen sehr, dieses vielfältige Deutschkursangebot trotz geringer werdender personeller Ressourcen auch zukünftig aufrechterhalten zu können.

Internationalität hat an der TU Bergakademie einen hohen Stellenwert. Dies zeigt sich nicht nur in den Zahlen, vielen beschriebenen Aktivitäten und Projekten, sondern auch in der Entscheidung der Hochschulleitung, dass das IUZ zukünftig im zentral wie campusnah gelegenen Schlossplatzquartier ein neues Zuhause finden soll. Wir verbinden damit die Hoffnung, dass die vielfältigen Angebote und Serviceleistungen des Internationalen Universitätszentrums Studenten wie Mitarbeitern und Gästen der Hochschule noch besser zugänglich werden und sich das IUZ noch mehr zu einer internationalen Begegnungsstätte entwickelt. Bis es allerdings so weit ist, freuen wir uns auf Ihren Besuch in der Lessingstraße 45.

■ Katja Polanski



Praktischer ISIS-Unterricht: Nahla Hokan aus Syrien erläutert die Zubereitung von Hummus (Kichererbsenbrei). Foto: Torsten Mayer



Eine Reise nach Afrika unternahm Schüler der Grundschule „Georgius Agricola“ im Rahmen des ISIS-Projekts. Foto: IUZ

## SR Vietnam als Partner

Vietnam war und ist weiterhin für die TU Bergakademie Freiberg ein bedeutender Partner. Freiburger Bergbau-, Geologie-, Werkstoffwissenschafts- und Mathematik-Professoren pflegen seit Jahren Kontakte zu Universitäten in Hanoi. Als Beispiel sei der vom DAAD unterstützte Aufbau des Studiengangs Technomathematik genannt.

Rund 40 vietnamesische Studenten und Wissenschaftler lernen und forschen zur Zeit an der Freiburger Uni, über 250 Freiburger Absolventen leben in Vietnam. Seit 1998 sind viele von ihnen in der „Zentralen Deutsch-Vietnamesischen Freundschaftsgesellschaft – Verband TU Bergakademie Freiberg“ organisiert. Einige vietnamesische Familien sind nun schon über zwei Generationen mit der Bergakademie verbunden. Lesen Sie hierzu z. B. auch das Alumni-Porträt „Frau Minh und die Bergakademie – eine lange Geschichte“ auf der Alumni-Homepage der TU Bergakademie Freiberg ([www.alumni.tu-freiberg.de](http://www.alumni.tu-freiberg.de)).

Die Alumni-Arbeitsgruppe des Rektors der TU Bergakademie verstärkt seit 2008 die Zusammenarbeit mit den vietnamesischen Alumni. Hierzu wurden zum einen die vietnamesischen



Vor der Neuen Mensa im Juni 2009 – das Alumni-Symposium. Foto: IUZ

Seiten der Alumni-Homepage erweitert. Der Alumni-Verein in Vietnam hat zusammen mit der TU Bergakademie Freiberg – wiederum großzügig vom DAAD unterstützt – zwei eintägige Seminare zum Bergbau (2009) und zu Werkstoffthemen (2010) in Hanoi durchgeführt. Höhepunkt war im Juni 2009 das vom DAAD und dem Verein der Freunde und Förderer unterstützte Alumni-Experten-seminar: „Ressourcen- und Umwelttechnologie: Chancen der deutsch-vietnamesischen Kooperation“. Neben den Fachthemen kam auch die gemeinsame Alumni-Arbeit zur Sprache. Außerdem gab es viele Gelegenheiten zu persönli-

chen Kontakten und zum Wiedersehen nach langer Zeit. Das Seminar, zu dem 18 vietnamesische, ein kambodschanischer und ein thailändischer Absolvent sowie viele Interessenten aus der Region teilnahmen, lief direkt vor dem 60. Berg- und Hüttenmännischen Tag. So konnten die südostasiatischen Alumni auch den BHT besuchen.

Das Resümee vieler Gäste und Freiburger war sehr positiv. Allerdings, nachhaltige Alumni-Arbeit funktioniert nach dem Modell „Steter Tropfen höhlt den Stein“. Helfen Sie uns, die Kooperation zu Vietnam weiter auszubauen!

■ Christoph Breittkreuz

## Studiengang Technomathematik – und was kommt danach?

Während einer Gastdozentur von Prof. Schaeben von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau an der Fakultät für Angewandte Mathematik und Informatik der TU Hanoi im Herbst 2002 wurde die Idee geboren, einen neuen, anwendungsorientierten Masterstudiengang Technomathematik an der TU Hanoi zu installieren (vgl. Heft 2008, Beitrag Spröbzig). Vom DAAD erhielt die TU Bergakademie Freiberg im Herbst 2004 die Zusage, dass der Aufbau des Studiengangs in den Jahren 2005 bis 2008 mit jährlich 14.000 Euro finanziell unterstützt wird. Im Studiengang Technomathematik hörten die vietnamesischen Studenten neben Lehrveranstaltungen der Mathematik und Informatik der Fachkollegen der TU Hanoi auch Vorlesungen zur Mathematik, zur Modellierung, zur Strömungsmechanik, zur Hydrogeologie und zu mathematischen Modellen der Geowissenschaften, die von Hochschullehrern der TU Bergakademie Freiberg mehrfach in Blockkursen vor Ort gehalten wurden. In jedem Jahr waren auch Dozenten und Studenten der TU Hanoi an der TU Bergakademie Freiberg zu Gast. Während dieser Kurzaufenthalte wurden Lehrinhalte der einzelnen Vorlesungen diskutiert und Vorlesungsskripte angefertigt. Die Studenten haben sich mit der wissenschaftlichen Arbeit Freiburger Professoren bekannt gemacht, und es wurden die Masterarbeiten und Promotionsprojekte vietnamesischer Studenten vorgestellt und gemeinsam diskutiert.

Mehr als 30 Absolventen haben den Studiengang Technomathematik mittlerweile erfolgreich abgeschlossen. Mehr als zehn von ihnen promovieren an Universitäten in Deutschland, Österreich, Schweden und den USA, zwei davon bisher an der TU Freiberg. Führt man sich vor Augen, dass von 61.190 Hochschuldozenten an vietnamesischen Hochschulen nur 6.217 promoviert sind, dann versteht man das Ziel der neuen Kooperationsvereinbarung zwischen der Fakultät für Mathematik und Informatik unserer Universität und der TU Hanoi, mehr vietnamesische Kollegen mit Masterabschluss zur Promotion zu führen.

Im Januar dieses Jahres weilte Prof. Reissig zu Vorlesungen an der TU Hanoi. Im Rahmen dieser Aktivität wurden verschiedene Promotionsprojekte aus den Gebieten Analysis, Algebra, Graphentheorie und Optimierung vorgestellt. Im Oktober werden zwei weitere Doktoranden (ein DAAD-Stipendiat, ein Stipendiat des vietnamesischen Bildungsministeriums MOET) bei Prof. Reissig und Prof. Schaeben ein Promotionsthema in Angriff nehmen. Im August 2011 sollen während einer Arbeitstagung in Freiberg Absolventen der Technomathematik der TU Hanoi über ihre Promotionsvorhaben berichten.

Impulse kommen auch von der Regierung Vietnams selbst, die über das Stipendienprogramm des Bildungsministeriums Studenten zur Promotion in die Welt schickt. Einen weiteren Schub versprechen sich die Mathematiker Vietnams nach der erstmaligen Verleihung einer Fieldsmedaille (kann man als den Nobelpreis für Mathematik für Mathematiker unter 40 Jahren bezeichnen, da es ja bekanntlich keinen Nobelpreis für Mathematik gibt – warum eigentlich?) an den vietnamesischen Mathematiker Ngo Bao Chau. Er war im Alter von 16 Jahren ein Schüler von Prof. Le Hung Son, unserem Fachpartner im Technomathematikprojekt an der TU Hanoi.

■ Michael Reissig

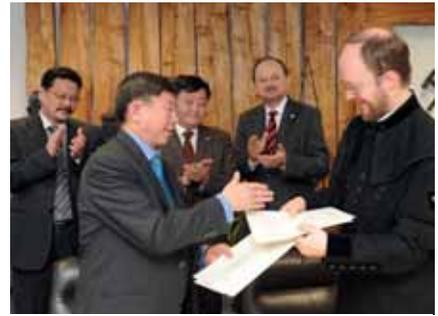
## DAAD fördert die Ausbildung mongolischer Studenten an der TU Bergakademie

„Wir wollen in unserem Land den Anteil an Ingenieuren insgesamt steigern. Die Wirtschaft braucht Fachkräfte mit einer praxisorientierten Ausbildung, wie sie in Freiberg erfolgt“, sagte der mongolische Bildungsminister anlässlich seines Besuchs an unserer Hochschule im Februar 2010. Im Ergebnis seines Besuchs wurde ein gemeinsames deutsch-mongolisches Stipendienprogramm für zunächst drei Jahre vereinbart.

Nach Ausschreibung der für ein Stipendium an Hochschulen in Deutschland zu vergebenden Stipendien fand eine Auswahl der Bewerber statt. Neun Studenten haben sich für den Studienort Freiberg entschieden: vier für englischsprachige MBA-Studiengänge und fünf für das Diplomstudium Geotechnik/Bergbau bzw. für Bachelorprogramme in Geoinformatik und Maschinenbau. Die Studenten begannen nach einer Sprachausbildung ihr Studium zum Wintersemester. Die nächste Auswahlrunde im Stipendienprogramm ist für November 2010 vorgesehen. Es gibt an unserer Hochschule auch andere mongolische Studenten, darunter vier Studenten und eine Doktorandin mit

einem Stipendium der ehemaligen Mineralischen Rohstoff- und Petroleumagentur der Mongolei (MRPAM).

Gemeinsam mit dem Bildungsminister der Mongolei besuchte der Präsident der Mongolischen Universität für Wissenschaft und Technologie (MUST) in Ulan-Bator, Prof. Damdinsuren Bayanduuren, die TU Bergakademie. Zwischen der MUST und unserer Universität besteht bereits seit 1993 eine Partnerschaft. Neben der Ausbildung mongolischer Studenten in Freiberg werden derzeit die Lehrpläne im Fachgebiet Bergbau unserer Hochschule mit denen der MUST abgeglichen, um einen hohen Ausbildungsstandard in der Mongolei zu erreichen. Ziel sind Doppelabschlüsse mit der MUST und ggf. die Einrichtung eines deutschsprachigen montanwissenschaftlichen Studiengangs. Ca. 20 Hochschullehrer der MUST haben ihr Studium an Hochschulen in der ehemaligen DDR absolviert. Auf diesen Umstand geht das an der MUST angebotene Ingenieurgrundstudium mit verstärkter Deutschausbildung zurück. Die Sprachausbildung füh-



Besuch des mongolischen Bildungsministers, des Präsidenten der MUST und des mongolischen Botschafters in Deutschland in Freiberg. Foto: Detlev Müller

ren die Alumni in Eigeninitiative durch. Dies ist ein wirklich gutes Beispiel für den Effekt der Ausbildung ausländischer Studierender in Deutschland. Am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau laufen bereits einige Promotionsprojekte deutscher und mongolischer Doktoranden.

Fazit ist, dass die Bergakademie in Kooperation mit der MUST, Ministerien und Unternehmen in der Mongolei und auch in Zusammenarbeit mit deutschen Partnern bei der Ausbildung der dringend benötigten Fachkräfte mit Praxisbezug im Bergbau und benachbarten relevanten Fachrichtungen auch weiterhin einen wichtigen Beitrag leisten kann.

■ Carsten Drebenstedt

## Die TU Freiberg unterwegs nach China

Das chinesische Hochschulsystem erfährt seit Jahren eine rasante Entwicklung. Jährlich gibt es ca. 6 Millionen Studienanfänger, und es verlassen rund 5,1 Millionen Absolventen, darunter ca. 300.000 Masterabsolventen, die Hochschulen. 237.000 Studierende sind in Promotionsstudiengängen immatrikuliert. Die Hochschulen platzen aus allen Nähten. Neben diesem quantitativen Ausbau des Hochschulsystems steht für die chinesische Regierung die qualitative Verbesserung der Ausbildung und Forschung im Vordergrund.

2009 kamen 452 Stipendiaten an deutsche Hochschulen und Forschungseinrichtungen, 74 % davon mit dem Ziel einer Vollpromotion. Deutschland ist damit für die Doktoranden nach den USA und vor Großbritannien das zweitbeliebteste Zielland.

An der TU Bergakademie Freiberg forschen derzeit sieben chinesische Doktoranden und vier Wissenschaftler mit einem CSC-Stipendium (China-Scholarship-Council). Im Oktober dieses Jahres kamen acht weitere CSC-geför-

derte Doktoranden. Diese hervorragende Quote haben wir zum einen aktiven Fachkontakten, wie z. B. denen von Prof. Konietzky vom Institut für Geotechnik, zu verdanken. Zum anderen ist sie das Ergebnis aktiver Werbung für die Bergakademie an Partneruniversitäten, im Rahmen von Hochschulmessen und anderen Kontaktbörsen durch Angehörige unserer Universität. Nicht zuletzt spricht sich Qualität auch herum und so werden wir im Herbst allein von der Central South University in Changsha sechs CSC-Stipendiaten in Freiberg zu Gast haben. Eine gute fachliche Betreuung, der enge Kontakt zum betreuenden Professor, der wissenschaftliche Austausch in der Arbeitsgruppe, die soziale Integration sowie Sprach- und andere Serviceangebote machen die Qualität der Gasthochschule für chinesische Doktoranden aus und sollten daher für unsere Universität auch weiterhin Standard sein. Da die ersten Studenten, Doktoranden und Gastwissenschaftler bereits wieder in ihre Hei-

mat zurückgekehrt sind, wird zukünftig auch die Pflege der Kontakte zu unseren chinesischen Alumni eine große Rolle spielen.

Forschungskooperation und Studentenaustausch sind natürlich auch das Ergebnis langjähriger und aktiver Kontakte zwischen Wissenschaftlern. Ein besonderes Beispiel dafür ist die Kooperation mit der Wuhan University of Science and Technology (WUST) in der Provinz Hubei, der Partnerprovinz Sachsens. Begonnen hat die Zusammenarbeit mit Fachkontakten von Prof. Aneziris im Bereich der feuerfesten Werkstoffe, die sich dann auch auf die Eisen- und Stahltechnologie (Prof. Scheller) und auf die Internationalen Wirtschaftsbeziehungen (Prof. Brezinski) ausdehnten. Seit 2007 gibt es eine Hochschulvereinbarung. Eine erste Studentin der WUST absolviert ein Doppeldiplomprogramm in der Eisen- und Stahltechnologie, eine weitere Studentin hat im Oktober nach zweisemestriger Deutschausbildung mit



Bildungsmesse Shanghai, 2009. Foto: Bero Barutzky

dem Masterstudium in Keramik, Glas- und Baustofftechnik begonnen und der Studentenaustausch mit dem Masterprogramm International Business in Developing and Emerging Markets (IBDEM) ist in Vorbereitung. Wir haben Wissenschaftler und eine Deutschlehrerin der WUST in Freiberg zu Gast (gehabt), deutsche Studenten haben Praxissemester in Wuhan absolviert und Prof. Scheller und Prof. Aneziris wurden zu Gastprofessoren in Wuhan berufen.

Mit dem Ziel, auch mit anderen chinesischen Hochschulen bestehende Fachkontakte weiter auszubauen, Programme für den Studentenaustausch zu entwickeln, Doktoranden für die Promotion in Freiberg zu gewinnen, Möglichkeiten für Aufenthalte deutscher Studierender in China zu erschließen und den Bekanntheitsgrad der TU Bergakademie in China zu erhöhen, hat die TU Freiberg in den letzten zwei Jahren ihre Aktivitäten in China deutlich verstärkt. Es wurden Fachvorträge an verschiedenen Hochschulen gehalten, die Freiburger Studien- und Forschungsmöglichkeiten an Hochschulen und auf Bildungsmessen präsentiert, es gab Gespräche mit Fachkollegen und Vertretern der Hochschulleitungen, Graduate Schools und Internationalen Büros. Delegationen chinesischer Partner wurden in Freiberg empfangen, neue Vereinbarungen werden abgestimmt und Projekte vorbereitet. Involviert in diese Aktivitäten sind Vertreter aller Fakultäten. Aktiv begleitet und unterstützt werden sie durch den (ehemaligen) Prorektor für Bildung, Prof. Dr. Michael Schlömann, sowie durch Herrn Huojin Xiong, Mitarbeiter der Graduierten- und Forschungsakademie, der uns seit April 2009 als Projektverantwortlicher für die Kooperation mit chinesischen Hochschulen zur Seite steht.

Zu den in Planung befindlichen Projekten gehört auch das „4+2 Programm“ mit verschiedenen Partnern: chinesi-



Unterzeichnung einer Koop-Vereinbarung mit der Guangdong University of Technology, 2009.

Foto: K. Polanski

sche Studierende absolvieren ihre Bachelorausbildung in China und bereiten sich dort bereits sprachlich auf das Masterstudium vor, das sie dann nach einem Sprachintensivkurs in Freiberg beginnen werden. Einige der wichtigsten Partnerhochschulen der TU Bergakademie werden zukünftig neben der WUST die China University of Geosciences in Wuhan und Beijing, die China University of Mining and Technology in Beijing und die University of Science and Technology in Beijing, die South China University of Technology und die Guangdong University of Technology in Guangzhou sowie die Central South University in Changsha sein. Daneben gibt es viele Einzelkontakte auf Fachebene, wie z. B. die von Prof. Reissig in der Mathematik. Im Rahmen eines von der DFG und der National Natural Science Foundation of China geförderten Projekts zur Erforschung von Modellen zur Thermoelastizität, Wellenphänomenen und Fragen der Tomographie bestehen Kontakte zur Zhejiang Universität Hangzhou, zur Donghua und Jiao Tong Universität in Shanghai. Im Februar 2011 findet im Rahmen des Projekts ein chinesisch-deutscher Workshop der 14 am Projekt beteiligten Hochschulen an der TU Bergakademie Freiberg statt.

Dass die Kooperation mit China auch noch weitere Facetten haben kann, zeigt der Kontakt zur Wuhan Foreign Languages School, an der zwei Mitarbeiterinnen des Instituts für Keramik, Glas- und Baustofftechnik im Herbst 2009 eine Kindervorlesung zum Thema „Vom weißen Gold ... und vielem mehr“ gehalten haben. Eine Schülergruppe des deutschen Sprachzweigs der Schule hat Freiberg einen Gegenbesuch abgestattet.

Zahlenmaterial: DAAD Peking, 2009

■ Huojin Xiong, Katja Polanski

## Von Freiberg nach China

Als ich 2003 mein Abitur machte, zog mich China magisch an. Einerseits stellte ich fest, dass ich über das Land fast gar nichts wusste, andererseits dort doch die Post abzugehen schien. Allerdings war mein Budget klein, so dass ich mich zunächst für einen Sprachkurs einschrieb. Dort wurde die Euphorie erst einmal gedämpft. Chinesisch lernen ist extrem anstrengend. Hätte ich das vorher gewusst, ich hätte erst gar nicht angefangen. Nach einem Semester wechselte ich mein Studienfach und an die TU Bergakademie Freiberg. Dort sah ich eines Tages eine Anzeige für ein Stipendienprogramm, dass sich an Nicht-Sinologen richtete. Ich bewarb mich und hatte Glück – ich ging nach China. An der Pekinger Tsinghua University lernte ich zwar fleißig Chinesisch, aber so richtig kam ich nicht vom Fleck. In den Semesterferien ging ich allein auf Reisen, um das Land kennenzulernen. Als das Jahr in Peking sich dem Ende zuneigte, wollte ich mein eigentliches Studium mit dem Praxissemester fortsetzen. Glücklicherweise hat die TU Bergakademie Freiberg eine Kooperation mit der Wuhan University of Science and Technology (WUST), so dass ich mich dort für fast sechs Monate mit kohlenstoffgebundenen Feuerfestmaterialien beschäftigen konnte. Wuhan liegt am Mittellauf des Yangtze und ist wie viele chinesische Städte riesig. Das Arbeiten machte viel Spaß, und es war für mich das erste Mal, dass ich mich mit feuerfesten Werkstoffen auseinandersetzen konnte. Kurz vor Ende meines Praxissemesters lernte ich meine Frau bei einem gemeinsamen Abendessen mit Freunden kennen. Das brachte einiges durcheinander. Das Ende meines Studiums war noch in weiter Ferne. 2008 ging ich zurück nach Deutschland, legte 13 Prüfungen ab, schrieb meine Studienarbeiten und die Diplomarbeit. Im August 2009 flog ich zurück nach Wuhan. An der Huazhong University of Science and Technology besuchte ich wieder einen Sprachkurs. Die Bedingungen waren hervorragend. In der Regel waren wir nur vier Studenten im Kurs und die Fortschritte konnten sich auch sehen lassen. Jetzt zurück in Deutschland, vermisse ich China. Da mich mein Weg sicherlich noch häufiger nach China führen wird, hoffe ich, auch in Zukunft noch einiges erleben und lernen zu können.

■ Stefan Schafföner

## Von China nach Freiberg

Mein Weg nach Freiberg war nicht so typisch. Der Sohn der Bekannten meiner Mutter hat auch hier studiert. Er erzählte mir über die TU in Freiberg.

Mein erstes Erlebnis im Studium war die Zeit im T-Kurs. Dort wurden meine Grundkenntnisse in der Naturwissenschaft mittels sehr gut strukturierter Lehrveranstaltungen schnell wiederholt und in deutscher Fachsprache vertieft. Eine ungesessliche, schöne Erinnerung ist die mathematische mündliche Feststellungsprüfung, in der ich eine ganze Stunde an der Tafel gezeichnet, gerechnet und natürlich den beiden Prüfern (Frau Hartmann und Frau Tochtenhagen) mein Wissen „erklärt“ habe, wobei ich das Wachstum meiner deutschen Sprachkenntnisse und meines Selbstvertrauens zum Studium in Deutschland spüren konnte.

Mein Bachelor-Studium habe ich in der Regelstudienzeit reibungslos geschafft. Die Gründe dafür liegen außer bei meinen persönlichen Anstrengungen in der guten Betreuung durch das Lehrpersonal. Zwei Erfahrungen waren mir besonders wichtig: Im Grundstudium konnte ich die praktischen Übungen am Rechner mehrmals besuchen, ohne irgendwelche Einschränkung. Das war für ausländische Studienanfänger sehr hilfreich. Die andere war die Zeit zusammen mit Prof. Mönch bei der Anfertigung meiner Bachelorarbeit. Er hat so viel Geduld gehabt, mit mir zusammen zu sitzen, um meine Arbeit Wort für Wort zu korrigieren und mir beizubringen, wie man auf Deutsch richtig einen akademischen Aufsatz verfasst.

Die noch engeren Kontakte zwischen Studenten und Professoren im Masterstudium kennzeichnen nach meiner Meinung eine wichtige Eigenschaft unseres Studiengangs. Im Masterstudium habe ich meine Berufsqualifikation in zwei Richtungen ausgebaut und vertieft, nämlich virtuelle Realität, vertreten von Prof. Jung, sowie Software-Technologie und Modellierung, vertreten von Prof. Steinbach. Die attraktiven und interessanten Lehrangebote im Bereich virtuelle Realität haben mir viel Spaß gemacht, und für eine bestimmte Zeit damals plante ich, in diesem Bereich weiter zu forschen. Nach einer wissenschaftlich anspruchsvollen mündlichen Prüfung bei Prof. Steinbach wurde mir direkt eine HiWi-Stelle angeboten: Arbeit in einem von der Bayer AG geförderten Forschungsprojekt. Nach meinem Masterstudium promoviere ich nun direkt bei Bayer.

Zurzeit denke ich darüber nach, ob ich in der Zukunft forschungsorientiert oder entwicklungsorientiert arbeiten soll. Momentan sammle ich Informationen über das Fraunhofer Institut; die Arbeitsatmosphäre sowie Unternehmensphilosophie gefallen mir sehr gut. Gleichzeitig sind die Ansprüche dort auch sehr hoch – deshalb muss ich meine bisherige akademische Leidenschaft wohl besser noch weiterpflegen.

■ Dong Liang

## Steigerlied zum Kurs

„Gestern habe ich Glück auf zum ersten Mal gehört“, sagt Anna Stankiewicz-Lew aus Polen. Sie ist eine der Teilnehmerinnen an einem zweiwöchigen Weiterbildungskurs für Deutschlehrer ausländischer Schulen und Hochschulen, den das Internationale Universitätszentrum (IUZ) der TU Bergakademie Freiberg veranstaltet. Die 13 Lehrer und Lehrerinnen unterrichten an Schulen und Universitäten in Polen, Ungarn, Kroatien und Rumänien.

Auf dem Stundenplan stehen beispielsweise die Analyse fachsprachlicher Texte, die Interpretation von Schaubildern und Tabellen, sprachpraktische Übungen und das Erstellen von Arbeitsblättern. Wissenschaftler halten Vorträge zu Schwerpunktthemen der TU Bergakademie Freiberg wie Bergbau, Ökologie, Material- und Energiewissenschaft sowie Industriegeschichte, um ein lebendiges fachsprachliches Beispiel zu geben. „Ich unterrichte deutsche Allgemeinsprache an einer Schule in Polen, doch der direkte Kontakt zur lebendigen Sprache fehlt“, so Anna Stankiewicz-Lew. „Hier lerne ich nun eine Menge über die Besonderheiten der fachsprachlichen Deutsch-Ausbildung, das schätze ich besonders.“ Nach Hause zurück, werde sie mit den Eindrücken aus „einer wunderschönen kleinen Stadt mit reicher Tradition“ – und dem Steiger-Lied im Gepäck fahren.

■ Manuela Junghans, Torsten Mayer

## Sprachtutorenprogramm – ein neues Angebot für ausländische Studierende

Seit Februar 2010 gibt es für ausländische Studierende und Doktoranden ein neues Angebot: das Sprachtutorenprogramm, das die Freiwilligenbörse Freiberg und der Arbeitskreis „Ausländische Studierende“ (AKAS) der TU Bergakademie Freiberg ins Leben gerufen haben. Die Sprachtutoren korrigieren Studien- und Projektarbeiten, Bachelorarbeiten, Master- bzw. Diplomarbeiten, Dissertationen sowie Bewerbungen für Praktika, Jobs und Stipendien im Hinblick auf ihre sprachliche Richtigkeit.

Geboren wurde die Idee für das Sprachtutorenprogramm aufgrund von Anfragen ausländischer Studierender an den AKAS nach einer Korrektur ihrer Arbeiten. Gleichzeitig suchte die Freiwilligenbörse Freiberg nach neuen anspruchsvollen ehrenamtlichen Betätigungsfeldern für Menschen im beruf-

lichen Ruhestand oder auf dem Weg in diesen. Im Rahmen des Projekts „Junge Alte machen mobil“ engagieren sich Menschen im Alter zwischen 50 und 70+, die ihre Kenntnisse und Fähigkeiten für neue Aufgaben nutzen und anderen zur Verfügung stellen möchten. Da kein Interessent abgewiesen wird, gibt es auch einige jüngere Tutoren. Derzeit engagieren sich 21 Sprachtutoren mit einem Durchschnittsalter von 55 Jahren. Mit ihrer weltoffenen Einstellung und variabler Konsultationszeit geben sie neben den Korrekturen „ganz nebenbei“ ein Training in der deutschen Sprache.

Seit März 2010 nahmen 30 Studierende und Doktoranden aus zwölf Ländern an dem für sie kostenlosen Programm teil. Die Hälfte aller Studierenden, die diesen Service in Anspruch nahmen,

kam aus China, Syrien und Polen. Am häufigsten wurden Diplom- bzw. Masterarbeiten korrigiert. Die Studierenden nehmen neben ihrem gelungenen Abschluss das Gefühl mit nach Hause, dass sie in Freiberg auf unterschiedlichste Art sehr gut in ihrem Studium begleitet wurden – auch durch die Freiburger Bevölkerung.

Unter [freiwoerse@web.de](mailto:freiwoerse@web.de) kann man sich für dieses Programm anmelden.

In der weiteren Programmentwicklung sind Sprachpatenschaften geplant. Dieses Angebot des Sprechtrainings ist besonders für diejenigen Studierenden wichtig, die an studienvorbereitenden Deutschkursen teilnehmen und oft wenig Kontakt zu deutschen Studierenden beziehungsweise Freibergern haben.

■ Kirsten Hutte, Manuela Junghans

## Klausurtagung der Arbeitsgruppe Photovoltaik der TU Bergakademie Freiberg mit der Silizium-Arbeitsgruppe der NTNU Trondheim

### 2nd Norwegian-German Group Seminar on Solar Cell Materials

Im Rahmen des multilateralen Forschungsnetzwerks der NTNU Trondheim, der AGH Krakau, des Chemisch-Technologischen Instituts in Prag, der TU Bergakademie Freiberg und der Verbundnetz Gas AG Leipzig kam es immer wieder zum wissenschaftlichen Austausch zwischen Mitgliedern des Instituts für Experimentelle Physik aus der Arbeitsgruppe Photovoltaik von Prof. Möller und Mitgliedern der Arbeitsgruppe Silizium von Prof. Arnberg vom Department of Materials Science and Engineering (DMSE) der NTNU Trondheim/Norwegen.

Das DMSE ist das führende materialwissenschaftliche Institut in Norwegen und eng verwoben mit dem SINTEF (The Foundation for Scientific and Industrial Research). Mit dieser strategischen Allianz wird in Norwegen eine weltweit führende Position in Forschung und Entwicklung angestrebt. Da die Trondheimer und die Freiburger Arbeitsgruppe wissenschaftlich sehr ähnliche Thematiken bearbeiten, entstand die Idee, sich inhaltlich intensiv auszutauschen, um mit einem Blick über den Tellerrand auch Herstellungs- und Analysemöglichkeiten kennenzulernen, die in der eigenen Arbeitsgruppe nicht vorhanden sind. Für Studenten und Doktoranden stellt so ein

Austausch eine wichtige Ergänzung der Ausbildung dar; sie erfahren, wie auf internationaler Ebene wissenschaftlich gearbeitet wird.

Das erste Treffen beider Arbeitsgruppen fand vom 16. bis 19. September 2008 in Trondheim statt. Der zweite gemeinsame Workshop wurde vom 7. bis 11. September 2009 in Freiberg durchgeführt. Zu diesem Workshop reisten zehn norwegische Kollegen an. Das Programm war gefüllt mit wissenschaftlichen Vorträgen, Diskussionen und Laborbesichtigungen. An den Abenden sowie am letzten Tag stand das soziale und kulturelle Programm im Vordergrund.

Das Vortragsprogramm wurde am ersten Tag durch die Freiburger Arbeitsgruppe gestaltet. Prof. Möller gab zunächst einen Überblick über die TU Bergakademie Freiberg, deren Geschichte und aktuelle Aktivitäten sowie über die Forschung im Institut für Experimentelle Physik. Danach wurden aktuelle Forschungsthemen der Freiburger Arbeitsgruppe durch Diplomanden, Doktoranden und Wissenschaftler vorgestellt. Die Themen umfassten das Silizium-Drahtsägen, Verunreinigungen in multikristallinen Siliziumblöcken, elektrooptische Charakterisierungsver-

fahren bis hin zu Zink-Oxid, das als Kontaktierungsmaterial in der Photovoltaik verwendet wird. Am Abend hatte Prof. Möller zum Willkommensempfang zu sich nach Hause eingeladen.

Am Folgetag präsentierten die Kollegen der NTNU und von SINTEF die Ergebnisse ihrer Forschungen. Prof. Arnberg und Dr. Gabriella Tranell stellten die Forschungskooperationen von NTNU und SINTEF sowie die neue Regenerative-Energien-Initiative der norwegischen Regierung vor. Die Fachvorträge der Masterstudenten, Doktoranden und Wissenschaftler beinhalteten Simulationsrechnungen zur Kristallisation von multikristallinem Silizium, thermodynamische Berechnungen zur Siliziumschmelze und die Defektphysik in kristallinem Silizium. Am dritten Konferenztag wurden die Besucher durch die Labore des Institutes geführt, anschließend gab es eine Diskussion über gemeinsame Forschungsthemen. So wurde festgelegt, auf dem Gebiet des Germanium-dotierten Siliziums weiterhin zusammenzuarbeiten. Auch eventuelle längere gegenseitige Forschungsaufenthalte wurden diskutiert und deren Durchführbarkeit besprochen.

Von beiden Arbeitsgruppen wurde der Workshop als sehr interessant und gewinnbringend eingestuft. Wir danken der Verbundnetz Gas AG für die finanzielle Unterstützung dieser Veranstaltung. Prof. Arnberg lud unsere Arbeitsgruppe zu einem erneuten Besuch in Trondheim im September 2010 ein.

■ Thomas Kaden

## Als Student der Werkstoffwissenschaften ein Semester in den USA

South Dakota School of Mines and Technology (SDSMT) Rapid City, SD, USA, 18. August 2009 bis 9. Januar 2010

### Motivation für ein Auslandsstudium

Nach vier Semestern Studium an der Bergakademie Freiberg war es mein Ziel, das Studium und Studienbedingungen auf meinem Fachgebiet an einer anderen Universität in einem anderen Land ebenso wie das Land selbst und die damit verbundene Kultur besser kennenzulernen. Zudem wollte ich durch diesen Aufenthalt meine Sprachkenntnisse vor allem auf meinem Fachgebiet festigen und Auslandserfahrungen sammeln. Natürlich sollte man sich auch das Ziel setzen, so viele soziale Kontakte zu knüpfen wie möglich, denn vielleicht ergibt sich ja die eine oder andere auch über längere Zeit während Freundschaft. Während der

Gymnasialzeit hatte ich bereits ein Jahr an einer Highschool in Michigan, USA, verbracht. Es lag also nahe, wieder in ein englischsprachiges Land, am besten wieder in die Vereinigten Staaten zu gehen. Mit der SDSMT in Rapid City (SD) hat die TU Bergakademie Freiberg ein Studenten-Austauschprogramm.

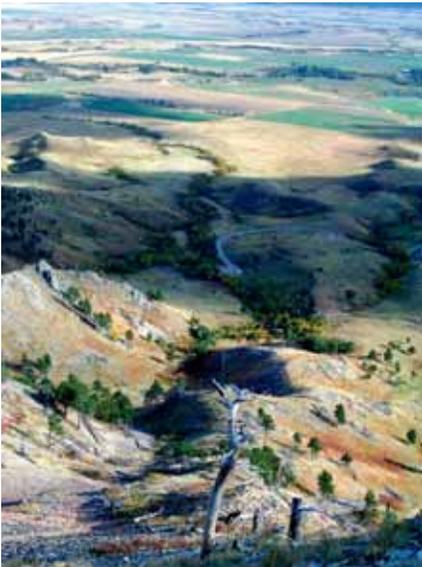
### Reise

Die Mitarbeiter des Internationalen Universitätszentrums (IUZ) der TU BA Freiberg haben mich gut beraten und sehr viel an organisatorischer Vorbereitung, vor allem im Kontakt mit der SDSMT in den Vereinigten Staaten, übernommen. Außerdem hatte ich das Glück

finanzieller Unterstützung durch ein Reisestipendium der Sparkassenstiftung.

Natürlich wollte ich meine Gesamtstudiendauer im Rahmen der Regelstudienzeit halten. Ich musste also nach Möglichkeit an der SDSMT Kurse belegen, die zum Vorlesungsplan des 5. Semesters Werkstoffwissenschaften an der TU BA Freiberg passten. Eine große Hilfe bei der zweckmäßigen Auswahl war dabei Frau Dr. Naether als Studienberaterin.

Am Zielort wurde ich von einer sehr hilfsbereiten Familie aus Rapid City, welche sich in Verbindung mit der SDSMT um internationale Studenten kümmert, in Empfang genommen. Sie leitet das sogenannte „International House“. Dort



Landschaft in South Dakota

wurde ich während der ersten Tage auch untergebracht, bevor ich mir ein Zimmer im Wohnheim besorgen konnte.

### Rapid City und Universität

Rapid City ist mit rund 60.000 Einwohnern die zweitgrößte Stadt im Bundesstaat South Dakota. Benannt nach dem Fluss „Rapid Creek“, an dem die Stadt gegründet wurde, liegt sie am Rande der östlichen Ausläufer der „Black Hills“. South Dakota ist einer der Prärie-Bundesstaaten der USA. Zusammen mit North Dakota beträgt die Fläche etwa das 1,5-fache der von Deutschland. Die Einwohnerzahl beider Staaten liegt allerdings nur bei rund 1,5 Millionen Menschen. Doch die Schönheit dieses Gebietes wird vielleicht gerade durch diesen Umstand bewirkt.

Aufgrund seiner zentralen Lage inmitten der USA herrscht in Bundesstaat South Dakota Kontinentalklima, das von langen ariden Sommern und langen kalten Wintern geprägt ist. Der Wintereinbruch brachte Temperaturen von mehr als 20 °C unter dem Gefrierpunkt und enorm viel Schnee.

### Die SDSMT und das Studium in Amerika

Die Universität in Rapid City ähnelt, gemessen an der Studentenzahl, der TU Bergakademie Freiberg, jedoch sind alle Fakultäten und Verwaltungsgebäude auf einem gepflegten Campus angesiedelt, so dass lange Wege zwischen allen Gebäuden erspart bleiben. Das Lehrangebot erstreckt sich über Geologie, Biologie bis hin zu den meisten Ingenieurwissenschaften, wie z. B. Maschinenbau oder



Campusmittelpunkt der South Dakota School of Mines and Technology (SDSMT)

Elektrotechnik. Die Ausstattung der Hochschule, an Zahl und Qualität von Laboratorien und am Umfang des Bibliotheksbestands gemessen, ist sehr gut.

Die Verbindung zur Praxis steht in der Ausbildung fast noch stärker im Vordergrund als bei uns in Freiberg. Praktika und eigene Forschungsarbeiten können völlig selbstständig durchgeführt werden, ohne dass lange Anmelde Listen o. ä. auszufüllen sind.

Weiterhin ist der Kontakt mit den Professoren – wie von Professoren und Studenten gewünscht – sehr eng. Es gab nach meiner Erfahrung keinen der Professoren, der nicht für das eine oder andere spontane Gespräch oder für eine fachliche Diskussion ohne Anmeldung zur Verfügung stand.

Die Kurswahl erfolgt an der SDSMT online. Über das interne System „WebAdvisor“ meldet man sich für seine Kurse an. Man kann auch jederzeit über dieses System die aktuellen Noten abrufen. Die Vorlesungen laufen an nordamerikanischen Universitäten im Allgemeinen sehr verschult ab. Für viele Fächer ist die Verwendung eines Lehrbuchs vorgeschrieben, das man – anders als in Deutschland – nicht in der Bibliothek ausleihen kann, sondern kaufen muss. Zu jedem Semesterbeginn werden neue Auflagen herausgebracht, die der Student auf Empfehlung der Universität erwirbt. Ein Weitergeben oder Weiterverkaufen an Studierende folgender Studienjahre ist kaum oder nur sehr schwer möglich.

Anders als in Deutschland sind während des Semesters Hausaufgaben zu lösen oder Berichte zu schreiben, die wöchentlich eingereicht werden müssen.

Sie gehen zusammen mit ein oder zwei Zwischenprüfungen während des Semesters in die Gesamtnote ein. Das hat den Vorteil, dass sich zu etwa fünfzig Prozent die Semesterabschlussnote eines Fachs aus Leistungen zusammensetzt, welche mit Fleiß schon während des Semesters erbracht werden. Böse Überraschungen wie eine völlig verpatzte Prüfung bleiben daher aus.

Die Vorlesungen werden sehr modern und innovativ gehalten. Jeder Professor nutzt Beamer und Computer, um den Stoff so anschaulich wie möglich darzustellen. Der Unterschied zu deutschem Unterricht liegt vor allem in der Breite und Tiefe der Themenbehandlung.

Besonders im Bachelorstudium wird gegenüber dem theoretischen Hintergrund von Problemen in größerem Maße auf deren Lösung Wert gelegt. Grund für diesen Unterschied ist der Fakt, dass viele Studenten nach dem Bachelorabschluss die Universität verlassen und sofort in einen Beruf einsteigen. Die Wirtschaft in den USA scheint dies zu akzeptieren.

Ich habe fünf Kurse belegt. Mit den Ergebnissen der Prüfung war ich sehr zufrieden. Vier der abgelegten Prüfungen wurden mir in Freiberg als meine ersten Diplomprüfungen anerkannt.

### Wohnen und tägliches Leben

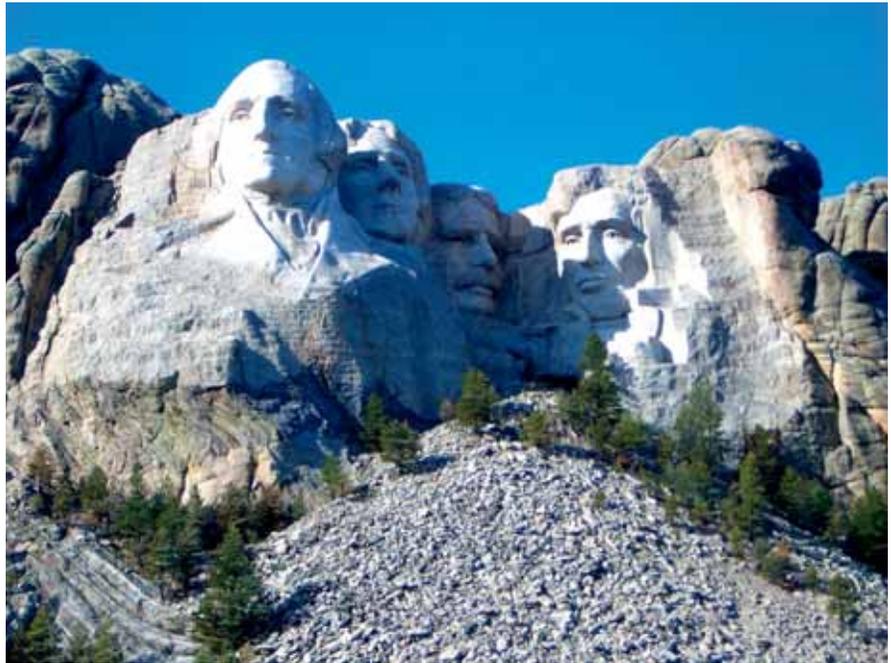
Neben dem International House gibt es an der SDSMT ein internationales Studentenbüro, welches sich nur um die Interessen und Probleme ausländischer Studenten kümmert. Die Mitarbeiter bemühen sich schon vor der Anreise um eine Wohnung. Sie erleichtern das Erledigen aller Formalitäten. Als besonders

nützlich habe ich die von der Universität angebotenen Einführungsseminare für ausländische Studenten empfunden. Dort kann man nicht nur Informationen über den Studienablauf oder Hilfe bei Versicherungsabschlüssen sowie Bankkontoeröffnungen erhalten, sondern auch Kommilitonen in gleicher Situation treffen und erste Freundschaften schließen. Ein Großteil meines späteren Freundeskreises bestand aus Studenten, welche an diesen Treffen teilnahmen.

Wenige Tage nach meiner Ankunft verließ ich das „International House“ und zog in ein Studentenwohnheim eines benachbarten Colleges, da das Wohnheim der SDSMT im Herbst vergangenen Jahres renoviert wurde und damit die Kapazitäten beschränkt waren. Das Quartier kostete insgesamt 240 Dollar Miete incl. aller Betriebskosten und Internet. Bei normaler Lebensweise kann man mit 500 Euro im Monat – wie in Freiberg – durchaus auskommen. Es muss jedoch gesagt werden, dass noch weitere einmalige Kosten wie Versicherungen, Bücherkäufe und anderes für das Studium Notwendige berücksichtigt werden müssen.

### Ausflüge im Land

Ein besonderes Erlebnis war für mich Thanksgiving. Ein amerikanischer Freund nahm mich mit zum Treffen seiner Familie in Estes Park, Colorado. Die Offenheit und Gastfreundlichkeit der Amerikaner wurde mir dort mehr denn je bewusst.



Mount Rushmore, Black Hills, South Dakota

### Fazit

Ich habe die Zeit in Rapid City sehr genossen. Neben der sehr guten Ausbildung an der Universität sind es vor allem die Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft der Menschen, die die South Dakota School of Mines and Technology zu einem idealen Studienort machen. Auch für die Freizeit ist durch die vielen Klubs und Sportmöglichkeiten gut gesorgt. Ich habe sehr viele Freunde aus allen Ecken der Welt gefunden und hatte die Möglichkeit, an einer außergewöhnlich kompetenten Universität für ein Semester zu studie-

ren. Diese Monate waren eine durchweg positive Erfahrung. Ich würde mich freuen, wenn mein Bericht den einen oder anderen Studenten dazu veranlasste, ein Auslandssemester in Betracht zu ziehen.

An dieser Stelle möchte ich mich nochmals beim IUZ der TU Bergakademie Freiberg, der Sächsischen Sparkassenstiftung und Frau Dr. Naether für ihre Unterstützung bedanken. Ohne ihre Hilfe und die finanzielle Zuwendung wäre dieses Auslandssemester für mich nicht möglich gewesen.

■ William Förster

# Studium und Lehre an der Fakultät Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik

Karin Sichone

## Das Studienangebot

Der Fakultät waren bei ihrer Gründung im Jahre 1994 zunächst die Diplomstudiengänge Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Silikattechnik zugeordnet. In den Studiengang Maschinenbau hatten die zu DDR-Zeiten bestehenden Fachrichtungen Gewinnungs- und Aufbereitungsmaschinen (GAM), Energietechnik und Gastech- nik in Anlehnung an die in den alten Bundesländern üblichen Ausbildungsstrukturen Eingang gefunden.

Bei der Neugestaltung der Studiengänge Maschinenbau und Verfahrenstechnik orientierten sich die Studiendekane an den Vorgaben des Fakultätentages Maschinenbau und Verfahrenstechnik

(FTMV), um die Anerkennung unserer Diplomabschlüsse durch die Unternehmen bundesweit sicherzustellen. Im Studiengang Silikattechnik, später Keramik, Glas- und Baustofftechnik, wurde für das Grundstudium auf die mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagenausbildung für andere Ingenieurstudiengänge zurückgegriffen. Für die fachspezifische Breite und Tiefe der Ausbildung bestand genügend Freiraum, um ein unikales universitäres Ausbildungsangebot zu etablieren. Da die Studierendenzahlen einen besorgniserregenden Tiefstand erreicht hatten, musste die Fakultät neben einer intensiven Studienwerbung zu neuen attraktiven, junge Menschen

ansprechenden Studienangeboten kommen. Im Rahmen der von der Universität beschlossenen Gründung des „Interdisziplinären Ökologischen Zentrums“ (IÖZ) beteiligte sich die Fakultät aktiv an der Etablierung neuer Studienangebote. Im Ergebnis schrieben sich im Oktober 1996 die ersten 22 Studenten in den Diplomstudiengang „Umwelt-Engineering“ ein.

Die Fakultät hat sich traditionell sowohl in der Forschung als auch in der Lehre verschiedensten Bereichen der Energietechnik, einem zum Profil der Universität passenden Schwerpunkt (der Begriff Profillinie entstand erst später), gewidmet. In den Studiengängen Verfahrenstechnik, Maschinenbau und

Umwelt-Engineering gab es Angebote für eine vertiefte Ausbildung im Bereich Energietechnik. Die Überlegung, dieses Angebot in einem neuen Studiengang zu bündeln, um es nach außen besser sichtbar machen zu können, führte zur Einrichtung des Diplomstudienganges Energiesystemtechnik im Jahr 1999. Der Studiengang konnte sich nicht durchsetzen – im Oktober 2000 gab es ganze fünf eingeschriebene Studierende – und so wurde er zum Wintersemester 2001/02 wieder eingestellt.

Im Bemühen um die Internationalisierung unseres Studienangebotes wurde im Studienjahr 1997/98 unter der Federführung des Studiendekans Maschinenbau, Prof. Walter, der internationale Studiengang „Sustainable Energy Engineering“ konzipiert, der im Hauptstudium englischsprachige Lehrveranstaltungen beinhaltete. Die Zugangsmöglichkeiten waren sehr flexibel gestaltet, so dass der Zugang für ausländische Studienbewerber mit einem Bachelorabschluss des Heimatlandes sehr gut möglich gewesen wäre. Heute würde man dieses Studienangebot als bilingual bezeichnen. Rückblickend war das Konzept zukunftsweisend (für die Verhältnisse unserer Fakultät fast revolutionär), denn heute beschäftigen wir uns wieder mit der Einrichtung internationaler Studienangebote mit ähnlicher Struktur.

Leider fand das Konzept in der Fakultät keine mehrheitliche Unterstützung und wurde zu den Akten gelegt.

Das Vorhaben, aufbauend auf dem Lehrangebot des Aufbaustudienganges Mechatronik einen grundständigen Diplomstudiengang einzurichten, wurde nach dem Weggang des Direktors des Instituts für Automatisierungstechnik 1997 nicht zu Ende geführt. Im Bestreben, auf den in Industrieunternehmen entstandenen Bedarf an interdisziplinär ausgebildeten Fachleuten zu reagieren, wurden im Jahr 2000 der deutschsprachige Studiengang Engineering & Computing und 2002 der fakultätsübergreifende Studiengang Technologiemanagement eingerichtet. Beide Studiengänge haben sich mit jährlich durchschnittlich 15 Studienanfängern an der Universität fest etabliert. Damit war der Findungsprozess eines tragfähigen verlässlichen Studienangebots der Fakultät im Wesentlichen abgeschlossen.

In den letzten 10 Jahren ist die Zahl der Studienanfänger um etwa 38 % auf ca. 300 angestiegen. Damit hat sich der

Anteil unserer Fakultät an der Gesamtstudierendenzahl der TU Bergakademie Freiberg von vormals 20 auf heute ca. 25 % erhöht.

Die Grundzüge des Bologna-Prozesses und die an anderen Universitäten mit ziemlicher Eile praktizierte Umstellung auf die Bachelor- und Masterausbildung wurden von der Professorenschaft der Fakultät eher kritisch gesehen und mit Skepsis diskutiert. Erst als deutlich wurde, dass der Prozess nicht aufzuhalten ist und sich auch der VDI und der Fakultätentag Maschinenbau und Verfahrenstechnik positiv positioniert hatten, begann die Fakultät etwa im Jahr 2005 ernsthaft mit der Umsetzung der Bologna-Vorgaben.

Die Professoren des Instituts Keramik, Glas- und Baustofftechnik haben sich mit dem Argument der fehlenden Akzeptanz der neuen Abschlüsse in den kooperierenden Industrieunternehmen zur Umgestaltung ihres Studienganges in einen zehensemestriigen modularisierten Diplomstudiengang entschlossen.

Den Empfehlungen des Fakultätentags folgend, wurden die anderen grundständigen Studiengänge der Fakultät einheitlich zu forschungsorientierten konsekutiven Bachelor- und Masterstudiengängen umgestellt. Diese Arbeit ist gerade erst mit der Genehmigung der Masterstudiengänge abgeschlossen worden. Die Bachelorausbildung hat eine Regelstudienzeit von sieben Semestern (210 Leistungspunkte, LP) und beinhaltet 14 Wochen Fachpraktikum in einem Industrieunternehmen oder einer außeruniversitären Forschungseinrichtung. Das Masterstudium hat eine Dauer von drei Semestern (90 LP) und schließt (analog zur Diplomarbeit) im dritten Semester mit einer Master Thesis ab.

Für Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Umwelt-Engineering wurden zusätzlich viersemestriige Masterstudiengänge eingerichtet. Diese wenden sich an Absolventen einschlägiger 6-semesteriger Bachelorstudiengänge, Absolventen von Fachhochschulen und ausländische Interessenten mit Bachelorabschluss. Diese Bewerber werden im Zuge eines Qualifikationsfeststellungsverfahrens zum Studium zugelassen.

Die Modularisierung des Lehrangebotes der Fakultät war ein erheblicher Kraftakt. Im ersten Anlauf war es leider nicht gelungen, die Bewertung des Arbeitsaufwands eines Studierenden für den erfolgreichen Abschluss des Faches

(heute Modul) gut zu treffen. Deshalb wurden zum Wintersemester 2009/10 nach nur zwei Jahren neue Prüfungs- und Studienordnungen erlassen. Die Modularisierung war jedoch auch eine gute Gelegenheit, das Studienangebot zu modernisieren, von Überfrachtungen zu befreien und in der Grundlagenausbildung im sinnvollen und zulässigen Rahmen zu vereinheitlichen. Dies ist den Professoren der Fakultät weitgehend gelungen.

Für die Studierenden dürfte die Bereitstellung von Modulbeschreibungen eine Neuerung sein, die ihnen Transparenz bezüglich der Ausbildungsziele und -inhalte sowie der zu erbringenden Leistungsnachweise ermöglicht.

### Die Aufbaustudiengänge

Die Etablierung von Aufbaustudiengängen setzte schon wenige Jahre nach der Wiedervereinigung ein. Es wurde Bedarf erkannt, Absolventen von Fachschulen der DDR oder auch anderer, stark spezialisierter Ausbildungsgänge der Technischen Hochschulen Qualifizierungsmöglichkeiten anzubieten, um ihnen neue Chancen auf dem Arbeitsmarkt zu eröffnen. Folgende Studienangebote wurden an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik eingerichtet.

Aufbaustudiengang	Eingerichtet	Eingestellt
Umweltverfahrenstechnik	1994	–
Silikattechnik	1994	2003
Mechatronik	1995	2003
Sicherheitstechnik	1996	2002

Die vier Studiengänge hatten eine Regelstudierendauer von vier Semestern, wobei das erste Fachsemester als Anpassungsstudium in Abhängigkeit von den nachgewiesenen Vorkenntnissen mit einem individuellen Studienplan ausgestaltet wurde. In der Mehrzahl dieser Studiengänge entsprachen die Einschreibezahlen, vor allem aber die Absolventenzahlen, bei weitem nicht den Erwartungen der Fakultät. Nur im Aufbaustudiengang Umweltverfahrenstechnik gab es eine nennenswerte Anzahl von Absolventen, weshalb dieser als einziger Aufbaustudiengang unserer Fakultät auch nach 2003 weitergeführt wurde.

### Das Lehrangebot der Fakultät

An der Fakultät sind 19 Professuren verankert, die die Ausbildung in den sechs Studiengängen der Fakultät, in zwei Vertiefungen des Studienganges

Wirtschaftsingenieurwesen sowie im Studiengang „Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten“ der Fakultät 5 maßgeblich tragen.

Hinzu kommen eine Juniorprofessur „Multiskalenmodellierung des Materialverhaltens“, die im Rahmen der Landesexzellenzinitiative (ADDE) eingerichtet wurde, sowie die Professur „Reaktionsströmungssysteme“ im Rahmen des Zentrums für Innovationskompetenz „Virtuhcon“, gefördert vom BMBF und vom Freistaat Sachsen. Diese beiden Professuren sind bis jetzt noch nicht nennenswert im Lehrangebot der Fakultät verankert, sollen aber bei der Einrichtung eines englischsprachigen Masterstudiengangs innovative Lehrangebote einbringen.

Die personelle Ausstattung der Professuren war bereits vor Gründung der Fakultät maßgeblich am Lehrbedarf, also an der Belastung der Professur durch Lehraufgaben, ausgerichtet worden. Um in Zeiten schwacher Studierendenzahlen einem Stellenabbau aus dem Wege zu gehen oder auch zusätzlichen Stellenbedarf für Wissenschaftler zu begründen, entstand eine Vielzahl von stark spezialisierten Lehrangeboten, die sich größtenteils an relativ kleine Hörergruppen wandten. Mit Wegfall mehrerer Professuren im Zuge des Stellenabbaus und der Vereinbarung neuer Kriterien für die Festlegung der personellen Ausstattung der Professuren musste das Lehrangebot zwangsläufig aktualisiert werden. Die Fakultät bietet heute knapp 190 Module an, von denen 36 der Grundlagenausbildung für alle Ingenieure der Universität zuzuordnen sind.

Die in die Grundlagenausbildung eingebundenen Professuren haben ein gewaltiges Pensum an Lehre vor allem zur Absicherung des Übungs- und Praktikumsbetriebes zu bewältigen. Hinzu kommt hier noch der beträchtliche Aufwand für die Beleg- und Klausurkorrekturen, der in den letzten Jahren aufgrund der hohen Studienanfängerzahlen und steigender Zahl von Wiederholungsklausuren ständig zugenommen hat.

Auf die schwierigen Umstände hat das Rektorat durch Bereitstellung finanzieller Mittel aus dem Hochschul-Pakt für Tutorien zur Festigung des vermittelten Stoffes reagiert. Erwähnenswert ist die Bereitschaft einiger Professoren, ihre Kollegen in der Grundlagenausbildung durch zweckgebundenes Abstellen von wissenschaftlichen Mitarbeitern zeitwei-



Sabine Schreiber, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Aufbereitungsmaschinen, führt mit internationalen Studierenden einen Punktlastversuch an einem Granit durch. Mit dem Versuch kann die Druckfestigkeit des Gesteins bestimmt werden. Foto: Detlev Müller

lig zu unterstützen. Dies gibt es wohl an kaum einer anderen Fakultät.

Die Fakultät hat sich sehr darum bemüht, beim Wegfall verschiedener Professuren erhaltenswerte, zum Universitätsprofil gehörende Lehrangebote fortzuführen. Diese Lehre wird unbefristet beschäftigten wissenschaftlichen Mitarbeitern übertragen, die durch ihre Forschungstätigkeit besondere Kenntnisse auf bestimmten Fachgebieten nachgewiesen haben. Ohne die Leistung dieser Wissenschaftler könnte das attraktive Lehrangebot der Fakultät nicht aufrechterhalten werden.

Außer für die Lehrveranstaltungen besteht ein erheblicher Zeitaufwand für die Betreuung der studentischen Arbeiten. Dazu gehören Studienarbeit, Großer Beleg (zukünftig Bachelorarbeit), Projektarbeit (Arbeit im Team; außer Studiengänge Verfahrenstechnik und Keramik, Glas- und Baustofftechnik) sowie Diplomarbeit (demnächst Master-Thesis). Beispielsweise sind aktuell allein im Studiengang Maschinenbau jährlich etwa 230 verschiedene Aufgabenstellungen erforderlich, die formuliert, betreut und bewertet werden müssen.

Die Leistungen in der Lehre, die heute von den Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeitern erbracht werden, sind gegenüber den Anforderungen bei Gründung der Fakultät enorm gestiegen.

Bei der Neukonzipierung der Ausbildungspläne im Zuge des Bologna-Prozesses wurde darauf geachtet, dass das zukünftige Lehrangebot nicht die

vorhandenen personellen Kapazitäten übersteigt. Damit soll den Professuren ausreichend Freiraum für die Forschung eingeräumt werden.

### Die Studierenden

Seit Gründung der Fakultät hat sich die Zahl der Studierenden mehr als verdoppelt. Im Lehrbericht 1995 ist nachzulesen: „Die Regelstudienzeit wurde nur geringfügig überschritten. Im Studiengang Maschinenbau haben sieben Studenten die Diplomprüfung nach einer Studiendauer von weniger als 9,5 Semestern abgeschlossen.“ Im Studienjahr 2008/09 betrug die durchschnittliche Fachstudiendauer an der Fakultät 11,9 Semester, also fast ein Jahr mehr als die Regelstudienzeit. Erfreulicherweise sind die Abschlussergebnisse diesem Negativtrend nicht gefolgt. Die Durchschnittsnote der Absolventen unserer Fakultät war mit 1,8 bzw. 1,9 etwas besser als an der Universität insgesamt. Die relativ hohe Abbrecherquote ist bedauerlicherweise anhaltender Natur. Dies betrifft ganz besonders den Studiengang Maschinenbau. Populäre Studienrichtungen an anderen Universitäten (z. B. Luft- und Raumfahrttechnik) sind ein Grund, die TU Bergakademie nach dem Vordiplom zu verlassen. Mangelnde Fähigkeit zur Selbstorganisation nach Verlassen des Elternhauses scheint ein weiterer gewichtiger Grund zu sein. Schließlich werden Studierende durch die relativ großen Freiheiten, die ihnen der Gesetzgeber für die Gestaltung des Studiums einräumt, dazu verführt,

sich den geforderten Leistungsüberprüfungen nicht rechtzeitig zu stellen. Dadurch geraten sie im weiteren Studium in einen Strudel von Unwegsamkeiten. Auch die Deckungslücken in der Studienfinanzierung tragen besonders in den ersten Fachsemestern dazu bei, dass Studenten sich nicht mit der erforderlichen Konzentration dem Studium widmen können. Die Frage, ob die Ansprüche an die Lebensumstände eines Studenten eventuell zu hoch gestellt sind, würde von Eltern, Lehrenden und Studenten sicher ganz unterschiedlich beantwortet.

Mit dem vom Prorektor Bildung initiierten Tutoren- und Mentorprogramm will die Fakultät eine spürbare Verringerung der Abbrecherquote erreichen. Seit Beginn der Bachelorausbildung im Jahre 2007 wird von den Studierenden die zu hohe Prüfungsbelastung beklagt. Im Studiengang Maschinenbau hat sich zum Beispiel die Zahl der Leistungsnachweise für die zum 1. bis 4. Fachsemester gehörenden Fächer/Module tatsächlich erhöht. Allerdings sind dadurch die jeweils geprüften Stoffgebiete kleiner geworden, was dem Lernverhalten der meisten Studierenden entgegenkommt. Die Universität hat auf die Kritik von Studierenden reagiert und wird künftig zur Verminderung der Prüfungsdichte die Prüfungszeiträume am Semesterende verlängern.

Die studentischen Interessen werden durch den Fachschaftratsrat der Fakultät sowie durch studentische Mitglieder in den Gremien vertreten. Nach einer schwierigen Anlaufphase hat sich aus Sicht der Fakultät eine gute und fruchtbare Zusammenarbeit entwickelt.

### Ausländische Studierende

Für die Technische Universität Freiberg ist ein hoher Anteil ausländischer Studierender immer eines der Markenzeichen gewesen. Leider haben wir an der Fakultät in den letzten zehn Jahren einen drastischen Rückgang von 12,7 % im Studienjahr 2000/01 auf 4,5 % Ausländeranteil im Studienjahr 2009/10 zu verzeichnen.

Vorzeitiger Studienabbruch bzw. Hochschulwechsel wurde schon frühzeitig als eine Ursache für rückläufige Zahlen ausgemacht. Ausländische Studierende haben erfahrungsgemäß größere Schwierigkeiten als deutsche, die Studienfinanzierung für die gesamte Studienzeit abzusichern und die besseren Jobangebote finden sie ganz offensichtlich in den alten Bundesländern.

Eine wesentliche Ursache für die gegenwärtige Situation scheint in dem Umstand zu liegen, dass ausländische Studieninteressenten sich nicht mehr direkt bei uns bewerben können, der T-Kurs am Studienkolleg zurzeit nicht angeboten wird und englischsprachige Masterstudiengänge für diese Klientel die bessere Alternative für eine Ingenieurausbildung in Deutschland zu sein scheinen.

Mit den viersemestrigen Masterstudiengängen und einem in Planung befindlichen englischsprachigen Studiengang erhofft sich die Fakultät den dringend erwünschten Zulauf aus dem Ausland.

### Frauen

Der geringe Frauenanteil in ingenieurwissenschaftlichen Studienfächern wird schon seit vielen Jahren beklagt. Insbesondere seitdem klar wurde, dass den deutschen Arbeitsmarkt – relativ unabhängig von Wirtschaftskrisen – ein Ingenieurmangel trifft, wurden Initiativen gestartet, um junge Frauen für einen Ingenieurberuf zu gewinnen.

Bereits in der zweiten Hälfte der 90er Jahre startete die Kampagne des BMBF „Be.ing – In Zukunft mit Frauen“, die Unternehmen, Lehrern, Eltern und Schülerinnen das Thema Frauen im Ingenieurberuf näherbringen sollte. Auch einzelne Unternehmen haben Maßnahmen ergriffen, um junge Frauen für den Ingenieurberuf zu gewinnen. Bekanntes Beispiel ist YOLANTE – ein Förderprogramm der Firma SIEMENS, das sich an Abiturientinnen richtet und diese beim Studium ingenieurwissenschaftlicher Fächer begleitet. Viele Unternehmen nutzen den bundesweit organisierten Girls-Day, um Mädchen mit technischen Berufen vertraut zu machen und dafür zu begeistern.

Jüngste Initiative des BMBF ist „Komm mach MINT – Nationaler Pakt für Frauen in MINT-Berufen (MINT: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik)“ ([www.komm-mach-mint.net](http://www.komm-mach-mint.net)), zu dem sich Wirtschaftsunternehmen, Industrieverbände und Forschungsinstitutionen zusammengeschlossen haben, um mehr Frauen für diese Fächer zu gewinnen.

An unserer Fakultät studieren derzeit 292 Frauen. Dies macht einen Anteil von 22,9 % an der Zahl der Studierenden der Fakultät insgesamt aus. Gegenüber dem Studienjahr 2009/10 hat sich zwar die absolute Zahl nahezu verdoppelt, der Frauenanteil aber leider nur unwesentlich um 0,6 % erhöht.

Bezüglich des Leistungsniveaus der Studentinnen gibt es leider keine belastbaren Zahlen, da die Ergebnisse der Vordiplom- und Abschlussprüfungen nicht geschlechtsspezifisch ausgewertet werden. Tendenziell lässt sich feststellen, dass unsere Studentinnen nicht durch deutlich schlechtere Leistungen oder hohe Abbrecherquoten auffallen.

Der Frauenanteil bei den Absolventen entspricht in den letzten zehn Jahren dem bei den Studierenden; in einigen Jahrgängen lag er sogar leicht darüber. Dies lässt darauf schließen, dass es an der Fakultät keine strukturellen Benachteiligungen im Studium für Frauen gibt. Man kann darüber hinaus auch vermuten – und das zeigen Gespräche mit Studentinnen – dass die jungen Frauen, einmal zu einem technischen Studium entschlossen, mit mehr Engagement als mancher junge Mann das Studium betreiben. Im europäischen Maßstab liegen wir mit unserem Frauenanteil von 22,9 % knapp unter dem Durchschnitt (EU mit 27 Ländern: 24,7 % im Jahr 2007), wobei der bundesdeutsche Durchschnittswert des Frauenanteils in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen nur 18,2 % beträgt.

Um mehr Mädchen für technische Berufe gewinnen zu können, müssen alte Rollenmuster verlassen, weibliche Vorbilder in diesen Berufen sichtbar gemacht und schließlich Barrieren bei der Vereinbarkeit von Beruf und Familie weiter abgebaut werden. Dies sind Aufgaben, die nur die Gesellschaft insgesamt leisten kann. Wir werden junge interessierte Frauen weiterhin umfassend informieren und ermutigen, einen technischen Beruf zu ergreifen.

### Ausblick

Die Fakultät hat sich zum Ziel gesetzt, die Studienanfängerzahlen auf dem erreichten Niveau zu halten, flankierende Angebote zur Verbesserung der Erfolgsquoten der Studierenden aufrechtzuerhalten und das Studienangebot durch einen englischsprachigen Masterstudiengang zu ergänzen.

Die Realisierung dieser Vorhaben trotz zu erwartender Kürzungen im Haushalt wird gelingen, wenn wir uns um mehr Effizienz bemühen. Das ist die Herausforderung sowohl für die Wissenschaftler als auch für die Studierenden unserer Fakultät.

**Quellen:** Lehrberichte und Zahlenspiegel der TU Bergakademie Freiberg

# Lehre & Lernen verbessern – keine zweitrangige Aufgabe!

An vielen deutschen Universitäten dreht sich seit Jahren alles darum, mit möglichst vielen Publikationen in peer-reviewten Fachzeitschriften aufzuwarten oder bei der Einwerbung von prestigeträchtigen Drittmittelprojekten, vorzugsweise der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der einschlägigen Ministerien oder der Industrie zu glänzen. Jedem jungen Wissenschaftler, egal welcher Fachdisziplin, wird gebetsmühlenhaft von seinen akademischen Vorturnern und Fachkollegen eingebläut, dass nur Veröffentlichungen in A- oder noch besser A+-Journalen den Weg zu einer Professur und/oder einer akademischen Karriere ebnen. Darüber hinaus wird dann in Bewerbungsgesprächen – speziell der Ingenieurwissenschaften – auch noch das Drittmittelpotenzial beurteilt. Selbst wenn der guten Ordnung halber – so scheint es oft – die Lehre und Lehrqualifikation zur Sprache kommt, so ist uns kein Fall bekannt, in dem ein Bewerber mit außergewöhnlicher Lehrbefähigung, aber ‚dünner‘ Publikationsliste den Vorzug gegenüber einem Konkurrenten bekam, der augenscheinlich auf eine gute Lehre keinen Wert legt, aber bei den Veröffentlichungen punkten kann. Meist werden erstere Kandidaten gar nicht zur persönlichen Vorstellung eingeladen.

Die letztlich Leidtragenden dieser Entwicklung sind die Studierenden, denen zunehmend komplexer Stoff von pädagogischen Autodidakten vermittelt wird, die durch Imitationslernen die Unzulänglichkeiten ihrer akademischen Ziehväter und -mütter perpetuieren und keinen externen Antrieb verspüren, an der Lehr- und Lernsituation substanziell etwas zu ändern. Erstsemester mögen sich noch der Illusion hingeben, dass die stichprobenartig verordneten Überprüfungen der Qualität der Lehre offensichtliche Missstände beseitigen und einen Lerneffekt bei den Dozenten und Hochschullehrern auslösen. Rücklaufquoten von unter 10% zeigen, dass Studenten in essenziellen Dingen ihres Studiums ausgesprochen lernfähig sind. Unter Berücksichtigung des offenkundigen Willens deutscher Politiker jeglicher Couleur, die Universitäten weiteren, meist nicht richtig darauf vorbereiteten Schülerschichten zu öffnen, entsteht ein vielschichtiges und nicht zu unterschätzendes Frustrationspotenzial.

Das Rektoratskollegium der Technischen Universität Bergakademie Freiberg hat sich dieser gewichtigen Problemstel-

lung angenommen und beispielsweise durch die Gründung der Graduierten- und Forschungsakademie GraFA den Willen unterstrichen, vorhandene Defizite im Bereich der Methodik und Didaktik durch gezielte Weiterbildungsangebote zu verringern. Wie sich jedoch rasch herausstellte, wurden diese Angebote nur unzureichend oder gar nicht nachgefragt. Offensichtlich wurden die Bedarfssituation und die Motivation der angesprochenen Zielgruppen falsch eingeschätzt. Um diese Lücke zu schließen, beschloss der Stifterrat der Stiftung „TU Bergakademie Freiberg“ im Oktober 2009 das Projekt „Entwicklung von Modulen zur Erhöhung der Lehr- und Lernkompetenz von Dozenten und Studierenden an der TU Bergakademie Freiberg“ finanziell zu unterstützen. Die Entscheider der TU Bergakademie Freiberg demonstrieren damit, dass eine hohe Qualität der Lehre ein wichtiger Erfolgsfaktor für unsere Universität im Wettbewerb mit anderen Standorten ist.

Das zum Sommersemester 2010 am Lehrstuhl „Unternehmensführung und Personalwesen“ gestartete Projekt verfolgt zwei grundsätzliche Ziele. Zum einen sollen auf der Basis von konkreten Bedarfsanalysen innovative Maßnahmen zur Erhöhung der Lehrkompetenz entwickelt werden. Zum anderen kann und muss bei der Vermittlung von Wissen auch die Fähigkeit der Adressaten zur Wissensaneignung, d. h. die Lernkompetenz, analysiert und erhöht werden. In der eingangs geschilderten Situation, die durch den „Bolognarisierungsprozess“ zusätzlich verschärft wird, brauchen viele Studierende Unterstützung, um erfolgreich zu lernen.



Wie im obenstehenden Logo zum Ausdruck gebracht wird, setzt sich das Projekt zum Ziel, geeignete Ansätze zu entwickeln, die das Lehren und Lernen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg verbessern helfen.

Das Vorhaben wird in mehreren Arbeitsschritten realisiert. Dazu gehören die Ermittlung der Bedarfe an hochschuldidaktischer Weiterbildung von Lehrenden, ein nationales und internationales Benchmarking, die Untersuchung von Lernstrategien von Studierenden – speziell in den naturwissenschaftlichen und technischen Studiengängen – und die anschließende Entwicklung und Erprobung ausgewählter Module.

## Erste Ergebnisse

Im Rahmen eines „Dekanele“ wurden die Ziele und Vorgehensweisen des Projekts vor- und zur Diskussion gestellt. Es fand ein reger Austausch unter den anwesenden Dekanen über die Notwendigkeit der hochschuldidaktischen Weiterbildung statt. Generell begrüßten die Dekane eine systematische Bedarfsanalyse und die Entwicklung geeigneter Lehr- und Lernmethoden. Es wurde ausdrücklich betont, dass solche Angebote die Besonderheiten der unterschiedlichen Fachdisziplinen berücksichtigen müssen. Zudem sei es unabdingbar, dass gezielt Anreize gesetzt werden, um die Bereitschaft zur freiwilligen und zusätzlichen Weiterbildung zu fördern. Hier ist letztlich neben den Dekanen die Hochschulleitung, aber auch das gesamte deutsche Bildungssystem hinsichtlich möglicher und durchsetzbarer Lösungen gefragt. Zur Unterstützung der Bedarfsanalyse zur Erhöhung von Lehrkompetenzen (Modul „Lehren“) wird eine schriftliche Befragung als Instrument eingesetzt, die sich an die wissenschaftlichen Mitarbeiter mit Lehrverantwortung an der TU Bergakademie Freiberg richtet. Im Vorfeld wurden intensive, vertrauliche Gespräche mit ausgewählten wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern geführt werden, um insbesondere die Sensibilität für die Befragung zu erhöhen. Diese Gespräche zeigen vor allem Folgendes:

Die lehrenden Nachwuchswissenschaftler an der TU Bergakademie Freiberg – wie auch an den anderen deutschen Hochschulen – werden auf die Lehrtätigkeiten derzeit nicht vorbereitet, obwohl dies von großer Bedeutung wäre. So betonen alle interviewten Mitarbeiter die Notwendigkeit einer angemessenen Vorbereitung auf die Aufgaben in der Lehre vor Beginn der Lehrtätigkeit.

Sind erst die Anfangsschwierigkei-

ten mehr schlecht als recht bewältigt, so sinkt die Motivation zur didaktischen Weiterbildung drastisch ab. Je länger und umfangreicher die Befragten in die Lehre eingebunden sind, um so weniger Bedarf sehen sie für eine individuelle Weiterbildung auf didaktischem Gebiet. Aus Punkt 1 und 2 resultiert eine wichtige Erkenntnis: Der Wert von Weiterbildungsmaßnahmen variiert im Verlauf der wissenschaftlichen Karriere.

Die Mehrheit der Interviewpartner empfindet die klassischen Seminare oder Workshops als sehr zeitaufwändig. Manche stellen sogar die Effektivität dieser Form der Veranstaltungen in Frage. Gleichzeitig erfolgt allerdings eine positive Reaktion auf andere Formen wie Patensystem, Netzwerk zum Erfahrungsaustausch, Lehrcoaching, Hospitation etc. Es ist offensichtlich, dass das Lernen zu lehren ebenso neue Formen braucht wie die Lehre selbst. Bedauerlicherweise herrscht bei den Gesprächspartnern der Eindruck vor, dass besonderes Engage-

ment in der Lehre nicht honoriert wird und lediglich Erfolge in der Forschung im universitären Bereich zählen. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass der persönliche Erfolg in der Wissenschaft vorrangig an der Zahl der Publikationen und der eingeworbenen Drittmittelprojekte gemessen wird und außerdem eine gute Lehre zeitaufwändig ist, stellt sich für viele die Frage: Lohnt es sich überhaupt, sich für eine gute Lehre einzusetzen?

Das Augenmerk des Projekts richtet sich nicht nur auf die Bedarfe der Lehrenden, sondern auch auf die der Studierenden. Um bedarfsgerechte Hilfestellungen zu entwickeln und anzubieten, stehen hierbei die Lernstrategien der Studierenden im Mittelpunkt der Untersuchung. Aus der Vielzahl der für diesen Zweck entwickelten Methoden wird das sogenannte LIST-Inventar (Lernstrategien im Studium) verwendet. Es handelt sich um einen standardisierten Fragebogen zur Erfassung kognitiver, meta-kognitiver und ressourcenbezogener Lernstrategi-

en, der elf Skalen umfasst, die folgende Studententätigkeiten beleuchten: Organisation, Elaboration, kritisches Prüfen, Wiederholen, metakognitive Strategien, Anstrengungen, Aufmerksamkeit, Zeitmanagement, Lernumgebung, kooperatives Lernen, Literaturnutzung. Da die Befragung während der Prüfungsvorbereitungszeit stattfindet, stellt sie für Studierende auch eine Möglichkeit zur Selbstreflexion der eigenen Lernstrategien dar.

Die zu entwickelnden Module „Lehre“ und „Lernen“ sollen nach erfolgreicher Erprobung in die Graduierten- und Forschungsakademie integriert werden. Weitere, aktuelle Informationen zum Projekt und zu zwischenzeitlich erzielten Ergebnissen und Erkenntnissen finden Sie auf der folgenden Webseite:

<http://fak6.tu-freiberg.de/up/projekte/lele/>

Gern stehen wir Ihnen für Rückfragen auch persönlich zur Verfügung.

■ Michael Nippa, Lesya Zalenska

## TU Bergakademie Freiberg reagiert auf aktuelle Herausforderungen mit hochschuleigenem Karrierezentrum

Hochqualifizierte Fach- und Führungskräfte mit aktuellem Fachwissen sind für den Erfolg nicht nur der regionalen Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung unabdingbar. Die TU Bergakademie Freiberg bildet genau solche aus. Jedoch verschärft sich der Fachkräftemangel deutschlandweit und stellt insbesondere das Land Sachsen vor eine große Herausforderung. Die sinkende Zahl an Hochschulabsolventen und die innerdeutsche Migration von Talenten vor allem im Bereich des MINT-Segments (MINT = Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) haben ernsthafte Folgen für den Arbeitsmarkt. Die Wirtschaft ist aus diesem Grund auf eine gezielte Förderung der Vermittlung hochqualifizierter Fachkräfte sowie praxisnah ausgebildeter Universitätsabsolventen angewiesen.

### Gesucht: Mittler zwischen Studium und Berufswelt

Studierende und Absolventen – nicht nur der TU Bergakademie Freiberg – haben vielschichtige Probleme sowohl bei der Berufs- und Arbeitgeberwahl als auch bei der Aneignung praxisrelevanter Kompetenzen. Diese erschweren den Be-

rufseinstieg zusätzlich. Maßnahmen, die eine systematische Vorbereitung auf den Berufseinstieg bieten, sind dringend notwendig.

### Gesucht: Gezielte Vorbereitung der Studierenden auf den Berufseinstieg

Universitäten dürfen sich nicht nur als Lehr- und Forschungsanstalten verstehen, sondern müssen die Brücke zwischen Studium und Berufswelt schaffen. Diese Brückenfunktion gilt bereits heute als Qualitätsmerkmal einer Universität und trägt einen beträchtlichen Teil zu

deren Reputation und Profilierung bei. Die TU Bergakademie Freiberg reagiert mit dem Aufbau eines hochschuleigenen Karrierezentrums explizit auf die Herausforderungen.

### Das Career Center der TU Bergakademie Freiberg im Überblick

Im August 2009 startete das von dem Europäischen Sozialfonds und dem Land Sachsen mit circa 500 T € geförderte Projekt „Erprobung eines Career Centers an der TU Bergakademie Freiberg“ unter der Federführung von Prof. Dr. Michael Nippa, Inhaber des Lehrstuhls für Unter-



Foto: Detlev Müller



„Das Career Center ist eine perfekte Möglichkeit, kompetente, aufschlussreiche und individuelle Beratung für die eigene Bewerbung zu bekommen. Die angebotenen Workshops runden die Offerte ab – gelungen!“ (28.04.2010, Student)

nehmensführung und Personalwesen, in enger Abstimmung mit dem Prorektor Bildung Prof. Dr. Michael Schlömann und dem Kanzler Dr. Andreas Handschuh. Das Projekt setzt sich die folgenden Ziele:

- Verbesserung der Vorbereitung von Studierenden und Absolventen der TU Bergakademie Freiberg auf den Berufseinstieg.
- Koordinierte Netzwerkentwicklung und Förderung der Vermittlung von Fachkräften in die regionale Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung.
- Verbesserung des Informationsflusses zwischen Studierenden, Absolventen, Professoren, Forschungs- und Weiterbildungsinstituten sowie potenziellen Arbeitgebern
- Steigerung der Attraktivität der TU Bergakademie Freiberg als bevorzugter Ausbildungsstandort in Sachsen.

Nach einer ersten Erprobungsphase im Wintersemester 2009/2010, in der beispielweise die alljährliche Firmenkontaktbörse in Zusammenarbeit mit der Öffentlichkeitsarbeit organisiert wurde, bot das Career Center im Sommersemester 2010 das erste vollständige Semesterprogramm an. Dieses beinhaltet Seminare und Workshops zu den Themen Soft Skills, Bewerbung und Berufseinstieg, individuelle Bewerbungsmappenchecks in deutscher und in englischer Sprache sowie verschiedene Career Events. Innerhalb der ersten zehn Monate nahmen bereits mehr als 1000 Studierende die Angebote des Career Centers wahr. Die Resonanz der Studierenden ist dabei durchweg positiv. Besonders beliebt sind die individuellen Bewerbungsmappenchecks, bei denen insbesondere Studierende aus nicht-wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten aktiv dabei unterstützt werden, ihre speziellen Fähigkeiten und



„Durch das Freiburger Karrieregespräch habe ich einen tollen Praktikumsplatz erhalten. Dabei kannte ich das Unternehmen vorher noch gar nicht.“ (19.07.2010, Studentin)

Potenziale den neuesten „Standards“ der Bewerbung entsprechend darzustellen.

Eine weitere Neuerung für die Studierenden und baldigen Absolventen der TU Bergakademie Freiberg sind die Freiburger Karrieregespräche, im Rahmen derer sie und Unternehmen die Gelegenheit erhalten, sich in einer offenen Gesprächsatmosphäre zu treffen, um Informationen und gegenseitige Erwartungen austauschen zu können. Bestandteile der Karrieregespräche sind Unternehmenspräsentationen, aktuelle Aufgaben- und Problemstellungen sowie Einstiegsmöglichkeiten.

Ebenso erhielten Studierende beim ersten Freiburger Trainee Day am 29. April 2010 interessante Einblicke in die Praxis und die unternehmensspezifischen Traineeprogramme. Die Actemium Controlmatic GmbH, die Linde KCA Dresden GmbH und die MIBRAG mbH stellten dabei sich und ihre speziellen Einstiegsmöglichkeiten für Hochschulabsolventen vor. Im Anschluss an das Programm sorgten eine Jazzband und ein kleiner Imbiss für eine entspannte Atmosphäre, in der die Studierenden in persönlichen Gesprächen mit den Unternehmensvertretern noch einmal die Möglichkeit hatten, all ihre Fragen, Bedenken und Erwartungen auszutauschen.

Im Rahmen der koordinierten Netzwerkentwicklung arbeitet das Career Center eng mit verschiedenen Unter-



„An unseren tollen Trainee Day erinnere ich mich immer wieder gerne“ (29.06.2010, Unternehmensvertreter der Actemium Controlmatic GmbH)

nehmen und Verbänden zusammen. Beispielfhaft seien hier die Continental AG, die Choren Industries GmbH sowie die Industrie- und Handelskammer Chemnitz, die Vereinigung der Sächsischen Wirtschaft e.V. oder die Wirtschaftsförderung Erzgebirge genannt. Von dieser intensiven Zusammenarbeit mit Unternehmen und der breiten Angebotspalette des Career Centers profitieren nicht nur Studierende, Absolventen und Arbeitgeber, sondern auch die TU Bergakademie Freiberg selbst, die sich durch den Aufbau eines Career Centers als aktive und wettbewerbsfähige Hochschule zeigt. Das Career Center ist unverzichtbares Instrument einer exzellenten Universität.

■ Michael Nippa, Michael Schlömann, Linda Clauß

## Internationale Doppelabschlüsse – ein Markenzeichen der TU Bergakademie Freiberg

Die Freiburger Universität bietet seit 15 Jahren internationale Doppelabschlüsse an. Insbesondere in der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften gibt es diese Möglichkeit, sowohl von der Heimatuniversität als auch von der Partneruniversität einen akademischen Grad zu erhalten, derzeit in Kooperation mit Universitäten in Frankreich, Italien, Polen und Ungarn. Bisher haben mehr als 150 Studenten aller beteiligten Hochschulen erfolgreich einen deutschen und einen ausländischen akademischen Grad im Rahmen der Regelstudienzeit erworben.

Die Entwicklung und Umsetzung solcher binationalen Abschlüsse ist relativ aufwändig, denn die Lehrprogramme müssen aufeinander abgestimmt werden; Professoren aus den beteiligten Universitäten bieten jeweils an den Partnerhochschulen Veranstaltungen an, und die Abschlussprüfungen werden von gemeinsamen Prüfungsausschüssen abgenommen. Angesichts eines derartigen Arbeitsaufwands stellt sich auf Grund steigender Studentenzahlen die Frage, ob dies wirklich effizient ist.

Den Studenten wird eine Möglichkeit geboten, neben der normalen Ausbildung in den Wirtschaftswissenschaften interkulturelle Kompetenzen zu erlangen, ihre fachlichen Kompetenzen zu verbreitern und zu zeigen, dass sie sich in einer fremden Umgebung erfolgreich bewähren können. Gerade dies erleichtert den Eintritt in den Arbeitsmarkt und führt in der Regel zu wesentlich höheren Einstiegsgehältern. Die berufliche Entwicklung der Absolventen zeigt dies deutlich. Die ersten Absolventen, die vor zehn Jahren die Hochschule verlassen haben, sind

mittlerweile in Führungspositionen angelangt. Die erfolgreiche berufliche Entwicklung der Absolventen ist die beste Werbung für die TU Bergakademie im Wettlauf um gute Studienbewerber. Für die Hochschullehrer sind die Doppelabschlüsse trotz der Mehrarbeit lohnend, weil die Zusammenarbeit mit den ausländischen Kollegen sich nicht nur auf die im Bereich der Lehre beschränkt, sondern auch Möglichkeiten zur intensiven Kooperation in der Forschung eröffnet. So organisierten vom 5. bis 7. November 2010 die TU Bergakademie und die Wirtschaftsuniversität Poznan gemeinsam eine kleine internationale Konferenz zu den Folgen und Lehren aus der internationalen Wirtschafts- und Finanzkrise. Ein weiteres EU-finanziertes Projekt mit drei serbischen Universitäten wird unter anderem auch zu einem neuen Doppelmasterprogramm mit den Universitäten in Belgrad, Nis und Novisad führen.

Die Umstellung auf die international übliche „Bologna-Struktur“ mit Bachelor- und Masterprogrammen hat die Entwicklungsmöglichkeiten für Doppelabschlüsse verbessert. Im November wird nach zweijähriger Entwicklungsphase ein Doppelmasterprogramm mit der chinesischen Partnerhochschule Wuhan University of Science and Technology unterzeichnet. Damit wird der Internationalisierungsprozess unserer Hochschule, der sowohl vom DAAD, vom BMBF als auch von der Deutsch-Französischen Hochschule finanziell unterstützt wird, weiter vorangetrieben.

■ Horst Brezinski

## Scenario Planning – The International Financial Architecture 2030

Ein Wochenende im Juni 2010 beschäftigten sich 22 Studenten aus unterschiedlichen Ländern beim Seminar „Scenario Planning“ mit Zukunftsaussichten für die Welt im Jahr 2030. Veranstaltet wird das Seminar jährlich in englischer Sprache von Prof. Dr. Horst Brezinski (Inhaber des Lehrstuhls für Internationale Wirtschaftsbeziehungen, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften) und Prof. Dr. Martin Gillo (Gastprofessor am selben Lehrstuhl). Sie laden zu den jeweiligen Themen interessante Persönlichkeiten aus Wirtschaft, Forschung und Politik ein. In diesem Jahr stand das Seminar unter dem Motto „The International Financial Architecture 2030“. Gäste waren Dr. Jürgen Pfister, Chefvolkswirt der BayernLB, Dozent Dr. Napoli von der Partneruniversität Trento, Heide Simonis, Ministerpräsidentin a. D. von Schleswig-Holstein, und Hans-Ferdinand Schramm, Vorstand der Kreissparkasse Freiberg. Durch Scenario Planning wird versucht, die Sicht auf große Entwicklungen in der Zukunft zu schärfen. Anstatt sich auf die



eine Zukunft vorzubereiten, warum nicht auf unterschiedliche Zukunftsszenarien? Deshalb arbeiteten die Studenten unter der Führung von Prof. Dr. Gillo an Antworten auf die Frage, wie internationale Finanzarchitekturen in 20 Jahren aussehen könnten. Prof. Dr. Gillo hielt in sehr überzeugender und verständlicher Art und Weise einen Vortrag zum Sinn und Zweck des Scenario Planning. Prof. Dr. Brezinski gab eine äußerst interessante Präsentation zum Thema „The Emergence of the Current Financial Crisis and its Challenges“. Nach einer sich anknüp-

fenden Diskussionsrunde erörterte Dr. Napoli in seinem Vortrag „Innovations in Banking – Tendencies and likely Impacts on the Financial Markets“ den Einfluss von Innovationen auf die Finanzmärkte weltweit. Der Banker und Volkswirt Dr. Jürgen Pfister brachte mit seinem Vortrag „The Current Crisis: A Banker's View“ in einer klaren Sprache und mit scharf formulierten Aussagen die Tatsachen der Finanzkrise und die Aussichten für eine neue Finanzstruktur auf den Punkt.

Der Samstag begann mit dem interessanten Vortrag von Frau Heide Si-

monis „Gambled and Lost – the Need for Riffing the Playing Cards between Market and State: Some Visions for the Future“. Mit eigenen Gedanken und dem am Vortrag erworbenen Zusatzwissen formulierten die Studenten im Brainstorming zuerst mögliche Trends für die Finanzarchitektur der Welt im Jahr 2030. Dazu gehörten auch Gedanken, welche Institutionen derzeit und künftig zu den Top-Playern auf den Finanzmärkten gehören (würden). Von jetzt an mussten sich die Studenten in Gruppen in die Rolle von Mitarbeitern einer fiktiven „Freiberg Economic Consultants Group“, die im Auftrag der Vereinten Nationen (UN) tätig war, versetzen und frei von Einschränkungen komplexe Szenarien ausarbeiten. Aus den von den Gruppen präsentierten Vorüberlegungen kristallisierten sich drei grundsätzlich mögliche Richtungen für Zukunftsszenarien der Entwicklung der internationalen Finanzarchitektur im Jahr 2030 heraus:

- (1.) „The Puzzle of Wealth“ als positives Szenario,
- (2.) „The Glass House“ als neutrales Szenario,
- (3.) „The Collapse of Empires“ als Negativszenario.

Jeder Student hatte sich jetzt zu entscheiden, welches der drei Szenarien für ihn das plausibelste sei, das sich lohnt, es intensiv weiter auszugestalten. In Auswertung der Antworten wurden drei Teams gebildet. Jedes war für ein Szenario zuständig. Die Teams gingen gedanklich nun den Weg 2030–2010 rückwärts und formulierten für selbst gewählte zeitliche Stationen wirtschaftliche, politische und ethnische Ereignisse, die in ihrem jeweiligen Szenario auftreten sollten. Auf diesem „Rückweg“ entstanden drei Drehbücher, die jedes Szenario für die kommenden 20 Jahre mit Inhalt füllten. Die Studenten wurden gebeten, Frühwarnsignale ausfindig zu machen, die den tatsächlichen Eintritt ihres Szenarios andeuten würden.

In kurzer Zeit war nun der Bericht zum jeweiligen Szenario mit folgenden Eckpunkten zu erstellen:

- Szenario: eine drehbuchähnliche Beschreibung des zu erwartenden Szenarios für die internationale Finanzarchitektur 2030
- Early Warnings: eine Beschreibung von Frühwarnsignalen, die auf den Eintritt des Szenarios hinweisen könnten

- Strengths and Opportunities: Vorteile und Chancen des Szenarios für eine Welt 2030
- Contingent and Robust Strategy for the UN: Handlungsempfehlungen für die Vereinten Nationen bis 2030

Zum Schluss durften die Teams am Sonntagnachmittag in die Rolle der Berater der „Freiberg Economic Consultants Group“ schlüpfen, um ihr Szenario vor dem Auftraggeber Vereinte Nationen (UN), fiktiv vertreten durch Hans-Ferdinand Schramm, Prof. Dr. Brezinski, Prof. Dr. Gillo, und vor den Seminarteilnehmern zu präsentieren.

Die teilnehmenden Studenten aus 13 Ländern lernten beim Scenario Planning 2010 ohne Frage viel Neues über die internationalen Finanzmärkte und deren Institutionen. Noch wertvoller dürften für die meisten Studenten die Zusammenarbeit im Team und die Diskussionen am Rande des Scenario Planning gewesen sein. Zu erfahren, wie Gleichaltrige aus anderen Ländern an eine komplexe Aufgabenstellung herangehen, wie sie denken und wie sie sich auf die Zusammenarbeit einstellen, war von unschätzbarem Wert für die Teilnehmer.

■ Jacob Kleinow, Horst Brezinski

## Zeit für neue Pioniere – Kommunikationskampagne der TU Bergakademie in den alten Bundesländern

Die rückläufige demografische Entwicklung und damit der Rückgang der Anzahl an Studienberechtigten in den neuen Bundesländern und gleichzeitig doppelte Abiturientenjahrgänge in den Alten Bundesländern führen deutschlandweit dazu, dass Hochschulen zunehmend in Wettbewerb um die besten Schulabgänger treten. Doch die neuen Bundesländer und insbesondere kleinere ostdeutsche Universitätsstädte sind unter den Studieninteressierten aus den alten Bundesländern weitgehend unbekannt. Dabei stellte zeit.de/campus in einer Studie fest, dass Studierende aus den alten Bundesländern, die im „Osten“ studieren, zufriedener mit ihrem Studium sind und nannte als Gründe dafür:

- überschaubare Strukturen sorgen für gute Studienbedingungen: Kurze Wege, keine überfüllten Hörsäle, persönliche Betreuung
- technische Ausstattung und Infrastruktur zählen zu den modernsten in Deutschland
- keine Studiengebühren
- da Zulassungsbeschränkungen fehlen, kann man sein Wunschstudium absolvieren
- optimale Bedingungen für Studierende mit Kind(ern)
- hohe Lebensqualität durch niedrigere Mieten und Lebenshaltungskosten,
- familiäre Atmosphäre

Diese Erkenntnisse und der Wettbewerb um kluge Köpfe waren für die TU Bergakademie Freiberg der Anlass, eine aufsehenerregende Kommunikationskampagne zu starten. Die Kampagne, entwickelt von der Berliner Agentur cobra youth, definiert die Universität als geeigneten Ort für junge Vorreiter/innen mit Entdeckergeist und Gestaltungswillen. Die Stirnlampe als wiederkehrendes Element bei allen sechs Motiven steht für Pionier- und Forschergeist; sie ist das Symbol für geistige Erleuchtung und Einfallsreichtum und schlägt die Brücke zur Bergbautradition in Freiberg. Im Mittelpunkt der Bildmotive stehen große, aufmerksamkeitsstarke Porträts, die selbstbewusste, zielstrebige und dabei unkonventionelle Studierende der TU Bergakademie zeigen. Modell für die Kampagne standen übrigens Studierende der Universität, die von einem Fotostudio für die sechs Motive professionell in Szene gesetzt wurden!

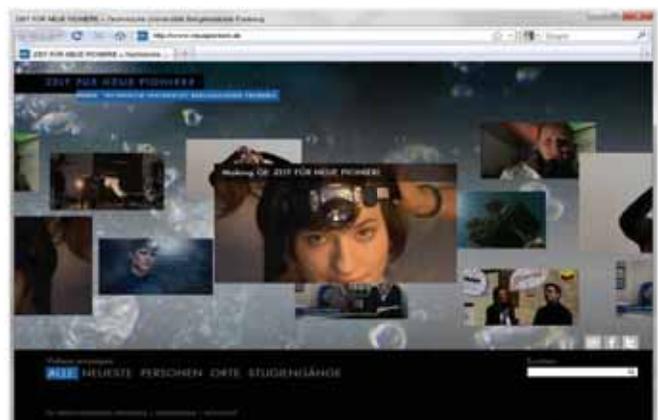
Die Kampagne „Zeit für neue Pioniere“ startete 2010 mit dem Einsatz von Großflächenplakaten in den Bundesländern Hamburg und Bayern und mit der Schaltung von Anzeigen in Abiturientenmagazinen. Ausgangspunkt der Kampagne waren die Bundesländer Hamburg und Bayern: sie werden im Jahr 2011 Doppelabiturjahrgänge entlassen. Mit unserem VW-Bus im Kampagnen-Look fahren die Mitarbeiter der Studienberatung bundesweit zu Studienberatungsmessen und Info-Veranstaltungen an Schulen. Die Internetpräsenz [neuepioniere.de](http://neuepioniere.de),



geplant als Videoportal, wird ab November 2010 freigeschaltet. Für das Internet und für Vorträge in Schulen und Präsentationen auf Messen werden Videos gedreht. Diese Videos sollen im Sinne der Kampagne inhaltlich mit den Neuen Pionieren in Verbindung gebracht werden. Clips erklären Begriffe von der Homepage neuepioniere.de und auch weitere Charakteristika des Standorts TU Bergakademie Freiberg. Dazu kommen Clips zu Studiengängen, besonderen Orten, Studierenden, Professoren und Absolventen als „Pioniere“ in allen denkbaren Facetten.

In einem Jahr werden wir sehen können, ob möglichst viele junge Leute aus den alten Bundesländern den Weg nach Sachsen an die TU Bergakademie gefunden haben und sich mit ihrem Studium in Freiberg an die Herausforderungen der Zukunft heranwagen.

■ Sabine Schellbach



Die Internetpräsenz ab 1.11.2010

# Online- und Webaktivitäten der Studienberatung und des Studierendenmarketings

**ICQ:** Direkten Kontakt zu den Studienberatern der TU Bergakademie Freiberg bekommen die Studieninteressierten längst nicht mehr nur über persönliche Termine oder Telefonanrufe, sondern seit geraumer Zeit auch über das Chat-Programm ICQ. Über die Nummern 564183740, 599383278 und 631791547 können erste Fragen zu den Studienangeboten im persönlichen Chat schriftlich beantwortet werden.

**Schülervz:** Über die Studierendenmarketingkampagne der ostdeutschen Hochschulen „Studieren in Fernost“ besitzt die TU Bergakademie Freiberg einen eigenen Auftritt in Deutschlands größtem Sozialen Netzwerk für Schüler. Auf einer Informationsseite stellt sich die TU vor, auf einer Gruppenseite mit den Namen „TUBergAk Freiberg“ beantworten sogenannte „Campus-Spezialisten“ – alle selbst Studierende in Freiberg – Fragen von Studieninteressierten. (<http://www.schuelervz.net/tu-freiberg>)

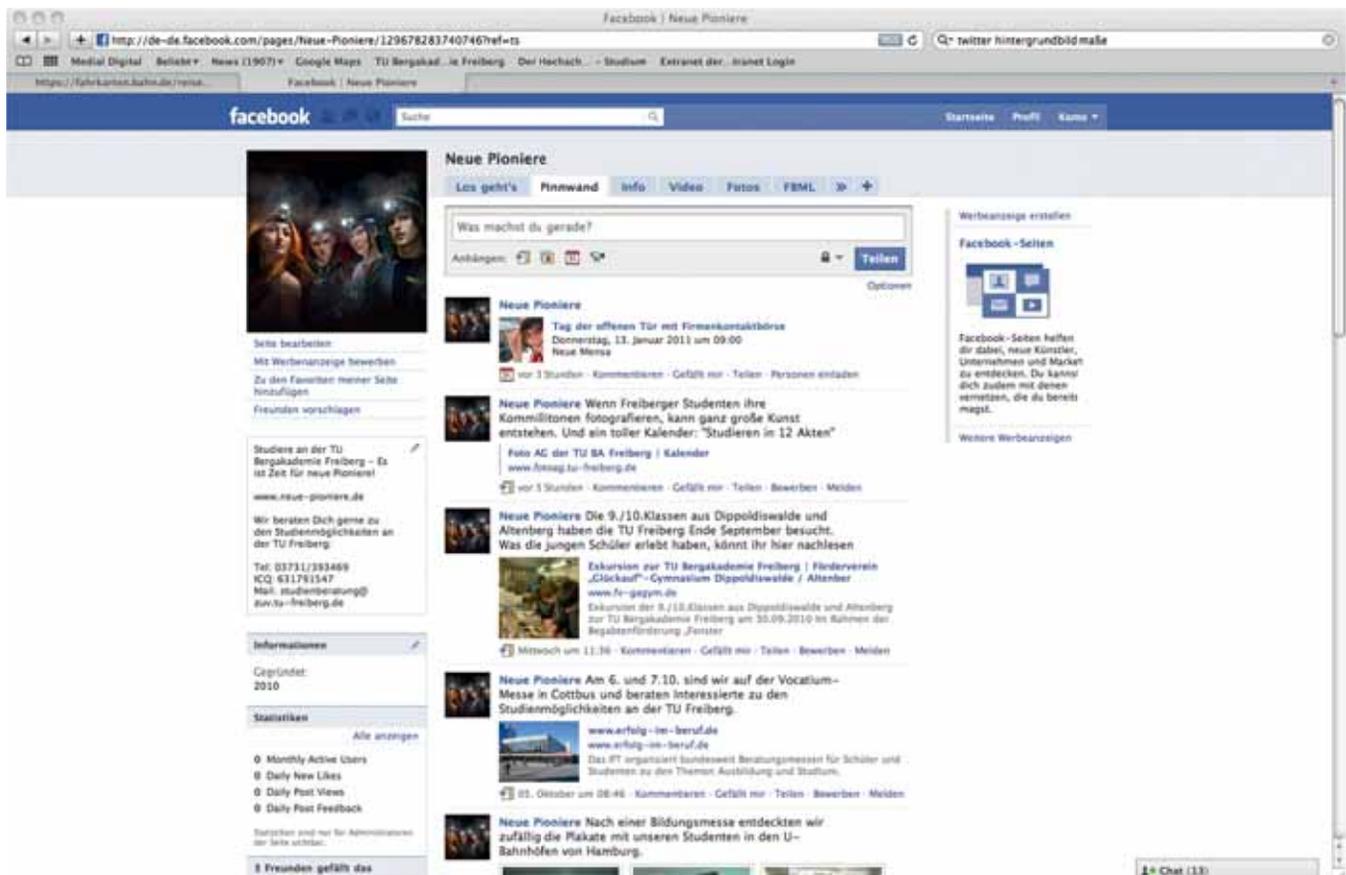
**Twitter:** Die eigene Studierendenmarketingkampagne der TU Bergakademie Freiberg „Zeit für neue Pioniere“ ist im so genannten Micro-Blogging-Dienst twitter präsent. Hier werden Interessierten u.a. die aktuellen Termine der Studienberatung auf Messen und bei Veranstaltungen in Schulen und Berufsberatungszentren mitgeteilt. (<http://twitter.com/neuepioniere>)

**Facebook:** „Zeit für neue Pioniere“ heißt es auch im weltweit größten sozialen Netzwerk facebook. Hier wird neben Terminen der Studienberatung außerhalb der Universität vorgestellt und in Videoclips gezeigt, inwieweit Studierende, Lehrende und



Absolventen der TU Bergakademie Freiberg tatsächlich neue Pioniere sind und in und außerhalb der Universität neue Wege gehen. (bald: <http://www.facebook.com/neuepioniere>)

■ Bastian Fermer



## Abitur – Studium – Beruf: Schüler an der Bergakademie

Der mit Beginn der neunziger Jahre einsetzende Geburtenknick wirkt sich zunehmend auf die Zahl der Abiturienten aus. Damit verbunden wird in den nächsten Jahren die Zahl der Studienneueinschreibungen deutlich sinken. In Zeiten, in denen die Verteilung von Fördermitteln an der Zahl der Studienanfänger gemessen wird, ist jede Universität bestrebt, die größtmögliche Zahl von Schülern als potenzielle Studenten anzuwerben.

Die kürzlich gestartete Kommunikationskampagne „Zeit für neue Pioniere“ zeigt, dass die Entscheidungsträger an der Bergakademie die Zeichen der Zeit erkannt haben. Plakate mit Sprüchen, wie „Indium kann man nicht in der Pfeife rauchen“, sind insbesondere in den Alten Bundesländern zu sehen und sollen Freiberg als Studienort in das allgemeine Bewusstsein rücken. Dass hierfür Nachholbedarf besteht, ist sicher jedem bekannt, der außerhalb Sachsens von Freiberg als Hochschulstandort spricht. Zudem werben Studenten an ihren Heimatgymnasien als Studienbotschafter um die Gunst ihrer ehemaligen Mitschüler.

Wie ein Blick auf die Homepage der TU Freiberg verrät, können interessierte Schüler an einer Fülle von Veranstaltungen teilnehmen, um sich schließlich selbst ein Bild von unserer Universität zu machen. Schüleruniversität, Schülerkolleg Chemie und das Schülerlabor „Science meets School“ sollen hier nur exemplarisch erwähnt werden. Zu den von der Universität selbst angebotenen Veranstaltungen existieren Projekte mit externen Kooperationspartnern. Unter dem Motto „Abitur – Studium – Beruf“ hatten Schüler aus dem Raum Mittelsachsen die Möglichkeit, im Februar dieses Jahres naturwissenschaftliche und technische Studiengänge an der Bergakademie kennen zu lernen. Organisiert wurde das Ferienprojekt von der Technologie Park Mittweida GmbH und der Bergakademie.

In den Fachrichtungen Mathematik, Informatik, Verfahrenstechnik und Chemie konnten die Schüler für zwei Tage hinter die Kulissen schauen. Anliegen dieser Aktivitäten war, das Interesse an den Naturwissenschaften zu wecken und ein möglichst realistisches Bild vom Studium zu vermitteln. Im Teilprojekt „Re-



Die Schüler erhalten ihre Teilnahmeurkunden.

Foto: Sacher/Westendorf

doxchemie und Energie“ erwartete die Schüler daher ein Mix aus Vorlesung, Seminar und natürlich jede Menge Arbeit im Labor.

Nach der Auftaktveranstaltung im Senatssaal verteilten sich die Schüler auf die unterschiedlichen Fachbereiche. Am ersten Tag sollten die Schüler durch einfache Experimente in den Laborräumen des Clemens-Winkler-Baus ihren Kenntnisstand zum Thema „Redoxreaktionen“ erweitern. Dieser war aufgrund der verschiedenen Klassenstufen recht unterschiedlich. Das Arbeiten in Zweiergruppen stellte sich hier als ein großer Vorteil heraus. Schüler aus älteren Jahrgängen konnten ihren jüngeren Mitstreitern einfache Zusammenhänge, wie das Bestimmen von Oxidationszahlen, erklären und schlüpften so zumindest teilweise in die Rolle der Assistenten.

Die vorbereiteten Experimente sollten nicht einfach abgearbeitet werden. Vielmehr sollte den Schülern bewusst werden, dass alle Stoffwandlungsprozesse mit dem Austausch von Energie verbunden sind: Energie, die in Form von Wärme, Licht oder Volumenarbeit freigesetzt wird. Jeweils eine Zweiergruppe beschäftigte sich mit einem Versuch näher und erklärte im Anschluss den anderen Schülern die ablaufenden Reaktionen.

Die am ersten Tag neu gewonnenen Erkenntnisse galt es am zweiten Tag zu vertiefen. Die Experimentalvorlesung „Chemolumineszenz“ legte mit zahlreichen Versuchen die Grundlagen für das Verstehen der in Farbstoffsolarzellen ablaufenden Prozesse. Begriffe wie Chemolumineszenz und Phosphoreszenz wurden durch die generelle Betrachtung der

Wechselwirkung von Licht und Materie verständlich erklärt.

Im Labor führten die Schüler nun selbstständig Versuche zu den Themen Leitfähigkeit von Metallen, Halbleitern und Elektrolytlösungen durch. Der Aufbau der photogalvanischen Elemente und die Anfertigung der Grätzel-Zellen erforderten einiges an experimentellem Geschick. Einzelne Schritte wie das Sintern der ITO-beschichteten Glasplatten mit  $\text{TiO}_2$  und die Extraktion des Farbstoffes wurden unter Anleitung der Assistenten durchgeführt. Im anschließenden Seminar präsentierten die Schüler mit Hilfe von vorbereiteten Postern die wichtigsten Ergebnisse. Das so gewonnene Wissen wurden dadurch wiederholt und vertieft.

Die Projektwoche wurde durch die Besuche bei Global Foundries Dresden und der TU Chemnitz abgerundet. Im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung erhielten alle Schüler im März eine Teilnahmeurkunde im Senatssaal der Bergakademie.

Positiv anzumerken ist die vom Projektleiter Arno Bast (Technologie Park Mittweida GmbH) bereitgestellte Auswertung der Schülerfragebögen. So bestand für die Schüler die Möglichkeit einer Bewertung der Projektwoche.

Die Organisation und die Durchführung in den einzelnen Fachgruppen stießen bei vielen Teilnehmern auf positive Resonanz. Jedoch war der fachliche Anspruch für den einen oder anderen Schüler zu hoch. Der schwierige Spagat zwischen Über- und Unterfordern ist insbesondere infolge der unterschiedlichen Klassenstufen der Schüler nicht ganz gelungen. Hier sollte im Sinne der Schüler nachgebessert werden: Je nach Klassenstufe sollten verschiedene, dem unterschiedlichen Wissensniveau angepasste Versuche angeboten werden. Zudem muss man sich als Assistent selbst an die Nase greifen und sollte nicht Wissen voraussetzen, welches man erst nach fünf Jahren Studium für selbstverständlich erachten kann.

Dennoch war der Großteil der Schüler mit dem Erlebten zufrieden. Über 90% der Teilnehmer würden die Veranstaltung weiterempfehlen. So hat das Gemeinschaftsprojekt zwischen Technologie Park Mittweida und Bergakademie sein Ziel erreicht und das Interesse an naturwissenschaftlich/technischen Studiengängen geweckt.

■ Marcus Lippold

# Geht es noch besser ?

## Eine aktuelle Betrachtung zur Studienwerbung

Die Bergakademie Freiberg hat in den letzten Jahren die Werbung von Studienanfängern immer mehr in den Fokus ihrer Aufmerksamkeit gerückt. Als Folge des Geburtenknicks nach der deutschen Wiedervereinigung erreichen die geburtschwachen Jahrgänge im Jahr 2010 die Hochschulen. Um die bisherigen Anfängerzahlen halten zu können, ist verstärkt aktives Anwerben notwendig.

Da ist es eine gute Idee, den Kontakt zum zukünftigen Studenten bereits während seiner Zeit als gymnasialer Oberschüler zu knüpfen. Im Idealfall ist der Übergang von der Schule zur Bergakademie fließend, und eine andere Hochschule kommt für den zukünftigen Erstsemesterstudenten gar nicht in Frage.

Vor diesem Hintergrund ist das Angebot der Bergakademie an Schüler und Bewerber zu verstehen, das auf der Homepage bereits von der Startseite aus per Link „Information für Schüler und Bewerber“ bequem zu erreichen ist. Die Liste möglicher Veranstaltungen ist lang. Im Rahmen der Schüleruniversität gibt es mit 13 Teilprojekten das wohl umfangreichste Angebot für Schüler. Hinzu kommen die „Frühjahrsakademie Mathematik“, das „Schülerkolleg Chemie“, „Girls Day“, das Schülerlabor „Science meets School“ und die schier unglaubliche Zahl von 132 Angeboten für Exkursionen bzw. Projektstage.

Mit dieser großen Anzahl von Aktivitäten existieren leider ebenso viele Ansprechpartner für einzelne Projekte. Positiv hervorzuheben ist hier die Schüleruniversität. Die Anmeldung läuft einfach über das Internet. Bei vielen anderen Veranstaltungen müssen sich Schüler direkt an die Verantwortlichen in den jeweiligen Instituten wenden. Im Fall des Schülerkollegs Chemie erfolgt die Anmeldung über die Fachlehrer an den jeweiligen Schulen im Freistaat. Dies setzt allerdings voraus, dass engagierte Lehrer die entsprechenden Einladungen an die Schüler weiterreichen.

Besonders interessierte Schüler arbeiten sich vielleicht noch weiter voran, um dann auf die zahlreichen zusätzlichen Veranstaltungen der einzelnen Institute aufmerksam zu werden. Dazu muss der interessierte Studienanfänger allerdings

bereits ziemlich genau wissen, was er studieren will, welches Institut für diesen Studiengang zuständig ist und in welcher Fakultät dieses organisiert ist.

Die Beispiele anderer Hochschulen zeigen, dass es auch anders geht. Oft sind die Veranstaltungen und Angebote für Schüler unter einem Dach zusammengefasst, z. B. im Nat-Lab (Uni Mainz) oder im Schülerlabor (Uni Koblenz-Landau).

Getragen werden die zahlreichen Veranstaltungen in Freiberg von engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die für „ihre“ Wissenschaft begeistert sind und andere begeistern wollen. Für interessierte Schülerinnen und Schüler ist es mit der derzeitigen zerklüfteten Organisation schwierig, das für sie richtige Angebot zu finden.

Die Nominierung eines verantwortlichen Ansprechpartners für alle Angebote wäre hier ein guter Anfang für eine effektive Bündelung der TU-Aktivitäten. Kaum ein Schüler, der nicht sowieso unbedingt nach Freiberg will, wird sich durch die zahlreichen Telefonnummern und Mailadressen hindurcharbeiten, wenn er an anderen Hochschulen eine zentrale Anlaufstelle hat. Die an der Bergakademie zuständige zentrale Studienberatung ist nur bei wenigen Angeboten ganz unten auf der jeweiligen Homepage als Ansprechpartner genannt.

Auch für bereits Studierende und besonders für Promovenden gibt es an der Bergakademie ein reichhaltiges Angebot. Die Graduierten- und Forschungsakademie sieht sich als erster Ansprechpartner

für Doktoranden. Sie „organisiert als Zusatzangebot Veranstaltungen fachlicher und fachübergreifender Natur (Sprachkurse, Wissenschaftliches Schreiben, Präsentationstechniken, Projektmanagement u. a.) und bietet somit beste Voraussetzungen für die Promovenden, sich auf ihre zukünftige Rolle als Führungskraft gezielt vorzubereiten“. Zusätzlich hat sich das Career Center zur Aufgabe gemacht, dass „Studierende und Absolventen der TU Bergakademie Freiberg [...] aktuelle Informationen zu den Themen Bewerbung und Berufseinstieg erhalten und [...] die individuelle Beratung des Career Centers in Anspruch nehmen können“. Dazu ist auch die Firmenkontaktbörse gedacht, deren Organisation wiederum bei der zentralen Studienberatung angesiedelt ist. Es bietet sich ein unübersichtliches Bild von Angeboten, Kursen, Weiterbildungen und Veranstaltungen. Ein zentraler Ansprechpartner für Schüler, ebenso für die Doktoranden, wäre eine echte Vereinfachung.

Die TU Bergakademie konnte in den letzten Jahren ihre Studentenzahlen kontinuierlich steigern, zuletzt auf über 5.300 Studenten im Wintersemester 2010/11. Die durchgeführten Werbemaßnahmen zeigen also Wirkung. Dennoch scheint in diesem Bereich ein zentraler Ansprechpartner für Interessierte sinnvoll. So könnte sichergestellt werden, dass die zahlreichen Angebote gleichermaßen bekannt und angenommen werden.

Die Doppelkapazitäten bei den Angeboten für Doktoranden machen die Orientierung für die angesprochene Zielgruppe unnötig kompliziert. Eine Zusammenführung bzw. engere Kooperation könnte hier ein effizienteres Angebot schaffen.

■ Jan Heimfarth



Mit dem VW-Bus im Kampagnen-Look fahren die Mitarbeiter der Studienberatung bundesweit zu Studienberatungsmessen und Info-Veranstaltungen



Foto: Detlev Müller

## 2.500 Besucher zum Tag der offenen Tür

Die Studenten von morgen haben die Neue Mensa der TU Bergakademie Freiberg am 14. Januar gestürmt. Angehende Abiturienten informierten sich zum Tag der offenen Hochschultür über Studienangebote an den sechs Fakultäten der TU. „Mehr als 2.500 Besucher haben über den Tag verteilt die vielfältigen Angebote genutzt. Dieses Interesse zeigt auch die Bedeutung des Studienstandortes Freiberg“, sagte Studienberaterin Dr. Sabine Schellbach. Erstmals präsentierte sich das neue Career Center. Neben Informationsständen in der Neuen Mensa gab es in den Instituten Schnupperpraktika und Demonstrationen. Sachsenweit einmalig war an diesem Januartag die Firmenkontaktbörse in der Neuen Mensa. Rund 70 regionale und überregionale Unternehmen boten Berufsinformationen aus erster Hand.

## Wissenschaftspreis für Studenten des Instituts für Bergbau und Spezialtiefbau

Aus der engen Verbundenheit mit den Angehörigen der TU Bergakademie Freiberg, besonders mit dem damaligen Institut für Tagebau, sowie in Würdigung der Erfolge bei der wissenschaftlichen Durchdringung des Fachgebiets Tagebau in technischer und ökonomischer Hinsicht und in dem Bestreben, herausragende fachliche Leistungen der Studenten anzuerkennen, hat der Ehrensensator und ehemalige Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. Helmut Härtig, am 1. März 1979 den „Wissenschaftspreis für Studenten des Institutes für Tagebau“ gestiftet. Heute kommt der Preis dem Institut für Bergbau und Spezialtiefbau und seinen Fachgebieten zugute, in denen der Bereich Tagebau aufgegangen ist. Der Wissenschaftspreis wurde 1980 erstmals und bis 1990 jährlich und seitdem in unregelmäßigen Abständen vergeben. Er ist mit einer Geldzuwendung verbunden, die



Erik Heiland nimmt den Härtig-Preis von Prof. Carsten Drebenstedt entgegen

aus den Zinserträgen des Stiftungskapitals von Prof. Härtig generiert wird.

In diesem Jahr erhielten ihn zwei ehemalige Studenten. Bedingung für die Auswahl der Kandidaten für den Wissenschaftspreis sind ausgezeichnete Leistungen in der Diplomarbeit unter Berücksichtigung der Gesamtstudienleistungen.

Erik Heiland nahm den 24. Wissenschaftspreis am 6. Juli 2010 im Rahmen eines gut besuchten Tagebauseminars entgegen. Dazu war Herr Heiland aus Australien angereist, wo er seit 2007 für die Firma AngloCoal tätig ist. Seine ausgezeichnete Diplomarbeit hatte er zum

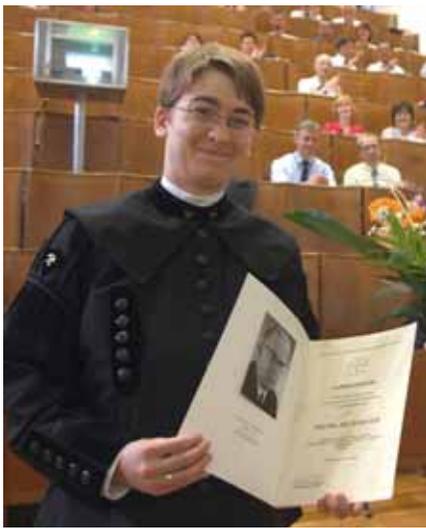
## Innovationspreis Weiterbildung



Der Sächsische Staatsminister für Kultur und Sport, Prof. Roland Wöller (r.), überreicht Prof. Michael Schlömann (l.), Prorektor für Bildung, und Prof. Roland Schöne (M.), Direktor der Graduierten- und Forschungsakademie, die Urkunde.

Die Graduierten- und Forschungsakademie (GraFA) an der TU Bergakademie wurde vom Freistaat Sachsen für ihr Weiterbildungsangebot für Doktoranden ausgezeichnet. Der Prorektor für Bildung, Prof. Michael Schlömann, und der Direktor der Graduierten- und Forschungsakademie, Prof. Roland Schöne, nahmen im November vergangenen Jahres in Dresden den „Innovationspreis Weiterbildung“ aus den Händen des Sächsischen Staatsministers für Kultur und Sport, Prof. Roland Wöller, entgegen. Der Preis ist mit 5.000 Euro dotiert. Die TU Bergakademie Freiberg wurde für ihr Projekt „Führungskräfteteentwicklung durch wissenschaftliche Weiterbildung von Doktoranden“ aus 35 eingereichten Bewerbungen mit einem dritten Preis ausgezeichnet.

Thema „Recommendations on improved dragline performance at Kriel Colliery/AngloCoal South Africa“ angefertigt und war dafür einige Monate in dem südafrikanischen Tagebau. Die Ergebnisse seiner Diplomarbeit zur Vermeidung von übergroßen Gesteinsbrocken nach der Sprengung und zur Verminderung von Kohleverlusten beim Betrieb von Schürfkübelbaggern wurden direkt im Tagebau umgesetzt. Herr Heiland nutzte die Gelegenheit, vor den ca. 40 Zuhörern über seine Erfahrungen als Absolvent und die Schwerpunkte seiner Tätigkeit und Entwicklung zu berichten sowie Empfehlungen an die Studierenden zu richten. Nach seiner Einschätzung liegt die Qualität der Bergbauausbildung in Freiberg im oberen Drittel im Vergleich mit den Berg-



Preisträgerin Dr.-Ing. Esther Giese

bauabsolventen anderer Länder. Derzeit haben sechs junge Absolventen der Studienrichtung Bergbau in Australien ihre berufliche Laufbahn begonnen.

Der 25. Wissenschaftspreis wurde im Rahmen des Kolloquiums „Rekultivierung im Bergbau“ während des 61. BHT am 10. Juni 2010 an Frau Esther Giese vergeben. Sie hatte ebenfalls bei sehr guten Gesamtstudienleistungen eine ausgezeichnete Diplomarbeit zum Thema „Technisch-wirtschaftliche Analyse von Verfahrensalternativen zur Entwässerung von Flusssedimenten am Beispiel von Boden aus der Unterhaltungsbaggerung der Ems“ im Jahr 2008 vorgelegt. Statt das Baggergut auf Flächen aufzuschwemmen, die dadurch jahrelang nicht genutzt werden können und stark verändert werden, schlug sie eine Trennung des Schlammes in verwertbare Ton-, Sand- und andere Fraktionen vor. Der Bedarf an Deponieraum vermindert sich dann auf einen Bruchteil. Allerdings muss sich die technische Anlage für die Trennung der Kornfraktionen bezahlt machen. Dazu konnte Frau Giese eine geeignete Anlagenkonfiguration vorschlagen.

Beide Preisträger haben die Anforderungen an den Wissenschaftspreis und damit das Vermächtnis des Stifters Prof. Härtig erfüllt. Sie sind Beispiel für eine hochwertige Ausbildung im Fach Bergbau und Spezialtiefbau an unserer Universität, die national und international hohe Anerkennung genießt, und Beispiel sowie Ansporn für die Studierenden. Das Institut für Bergbau und Spezialtiefbau gratuliert und wünscht Frau Giese und Herrn Heiland in ihrer beruflichen und privaten Entwicklung viel Erfolg.

■ Carsten Drebenstedt

## Freiberger Forschungsforum: 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag

Mit einer Plenarveranstaltung in der Alten Mensa wurde am 10. Juni 2010 das Freiberger Forschungsforum – 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag (BHT) in der Alten Mensa eröffnet.

Prof. Rudolf Kawalla, amtierender Rektor der TU Bergakademie Freiberg, begrüßte zu diesem Höhepunkt im akademischen Jahr über 600 Wissenschaftler und Industrievertreter. Rund ein Drittel davon kam aus 23 Ländern. Das diesjährige Forschungsforum stand unter dem Motto „Ressourcen für die Mobilität“. Auf dem Campus fanden sechs Fachkolloquien zu Zukunftsthemen wie Wasser, Boden und Rohstoffe statt sowie das 5. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler. Das Agricola-Kolloquium, das allen Interessenten offen stand, beschäftigte sich mit der Geschichte von Studienbedingungen und Bildungsreformen.

Die 4. internationale Konferenz Magnetismus und Metallurgie WMM 2010 vereinte 150 Teilnehmer aus 22 Ländern, darunter einen Großteil von Vertretern aus der Industrie. Das WMM-Forum wird abwechselnd an der Universität Gent und der TU Freiberg veranstaltet.

Den Höhepunkt der Plenartagung bildete der Vortrag des renommierten Wissenschaftlers und Forschers Prof. Dr.-Ing. Horst E. Friedrich, Leiter des Instituts für Fahrzeugkonzepte im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart. Er nahm das Auditorium auf eine Reise mit: Wie sehen Fahrzeuge der Zukunft aus und welche Anforderungen werden an die Werkstoffe gestellt? Am Stuttgarter Institut werden Fahrzeugkonzepte entwickelt und in Simulationsmodellen Bedingungen, die Einfluss auf den Bau haben, erfasst. Das beginnt bei der Abhängigkeit von Rohstoffen und Energie, geht über die Antriebstechnologien wie Batterien, Brennstoffzelle oder Benzin/Diesel, die Sicherheit und das Verhältnis Modell/Kundenwünsche bis zu den Fahrzeugteilen. Daraus werden Szenarien entwickelt. Für das Jahr 2030 stellt der Redner beispielsweise folgendes Szenario vor: Alternative Fahrzeuge legen mengenmäßig zu, Benzinautos konvertieren zu Hybridmodellen, Elektroautos sind nur für kleinere Modelle vorgesehen.

Eine wichtige Rolle bei der Konzeption von Fahrzeugen spielen noch die Werkstoffe, da sie Bauweise, Architektur und Sicherheit der Fahrzeuge wesentlich beeinflussen. Deshalb wird bereits beim Fahrzeugkonzept die individuelle Materialauswahl berücksichtigt. Als neuer Werkstoff hat sich das Magnesium bewährt. Prof. Friedrich verwies in diesem Zusammenhang auf die erfolgreichen Forschungen zur Magnesiumtechnologie an der TU Bergakademie Freiberg. Das Thema Material und Fahrzeug griff auch das Kolloquium „Materials Design – Neue Werkstoffe für den Maschinen- und Fahrzeugbau – TRIP-MatrixComposite“ auf.

### Programmübersicht

**Plenarvortrag:** „Fahrzeuge der Zukunft und Anforderungen an die Werkstoffe“, Prof. Dr. Horst E. Friedrich, Institut für Fahrzeugkonzepte, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart

**Leitthema:** Magnetismus & Metallurgie

### Fachkolloquien

- FK1: Materials Design
- FK2: Brennstoff und Energie
- FK3: Materialien für neue Lithium-Ionen-Batterie-Konzepte
- FK4: Grubenwässer – Herausforderungen und Lösungen
- FK5: Rekultivierung im Bergbau
- FK6: Herausforderungen an die Tiefbohrtechnik und die Gewinnung fluider Rohstoffe

### Rahmenkolloquien

- RK1: 5. St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler
- RK2: Agricola-Kolloquium: Von Freiberg nach Bologna – Zur Geschichte von Studienbedingungen und Bildungsreformen

## Fachkolloquium 5

### 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag 2010

In den Kolloquien des Freiberger Berg- und Hüttenmännischen Tages greifen wir regelmäßig aktuelle Themen aus dem Bergbau auf. 2010 hatten wir uns für das Thema Rekultivierung entschieden. Die Rekultivierung ist ein bedeutender und untrennbarer Bestandteil des Bergbaus. Mit der Rekultivierung werden die unvermeidbaren Eingriffe der bergbaulichen Tätigkeit in Natur und Landschaft ausgeglichen. Ohne diesen Ausgleich ist Bergbau nicht möglich, weder aus Sicht der Genehmigungsverfahren noch aus Sicht der Akzeptanz in der Gesellschaft. Leider ist dies durchaus nicht Praxis im Weltbergbau, selbst in den entwickelten Ländern.

Bereits im frühen Stadium eines Bergbauprojekts sind die künftigen Belange und Anforderungen an die Bergbaufolgelandschaft zu berücksichtigen. Die Rekultivierung beginnt mit den ersten Arbeiten der Erkundung und des Aufschlusses, und der Bergbau endet erst, wenn die Rekultivierung endgültig sichergestellt ist. Die Arbeiten der Rekultivierung gehen dabei über die Forderungen der Wiedernutzbarmachung gemäß Bundesberggesetz weit hinaus, geht es doch um die Herstellung neuer Kulturlandschaften, die stabil und sicher in den Natur- und Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden. Die Wiederherstellung vorgefundener Landschaften und Nutzungen oder auch völlig neue sind möglich.

Die Rekultivierung ist ein fachübergreifendes Thema, da insbesondere Fragen des Bodens, des Wasserhaushaltes, der Vegetation und der Tierwelt, der geotechnischen Sicherheit u. a. berührt werden. In den Vorträgen des Kolloquiums wird ein Überblick über die komplexen Zusammenhänge und spezielle Fragen der Rekultivierung gegeben. Da das Ergebnis der Rekultivierung von vielen Faktoren abhängt, insbesondere von den gesellschaftlichen, geologischen und naturräumlichen Gegebenheiten, führt das Kolloquium verschiedene Bereiche zusammen, so den aktiven Großbergbau, die Bergbausanierung, den Klein- und Auslandsbergbau, den Altbergbau und den Abbau unter Wasser.

Die Referenten vertraten Behörden, Planungsgesellschaften, Universitäten sowie im Bergbau und in der Bergbausanierung tätige Unternehmen. Besonders begrüßen konnten wir ausländische



Referent André Knipfer vom Natursteinwerk Mittweida bei seinem Vortrag

Teilnehmer aus Bulgarien, Rumänien, Russland, der Slowakei, der Ukraine und Vietnam.

Das Kolloquium wandte sich an Vertreter von Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung sowie an Studierende. Neben den Fachbeiträgen bot sich ausreichend Gelegenheit zum fachlichen Austausch. Insgesamt haben ca. 120 Teilnehmer am Kolloquium teilgenommen.

Die Ergebnisse des Kolloquiums sind als Tagungsband in Form eines Freiberger Forschungsheftes erschienen.

## Rahmenkolloquium 1

### 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag 5. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler

Im Jahr 2006 wurde erstmals ein Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler durchgeführt. In diesem Jahr wurde das Kolloquium zum fünften Mal angeboten. Aus der anfänglich bilateral ausgerichteten Veranstaltung hat sich inzwischen eine internationale Fachtagung junger Montanwissenschaftler entwickelt. Das Kolloquium ist Bestandteil des Programms der International University of Resources (IUR).

Diese Tagung hat zum Ziel, insbesondere jungen Wissenschaftlern die Möglichkeit zu geben, ihre ersten Erfahrungen auf einer internationalen Fachtagung zu sammeln, sich mit Vorträgen zu präsentieren, sich an anderen Vortragenden



Referentin Anna Turysheva vom St. Petersburg State Mining Institute

zu messen, Wissen auszutauschen und sich durch die Diskussion mit Fachkollegen Anregungen für die weitere Arbeit zu holen. Die junge Generation von Wissenschaftlern wird in einer globalisierten Welt die Zukunft in internationalen Netzwerken gestalten. Neben fachlicher Kompetenz sind insbesondere interkulturelle und soziale Fähigkeiten gefragt. Für die TU Bergakademie Freiberg ist die Internationalisierung von strategischer Bedeutung.

Das Kolloquium war entlang der Prozesskette der Rohstoffe interdisziplinär strukturiert und umfasste die Themen: Geologie/Mineralogie, Bergbau/Aufbereitung und Metallurgie sowie Geoökologie und Management. Es wurde folgerichtig in Zusammenarbeit der Institute für Bergbau und Spezialiiefbau, für Mineralogie und für Eisen- und Stahltechnologie konzipiert.

Das breite Themenspektrum wurde in ca. 60 Vorträgen dargestellt. Neben jungen Wissenschaftlern aus Freiberg war wieder eine große Gruppe von 44 Kollegen aus St. Petersburg angereist. Zum Kolloquium trugen weitere Wissenschaftler aus Russland, Rumänien, Griechenland, Kasachstan, Vietnam, der Slowakei und Ägypten vor. Insgesamt hatten sich über 100 Teilnehmer angemeldet. Die Ergebnisse des Kolloquiums sind in der Schriftenreihe der IUR „Scientific Reports on Resource Issues“ (Volume 3, 2010) abgedruckt.

■ Carsten Drebenstedt

# Internationale Kambrium-Tagung am Geologischen Institut

Anfang Juni 2010 fand im Bereich Paläontologie des Geologischen Instituts der TU Bergakademie die "15th International Field Conference of the Cambrian Stage Subdivision Working Group" statt. Die International Subcommission on Cambrian Stratigraphy (ISCS) hatte diese alle zwei Jahre stattfindende Veranstaltung erstmals nach Mitteleuropa vergeben, wo sie im Verbund des Bereichs Paläontologie der TU Bergakademie (Arbeitsgruppe Dr. Olaf Elicki) und der Karls-Universität Prag (Arbeitsgruppe Prof. Olda Fatka) durchgeführt wurde. Die ISCS ist als größte wissenschaftliche Organisation der International Union of Geological Sciences für die stratigraphische Untergliederung und die weltweite Korrelation des Kambriums zuständig. Dass die 2010er Tagung grenzüberschreitend in Freiberg und Prag stattfinden konnte, war zum einen durch die spezifischen Voraussetzungen innerhalb der EU möglich, zum anderen zeigt sich in der Vergabe sehr deutlich der hohe internationale Stellenwert der Freiburger Paläontologie.

Nach Freiberg kamen mehr als 60 Wissenschaftler aus Australien, USA, China, Korea, Russland, Kasachstan, Großbritannien, Spanien, Dänemark, Schweden und Tschechien. Ein Fokus bestand in Arbeitsgruppentreffen, Koordinationsgesprächen und Fachdiskussionen im Rahmen der dringend benötigten Definitionen der neuen, globalen, stratigraphischen Grenzziehung der vier Serien und zehn Stufen innerhalb des Kambriums. Dieses international stark forcierte Vorhaben soll innerhalb weniger der kommenden Jahre abgeschlossen sein. Damit wird erstmals eine verlässliche, transkontinentale zeitliche Korrelation dieses geologischen Zeitraums möglich sein.

Das Kambrium, jener Zeitraum zwischen 542 und 488 Mio. Jahren, repräsentiert ein einzigartiges stratigraphisches System, in welchem erstmals und sehr plötzlich „höhere“ Organismen auftraten, was als „Kambriische Explosion“ bezeichnet wird. Mit ihnen begann in globalem Maßstab eine rasante qualitative Umgestaltung und grundlegende Reorganisation von kompletten Stoffkreisläufen, Sedimentations- und Abtragungsprozessen und von Biosphären-/Hydrosphären- und Atmosphären-Interaktionen, wie sie in diesem Ausmaß in der Erdgeschichte nie wieder auftraten: - es entstand eine

komplett neue Welt! Neben den noch heute bekannten Bauformen und Organismengruppen erschienen auch solche, deren Organisation und Lebensweise noch weitgehend unbekannt sind. Aus dem Erstauftreten der zahlreichen Organismengruppen und der im Vergleich mit jüngeren Zeitaltern oft unbekanntem Lebewelt resultiert die ganz spezifische Problematik der Biostratigraphie im Kambrium.

Im Rahmen thematischer Vorträge der Freiburger Kambrium-Arbeitsgruppe zur Paläontologie/Stratigraphie und zur sedimentären Entwicklung im Zeitraum Neoproterozoikum (Ediacarum) bis Kambrium wurden die Ergebnisse der neusten Forschungsarbeiten im Bereich Paläontologie des Geologischen Instituts der TU Bergakademie vorgestellt und im internationalen Expertenteam intensiv diskutiert. Die Freiburger Arbeitsgruppe um Dr. Elicki ist seit mehr als 20 Jahren auf diesem Gebiet tätig und hat entscheidend zum heutigen Kenntnisstand über diesen Zeitraum, insbesondere für den westlichen Teil des paläozoischen Großkontinents Gondwana, beigetragen. So konnten neben biostratigraphischen Daten zahlreiche Informationen und Rekonstruktionen zur faziellen Ausbildung und Entwicklung von Sedimentationsräumen, von paläoökologischen und trophischen Systemen sowie tektono-stratigraphische Modelle erarbeitet werden.

Kernstück des Freiburger Workshops war neben der Vortragsveranstaltung v.a. die Präsentation des äußerst umfangreichen paläontologischen Materials, von Faziesproben, Bohrkernen und Holotypen aus Deutschland und aus den Arbeitsgebieten der Freiburger Gruppe im mediterranen Raum, vom Toten Meer und aus Nordafrika. Die geologischen Landesämter von Sachsen und Brandenburg hatten dazu großzügig Bohrkernmaterial aus Mitteldeutschland zur Verfügung gestellt. Insbesondere das den Meisten lediglich aus Publikationen bekannte, nur durch Bohrungen aufgeschlossene Material aus dem deutschen Kambrium überraschte die internationalen Fachleute durch die hervorragende Qualität der enthaltenen Lebewelt. Dieser Fossilreichtum ermöglicht eine transkontinentale Korrelation Westgondwanas mit den gut untersuchten Abfolgen anderer Paläokontinente, wie Baltika, Laurentia



Im Bohrkernlager des Sächsischen Geologischen Landesamtes in Rothenfurt bei der Inspektion unter- und mittelkambriischer Referenzbohrkerne aus Mitteldeutschland (bereitgestellt durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg)

und Ostasien. Auf dieser Basis sind paläogeographische Rekonstruktionen in globalem Maßstab möglich.

Die Entscheidung der ISCS, Freiberg als Tagungsort einzubeziehen, ist Ausdruck der hohen internationalen Wertschätzung der Arbeit der hiesigen Kambrium-Arbeitsgruppe. Unser Forschungsstandort TU Bergakademie zählt heute zu den paläontologischen Schwerewichten in der internationalen Kambriumforschung und ist in Europa führend auf dem Gebiet der sogenannten „Small Shelly“-Forschung (jene Gruppe kambriischer Organismen, die als erste mineralisierte Skelette hervorbrachte), der bei der stratigraphischen Gliederung des frühen Kambriums die Schlüsselrolle zukommt.

Im Ergebnis der Konferenz wurden zusätzlich zum bestehenden Netzwerk internationaler Forschungsbeziehungen Vereinbarungen über weitere Projekte getroffen, in welche auch Studenten einbezogen werden. Die vom Bereich Paläontologie durchgeführte Veranstaltung, die ohne die freundliche Unterstützung durch den Verein „Freunde und Förderer der TU Bergakademie“ und den „Förderkreis Freiburger Geowissenschaften e. V.“ nicht möglich gewesen wäre, hat der internationalen Kambriumforschung merklich Impulse verliehen und den hervorragenden internationalen Ruf der Freiburger Universität und seiner Paläontologie weiter untermauert.

■ Olaf Elicki

## Deutsch-marokkanisches Forscherteam auf den Spuren früher Saurier

Die Kooperation zwischen den Geologischen Instituten der TU Bergakademie Freiberg und der Chouaïb Doukkali Universität El Jadida, Marokko, führte im Februar 2010 erstmals eine Gruppe von Wissenschaftlern und Studenten zu einer gemeinsamen Expedition in den Hohen Atlas. Ziel war es, Daten über die frühe Evolution der Dinosaurier und ihrer Vorläufer zu gewinnen. Als vor 250 Millionen Jahren mit dem Auseinanderbrechen des amerikanischen und afrikanischen Kontinents die Öffnung des Zentralatlantiks begann, durchstreiften die Urahnen von Krokodilen, Dinosauriern und Vögeln eine karge Flusslandschaft im Gebiet des heutigen Marokko. Etwa 500 Belege mit versteinerten Fährten dieser Tiere spürte unlängst ein dreizehnköp-

figes Forscherteam unter Leitung von Prof. Dr. Jörg W. Schneider, Freiberg, und Prof. Dr. Hafid Saber, El Jadida, am Rande des Hohen Atlas auf. Die Fossilfunde sind von herausragender Bedeutung für das Verständnis der Evolution, Verbreitung und Ökologie früher Reptilien, aus denen unter anderen die Dinosaurier hervorgegangen sind. Die Entdeckung komplexer Grabbauten koloniebildender Tiere – vergleichbare Nachweise gab es bisher nur aus Südafrika und der Antarktis – verspricht darüber hinaus wertvolle Erkenntnisse zu den klimatischen Bedingungen am Beginn des Erdmittelalters in äquatorialen Breiten und zum adaptiven Verhalten einzelner Tiergruppen in ökologischen Stresssituationen.

Die Expedition war der vorläufige Höhepunkt in der seit über 10 Jahren bestehenden wissenschaftlichen Kooperation zwischen den Geologischen Instituten der TU Bergakademie Freiberg und der Chouaïb Doukkali Universität El Jadi-



da, Marokko. Sie wurde mit finanzieller Unterstützung der Stiftung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“, des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) durchgeführt. Die wissenschaftliche Auswertung des umfangreichen Materials ist Bestandteil von Qualifizierungsarbeiten deutscher und marokkanischer Studenten und Doktoranden. Eine Fortsetzung der erfolgreichen Arbeiten ist für das Frühjahr 2011 geplant.

■ Sebastian Voigt

## Das Krüger-Haus – Besuchermagnet zum Tag des offenen Denkmals

Etwa 850 Besucher fanden sich am 12. September zum Tag des offenen Denkmals vor dem Krüger-Haus am Schlossplatz 3 ein. Alle wollten das Gebäude besichtigen, das erstmals an diesem Tag seine Pforten öffnete. Da jede halbe Stunde nur rund 30 Personen an einer Führung teilnehmen konnten, war etwas Geduld gefragt. Diese brachten die Gäste bei herrlichem Sonnenschein und blauem Himmel gern auf. Mit der Sonne um die Wette strahlte vor allem Stifterin Erika Krüger. Sie war vom Besucherandrang und der Resonanz, die ihr nach den Führungen entgegenstrahlte, überrascht. Viele Freiburger suchten das Gespräch mit ihr, um sich persönlich für ihr Engagement in Freiberg zu bedanken. Als sachkundige Begleiter informierten der Planer des Krüger-Hauses, Jürgen Voigt, und Bauleiter Jörg Voigt die Gäste über die Sanierung, wiesen auf Besonderheiten in den elf Ausstellungsräumen und im Stifterzimmer hin. So erfuhren die Besucher beim Gang zwischen Parterre und Dachgeschoss beispielsweise, dass es eine versteckte Treppe im Haus gab, die nun unter Glas zu sehen ist. Zukünftig zieht in das sanierte und rekonstruierte Gebäude die Mineralogische Stiftungssammlung aus Deutschland ein. 2011 soll das Krüger-Haus eröffnet werden. Es beherbergt dann auch jenes Zimmer, in dem künftig die Sitzungen des Stifterrats stattfinden.

Der 2007 verstorbene Stifter und Ehrensenator der Universität, Peter Krüger, kaufte 2004 das historische Gebäude am Schlossplatz. Seine Frau, Erika Krüger, begleitet seit Beginn der Bauarbeiten 2007 die behutsame und detailgetreue Sanierung und Renovierung. In den Bau flossen Fördermittel des Freistaats Sachsen, der Stadt Freiberg und der Dr.-Erich-Krüger



Besucherandrang zum Tag des offenen Denkmals. Fotos (6): Detlev Müller

Stiftung. Nun erstrahlt das historische Gebäude, das stadt- und landesgeschichtliche Bedeutung besitzt, in außergewöhnlichem Glanz.

Dieses ehemalige Freihaus neben Schloss Freudenstein hat eine wechselvolle Geschichte. Sie reicht bis in die Regierungszeit von Herzog Heinrich dem Frommen (1473–1541) zurück, der von 1505 bis 1537 vor allem von Schloss Freudenstein aus über sein kleines Herrschaftsgebiet – die Ämter Freiberg und Wolkenstein – die Macht ausübte. Im Schloss Freudenstein unterhielt der Herzog einen kleinen Hofstaat. An der Spitze der Hofämter stand sein Hofmeister. Diese Funktion bekleidete seit 1506 Rudolf von Bünau zu Weesenstein (1465–1543). Im Jahr 1510 erwarb von Bünau vom Rat der Stadt Freiberg ein Grundstück beim Kreuztor, in den Quellen *Raume* genannt, und eine



weitere Parzelle, die als *Hofstadt mit einem Garten* bezeichnet wurde und die zuvor Valtin Honstein besessen hatte. In der dazu ausgestellten Urkunde wurde ihm und seinen Nachkommen außerdem erlaubt, auf die Stadtmauer zu bauen und in diese vergitterte Fenster einzufügen. Rudolf von Bünau verpflichtete sich zudem, keine weiteren Öffnungen als die erwähnten Fenster in die Mauer zu brechen und der Stadt in Kriegszeiten den Zugang und die Nutzung der Stadtmauer zu gestatten. Bereits 1512 muss der Bau des Freihauses beendet gewesen sein, denn in diesem Jahr wird der Ehefrau von Rudolf von Bünau, Elisabeth von Starschedel (geb. um 1480, † zwischen 1535 und 1539) dieses Freihaus von Herzog Heinrich verliehen. Im Jahr 1532 kaufte Nicol von Schönberg auf Krummhennersdorf das Freihaus am Kreuztor vom herzoglichen Hofmeister Rudolf von Bünau und erhielt von Herzog Heinrich die Lehnsübertragung. Zum Grundstück gehörten eine Scheune und der Raum an der Stadtmauer bis zum Schloss. Über 150 Jahre lang war das Freihaus im Besitz der Familie von Schönberg. Deshalb taucht dafür in den Quellen häufig die Bezeichnung Schönbergisches Haus auf. Im Jahre 1676 beschloss Kurfürst Johann Georg II. (1613–1680), das Freihaus zu erwerben, um es für seine Kanzlei, für sein Hoflager und für die Unterbringung der Oberbergamtsakten zu nutzen. Deshalb traten Adam Friedrich von Schönberg zu Wingendorf und seine Schwester Agnes das Freihaus für 2000 Gulden an Kurfürst Johann Georg II. mit allen Rechten und Freiheiten ab. Im Jahr 1681 überließ Kurfürst Johann Georg III. (1647–1691) das Haus seiner Mutter Magdalena Sibylla von Brandenburg-Bayreuth (1612–1687) als Witwensitz. Kurfürst Johann Georg IV. (1668–1694) gestattete seinem Amtsschreiber Michael Fischer im Jahr 1692, seine Wohnung im nunmehrigen Amtshaus am Schlossplatz einzurichten. 1754/55 beabsichtigte Kurfürst Friedrich August II. (1696–1763), sein Amtshaus Schlossplatz 3 zu verkaufen und das Grundstück wieder unter die Gerichtsbarkeit des Rates zu bringen. Dieses Vorhaben scheiterte sicherlich an dem beschriebenen schlechten Bauzustand des Hauses, fehlenden Interessenten und den überzogenen finanziellen Vorstellungen der kurfürstlichen Kanzlei. Im Jahre 1868 erfolgte ein grundlegender Umbau des Gebäudes unter Leitung des Dresdner Hofbaumeisters Karl Moritz Haenel. Er nahm eine neogotische Überformung des gesamten Hauses vor. Zu dieser Zeit hatten die königliche Bezirkssteuereinnahme und die königliche Forst-, Floß- und Bauverwaltung hier ihren Sitz. Später war das Finanzamt darin untergebracht und in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts befand sich in



diesem Gebäude das Kriminalamt. Nachdem das Haus bis 1945 als Dienst- und Wohngebäude genutzt worden war, war es danach nur noch als Wohnhaus in Gebrauch. 1999 wurde das Grundstück vom Freistaat Sachsen an einen privaten Eigentümer verkauft. Im Jahre 2004 erhielt das Gebäude Schlossplatz 3 wiederum einen neuen Eigentümer. Im Vorfeld geplanter Baumaßnahmen erfolgten 2005 in diesem Objekt bauhistorische und restauratorische Untersuchungen. Das sich über einen rechteckigen Grundriss erhebende dreigeschossige Gebäude mit Walmdach besitzt im ersten Obergeschoss spätgotische Fenstergewände unterschiedlicher Ausführung. Das zweite Obergeschoss weist demgegenüber an den beiden Giebelseiten und an der Traufseite zum Schlossplatz Renaissancefenstergewände auf. In diesem Geschoss sind nur noch an der Traufseite zu den Ringanlagen hin spätgotische Fenstergewände vorhanden. Einschneidende Veränderungen im Erscheinungsbild des Gebäudes brachten die Umbaumaßnahmen von 1868. Anstelle des für spätgotische Häuser typischen steilen Satteldachs errichtete man ein flacheres Walmdach mit neogotischen Dachhäuschen und kleinem Dacherkern. Die Dachausbauten wurden bei Sanierungsarbeiten im Vorfeld der 800-Jahr-Feier Freibergs im Jahre 1986 beseitigt. Mit Ausnahme eines zugemauerten Vorhangbogenfensters am südlichen Giebel ersetzte man 1868 alle spätgotischen Fenstergewände durch Kopien. Dazu gehören auch die spätgotischen Fenster mit geradem Sturz und eingearbeiteten Vorhangbögen, die in Freiberg nur an diesem Gebäude zu bewundern sind. Bemerkenswert ist, dass auf der Stadtgrabenseite eine andere Fenstergestaltung gewählt worden ist. Hier findet man Vorhangbogenfenster mit Kreuzstock im ersten Obergeschoss und spätgotisch profilierte Rechteckfenster mit Kreuzstock im zweiten Obergeschoss. An der Westseite wurde während dieser Umbauphase ein neues, vor die Fassade gesetztes Treppenhaus, das hier die Stadtmauer durchbricht und im ehemaligen Zwinger steht, errichtet. Bereits um 1625 hatte der damalige Besitzer Haubold von Schönberg zu Börnichen einen Umbau am und im Gebäude durchführen lassen, von dem die Renaissancefenstergewände im zweiten Obergeschoss an der Schlossplatzfassade und an den Giebeln noch im Original erhalten geblieben sind. Das Segmentbogenportal im Erdgeschoss wurde im späten 18. Jahrhundert eingebaut. Im Inneren des Hauses hat es vor allem mit den Baumaßnahmen von 1868 starke Eingriffe in die historische Substanz gegeben. Noch aus der Anfangsbauzeit des Gebäudes stammen die tonnengewölbten Keller aus Gneisbruchsteinen. Das Erdgeschoss

wurde zu großen Teilen umgestaltet. Lediglich ein verstümmeltes spätgotisches Spitzbogenportal, durch das man in einen mit einem Tonnengewölbe überspannten Raum gelangt, ist noch erhalten. Fragmente spätgotischer Wandmalerei fanden sich im ersten Obergeschoss in Form von Blumenranken aus der Zeit um 1510/20. In diesem Geschoss ist weiterhin ein kräftig profilierter Unterzug mit Schiffchenkehle (Dendrodatum kurz nach 1511) erhalten geblieben. Um 1625 baute man vor allem das zweite Obergeschoss in Renaissanceformen um, wovon heute noch reich verzierte und bemalte Renaissancekonsolen mit Beschlagwerk und grotesken Masken und eine profilierte Holzbalkendecke mit flachen Schiffchenkehlen Zeugnis ablegen. Im 18. Jahrhundert erfolgten weitere bauliche Eingriffe im Inneren des Hauses. Dabei wurden barocke Stuckdecken unter

die Renaissancedecken eingebaut, die während des Umbaus 1868 teilweise Rosetten und Ornamente aus Papiermaché als Fries im Stil der Neorenaissance erhielten. Bemerkenswert ist die Entdeckung eines Raumes unter dem Fußboden im ersten Obergeschoss, der nur von hier aus über eine noch vorhandene Holzstiege zugänglich, dessen Funktion aber unbekannt ist. Durch die denkmalgerechte Sanierung dieses kunst- und bauhistorisch wichtigen sowie für die Stadt- und Landesgeschichte bedeutsamen ehemaligen Frei- und späteren Amtshauses wurde ein hochwertiges Kulturdenkmal erhalten und wieder in das Bewusstsein der Freiburger Bürger gerufen. Seit 2010 ist es als Krüger-Haus Sitz der Stiftung Mineralogische Sammlung Deutschlands.

■ Christel-Maria Höppner, Uwe Richter

## Vereinbarung zum Bau des Schlossplatzquartiers unterschrieben

Am 13. August 2010 wurde im Vortragssaal des Schlosses Freudenstein die Vereinbarung zum Aufbau eines neuen universitären Gebäudekomplexes in Freibergs Innenstadt unterschrieben. Die Unterzeichner sind die TU Bergakademie, die Stadt Freiberg und die Sächsische Landesregierung. Bis 2015 soll das Quartier am Schlossplatz für rund 23 Millionen Euro um- und ausgebaut werden zu einem modernen Universitätsgebäude mit einem Hörsaal, zwei Seminarräumen sowie Büro- und Begegnungsräumen.

Der Komplex soll der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften mit gegenwärtig etwa 1300 Studierenden und ebenso dem Internationalen Universitätszentrum Platz bieten. In den ersten beiden Jahren ab Baubeginn zahlt die Stadt Freiberg dafür 3,88 Millionen, die TU Bergakademie 3,11 Millionen Euro. Für die Universität bedeutet das eine beispiellos hohe Eigenbeteiligung. Ab 2013 bis zur Fertigstellung finanziert

der Freistaat Sachsen das Bauvorhaben.

Zwei der Gebäude im Quartier, die zurzeit noch der Stadt gehören und drei Grundstücke der Städtischen Wohnungsgesellschaft erwirbt der Freistaat, bei dem auch die Verantwortung für die Durchführung liegt. Baustart soll im kommenden Jahr sein.

Der sächsische Finanzminister und Mitunterzeichner Prof. Georg Unland ist in seiner Amtszeit als Rektor der Bergakademie selbst Urheber des Plans gewesen, in Freibergs Innenstadt einen neuen Uniteil entstehen zu lassen. „Damit wurde der Weg zu einem ‚Wissenschaftskorridor‘ geebnet, der Stadt und Campus verbindet“, erinnert Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm dankend an Unlands Leistung und nennt es „ein unschätzbare Ereignis für die Identität der Bergakademie und für die Entwicklung der Freiburger Innenstadt“.

Rektor Prof. Bernd Meyer ist über-



Freibergs Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm, Finanzminister Prof. Georg Unland und Rektor Prof. Bernd Meyer (v. l.) unterzeichneten die Vereinbarung zum Bau des Schlossplatzquartiers

zeugt, „dass die noch abzuschließenden vertraglichen Vereinbarungen nunmehr auf einer soliden Basis stehen“. Jahrelang bemühten sich Stadt und Universität um einen gangbaren Weg für das größte Bauprojekt an der Bergakademie Freiberg seit der politischen Wende 1990.

■ Christel-Maria Höppner

## Nur was sich ändert, bleibt

Die Weiterentwicklung der Universitätsbibliothek „Georgius Agricola“

Katrin Stump

“It’s the End of the World as We Know It!” Als die Band R.E.M. diesen Song 1987 über den Äther schickte, hielt gerade der erste Computer – Modell AC 7100 von Robotron – Einzug in die Universitätsbib-

liothek Freiberg und wurde von den Mitarbeitern ehrfurchtsvoll bestaunt. Gute 20 Jahre später hat sich der Songtext für die Situation der Institution Bibliothek in einer Art und Weise bewahrheitet, die nur wenige visionäre Köpfe voraussehen konnten. Durch die rasante technologische Entwicklung ist im Bereich des Bibliothekswesens nahezu kein Stein auf dem anderen geblieben. Das hatte zur Folge, dass sich Bibliotheken quasi neu erfinden mussten, um nicht von der Welle der fortschreitenden Entwicklung hinweggespült zu werden. Gerade Universitätsbibliotheken sehen sich auch weiterhin gravierenden Veränderungen unterworfen, aus denen vielfältige Herausforderungen erwachsen: der rasant

vorangehende technologische Fortschritt, der die Elektronisierung aller universitären Prozesse rund um Studium, Forschung und Lehre nach sich zieht, die stetig wachsende Informationsversorgung in elektronischer Form, die zunehmende Konkurrenz zwischen Universitäten, neue universitäre Steuerungsmodelle, betriebswirtschaftliches Handeln, strikte Kundenorientierung sowie die Entwicklungen des Social and Semantic web. Universitätsbibliotheken müssen sich also der Frage stellen, welche ihrer Dienstleistungen in einigen Jahren noch gefragt sein werden. Und schließlich gab und gibt es einige, die Universitätsbibliotheken für in absehbarer Zeit für gänzlich überflüssig ansehen.



Selbstverbuchungsterminal. Foto: Detlev Müller



Die Computerarbeitsplätze werden häufig genutzt. Foto: Eckardt Mildner

Um es gleich vorwegzunehmen – diese Ansicht teile ich nicht. Und zwar aus zwei entscheidenden Gründen:

1. Studierende und Wissenschaftler benötigen für Studium, Lehre und Forschung wissenschaftliche Informationen. Diese müssen, auch wenn sie in einigen Jahren fast ausschließlich elektronisch vorliegen werden, von Verlagen, Aggregatoren oder sonstigen Anbietern erworben bzw. lizenziert werden (dass sich in einigen Jahren Open-Access-Publikationen flächendeckend durchgesetzt haben, so dass nahezu alle wissenschaftlichen Informationsressourcen frei verfügbar sind, halte ich persönlich für unwahrscheinlich). Aufgrund diverser Faktoren – die Preispolitik der großen Content-Anbieter sowie die wachsende Vielfalt von Geschäfts- und Lizenzmodellen spielen dabei eine wichtige Rolle – muss zukünftig die strikt bedarfsorientierte Informationsversorgung der Universität entsprechend dem konkreten Fächerprofil bis hin zur spe-

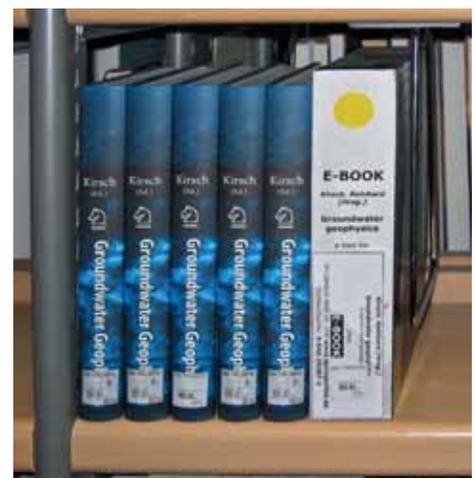
zifischen Informationsbereitstellung für einzelne Wissenschaftler/-innen realisiert werden, d.h. also Informationsbeschaffung nicht mehr just-in-case, sondern just-in-time oder auch just-for-you. Diese Aufgabe wird – zentral für die gesamte Universität – niemand anderes als die Universitätsbibliothek bewältigen können.

2. Die Universitätsbibliothek wird trotz der Tatsache, dass mittelfristig alle Dienste inner- und außerhalb des Campus verfügbar sein werden, ihre große Bedeutung als sozialer Ort für die Studierenden beibehalten. Sie wird – räumlich und technisch optimal ausgestattet – zentraler Treff- und Kommunikationspunkt sowie Arbeits- und Lernort der Studierenden bleiben. Für die verschiedenen Anforderungen benötigt die Bibliothek unterschiedlichste Raumangebote, wie z.B. Einzel- und vor allem Gruppenarbeitsräume, PC- und Multimedia-Arbeitsplätze, Bereiche für verschiedene Lärmlevels (von leise über moderat bis

geräuschintensiv) und mit flexibler Möblierung, Café- und Lounge-Zonen, Veranstaltungs- und Schulungsräume. Bei all diesen Angeboten muss deren Aufenthaltsqualität dazu einladen, viele Stunden zu verweilen; der Ort Bibliothek darf also nicht nur funktional sein, sondern muss unbedingt ästhetische Wirkung entfalten und so zum zentralen Arbeits- und Wohnzimmer unserer Studierenden werden. Ich erwähne bewusst die Studenten, da meines Erachtens der reale Universitätsalltag unseren Wissenschaftlern kaum noch Zeit und Gelegenheit lässt, lange und intensiv in der Bibliothek zu arbeiten. Diese Nutzergruppe müssen wir direkt an ihren Schreibtischen und in ihren Laboren mit wissenschaftlicher Information versorgen. Der weitere Ausbau der rund um die Uhr und an jedem Ort verfügbaren elektronischen Informationsressourcen – bereits jetzt bieten wir ca. 40.000 elektronische Zeitschriften, 230.000 E-Books und zahlreiche Datenbanken an –, der Aufbau universitätsin-



Universitätsbibliothek „Georgius Agricola“. Fotos (2): C. Rau



Hinweis auf ein Ebook neben gedruckten Exemplaren



Ausleihtheke mit Doppelprojektion. Foto: Eckardt Mildner



Arbeitsplätze mit Internetzugang. Foto: C. Rau

terner Schnelllieferdienste und Pay-per-View-Angebote auf Kosten der Bibliothek sind hier mögliche Szenarien.

Wie ist nun die Freiburger Bibliothek für die skizzierten Herausforderungen der Zukunft aufgestellt? Seit meinem Amtsantritt als Direktorin der Universitätsbibliothek im August 2009 habe ich mein Hauptaugenmerk auf die Organisations- und Personalentwicklung sowie den Ausbau unseres Dienstleistungsangebotes gelegt. Da – wie eingangs beschrieben – die Anforderungen an die Bibliothek wachsen, die Personalkapazitäten jedoch nicht steigen werden, müssen wir durch die Optimierung unserer Geschäftsprozesse und einen effizienten Personaleinsatz Ressourcen für die Realisierung neuer Aufgaben schaffen. Hier sind wir auf einem guten Weg und stehen in einigen Bereichen – wie z. B. in einem gemeinsam mit der Sächsischen Staats-, Universitäts- und Landesbibliothek Dresden durchgeführten Pilotprojekt zur Thematik „Automatisation in Erwerbungsverfahren“ – sogar an der Spitze von Innovationsprozessen im deutschen Bibliothekswesen. Für die Weiterentwicklung unserer Dienstleistungen und für das Angebot gänzlich neuer Services ist vor allem auch der Aufbau von mehr Knowhow in den Bereichen Informationstechnik und Social Web unabdingbar. Gerade die rasante Ausbreitung des sogenannten Mitmach-Web birgt für Bibliotheken große Chancen, denn auf diese Art und Weise kann unsere Community ihre Angebote aktiv mitgestalten, so dass diese nicht Gefahr laufen, an den Bedürfnissen unserer Benutzer vorbei entwickelt zu werden. Dementsprechend wollen wir neben dem

regelmäßigen persönlichen Austausch mit Vertretern unserer primären Nutzergruppen auch einen eigenen UB-Blog entwickeln und darüber hinaus typische und weit verbreitete web-2.0-Plattformen wie Facebook und Twitter nutzen, um durch intensive Kommunikation mit unseren Kunden die Servicequalität der Universitätsbibliothek gemeinsam zu verbessern.

Was die räumliche Situation der Universitätsbibliothek anbelangt, so müssen wir leider konstatieren, dass das Gebäude – im Jahre 1980 als einer der wenigen Bibliotheksneubauten der DDR fertiggestellt – nach 30 Jahren Laufzeit seine besten Tage längst hinter sich hat und baulich in keiner Weise mehr den Anforderungen, die heute an eine moderne und zukunftsorientierte Bibliothek gestellt werden, gerecht wird. Vor allem der Mangel an Arbeitsplätzen der für ca. 2.000 Studierende konzipierten Bibliothek kann angesichts von heute mehr als 5.000 Studenten kaum verwundern. Gleiches gilt für die Raumsituation der Bestände, die in den letzten 20 Jahren von 525.000 auf 817.000 Einheiten angewachsen sind – nicht zuletzt auch durch die Reduktion von im Jahre 1994 noch existenten 15 Zweigbibliotheken auf aktuell drei. Das sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst hat den akuten Raum-Notstand ebenfalls erkannt und den Bedarf an zusätzlichen Flächen bestätigt. Besonders glücklich sind wir über die Tatsache, dass die Planungskosten für einen Bibliotheksneubau in den neuen Doppelhaushalt der Landesregierung eingestellt sind, so dass die Bauplanungen der TU Bergakademie und des Sächsischen Immobilien- und

Baumanagements bald konkrete Formen annehmen werden. Aus bibliothekarischer Sicht besonders zukunftsweisend ist die geplante Verbindung des Neubaus der Universitätsbibliothek mit dem ebenso dringend erforderlichen Neubau des Hörsaalzentrums. Mit einem gemeinsamen Bau entstünde DAS kommunikative Herzstück des Universitätscampus, das es Studierenden aufgrund kürzester Wege ermöglicht, auch in knappen Zeiträumen effizient zu recherchieren und zu lernen, ein Aspekt, der gerade angesichts der Struktur der Bachelorstudiengänge von wesentlicher Bedeutung ist. Verläuft alles nach Plan, sollte spätestens zum Universitätsjubiläum die Bibliothek ihre universitären – aber auch städtischen – Benutzer im neuen Haus begrüßen dürfen.

Dass wir bei der Weiterentwicklung der Universitätsbibliothek insgesamt auf einem guten Weg sind, zeigt nicht zuletzt auch die neuerliche Platzierung unseres Hauses unter den Top Ten der einschichtigen Universitätsbibliotheken beim diesjährigen Bibliotheksindex BIX, dem seit 1999 erscheinenden und von der Bertelsmann Stiftung gemeinsam mit dem Deutschen Bibliotheksverband e.V. durchgeführten Leistungsvergleich öffentlicher und wissenschaftlicher Bibliotheken.

Erklärtes Ziel kann es also nur sein, diese guten Platzierungen auch in Zukunft zu halten bzw. zu verbessern. Wenn uns das gelingt, wenn wir uns als Bibliothek stetig wandeln und uns schnell auf sich verändernde Bedürfnisse einstellen, dann werden wir – und davon bin ich fest überzeugt – auch zukünftig unverzichtbarer Bestandteil unserer Universität sein und bleiben.

# Unisport ist (k)eine Einheitsgröße

S, M, L, XL oder Uni — bezieht man das auf Konfektionsgrößen, so kann sicher jeder auf Anhieb sagen, welche Größe ihr oder ihm passt. Bezüglich des Hochschulsports an unserer Universität wird auch jeder seine Erfahrungen und eine Meinung haben. Was macht den Sport an unserer Universität aus?

## Breites Angebot

Das Universitätssportzentrum der TU Bergakademie bietet eine breite Palette. Aus fast 50 Sportarten in den Sparten Fitness, Kampfsport, Spielsport, Tanz, Wassersport, Gesundheitssport, Individualsportarten und Rückschlagspiele können die Studierenden und Mitarbeiter in Freiberg auswählen. Dass sie das gern tun, zeigt die hohe Beteiligungsrate von mehr als 40 % der Freiburger Studentenschaft. Versucht man die Gründe für die Attraktivität zu finden, stößt man auf mehrere Antworten.

Hochschulsport ist kein Pflichtfach. Er ist freiwillig und steht den Studierenden begleitend über das gesamte Studium zur Verfügung. Seine Angebote können, müssen aber nicht genutzt werden.

Die Freiheit, aus einem sehr vielfältigen Programm auswählen zu können, ist für die Sportinteressierten verlockend. Gegebenenfalls kann man ja in jedem Semester eine andere Sportart ausprobieren und falls man es möchte und beim Run auf die Nutzerplätze Glück hat, auch an mehreren Sportangeboten pro Woche teilnehmen. Der Hochschulsport ist innovativ, er kann sehr schnell auf wechselnde Interessen reagieren und neue Trends und Sportangebote in die Programme integrieren.



## Moderne Sportstätten

Bis auf wenige Ausnahmen findet der Hochschulsport an unserer Universität in eigenen Sportstätten statt. Durch die schrittweise, umfangreiche Rekonstruktion der Sportstätten des Freiburger Hochschulsports setzte die Hochschulleitung immer wieder Zeichen zur Wertigkeit des Sporttreibens an unserer Bildungseinrichtung.

Mit dem Komplex Glückauf-Sporthalle (rekonstruiert 1997) und dem Glückauf-Stadion (rekonstruiert 2002) verfügt die TU Bergakademie über ein echtes Hochschulsportzentrum an der Chemnitzer Straße. Die modernen Anlagen ermöglichen im Zusammenhang mit einer reichhaltigen Sportgeräteausstattung das schon genannte vielfältige Angebot. Sie sind im Vergleich mit anderen sächsischen Bildungseinrichtungen ohne Sportstudiengänge einzigartig. Einen kleinen, aber historisch bedingten Wermutstropfen bildet die etwas größere Entfernung zum Campus. Vergleicht man dies aber wiederum mit den Wegen in größeren Standorten, sollte das für die Sportinteressierten kein ernsthaftes Problem darstellen. Aber vielleicht ergeben



sich ja im Zuge der geplanten großen Bauvorhaben unserer Universität auch Möglichkeiten, Teile des Sportangebots in den Campus zu bringen.

## Ziele

Der Hochschulsport erreicht als hochschulweites fakultatives Angebot viele Studierende und Mitarbeiter. Dadurch bildet er eine der hochschulweiten Kommunikationsplattformen. Denn gerade beim Sport entsteht eine Fachbereiche und Studienjahrgänge übergreifende Mischung der Teilnehmer. Damit ergeben sich oft Möglichkeiten zum Blick über den eigenen fachlichen Tellerrand.

Der Hochschulsport bietet den Teilnehmern Bewegung, Regeneration und den Ausgleich der Studien- bzw. Arbeitsbelastungen. Er fördert eine gesunde Lebensweise, dient der persönlichen Gesunderhaltung und Fitness und ist oft Initiator des Bedürfnisses nach lebenslangem Sporttreiben. Er trägt zum





Kompetenzerwerb bei und befördert die Herausbildung sogenannter soft skills: Fähigkeiten, von denen mit Leistungsbereitschaft, Durchsetzungsvermögen, Selbstüberwindung und Konfliktlösungsfähigkeit nur einige genannt werden sollen. Dies trifft unter Beachtung der positiven Werte des Sports auf die Sportteilnehmer insgesamt zu – ganz besonders auf die hohe Zahl der studentischen Übungsleiter als Verantwortungsträger.

### Höhepunkte

Mit Veranstaltungen wie Skikurs, Tauchcamp, Paddelboottouren, Klettersteigwoche und den regelmäßig stattfindenden Kletterfahrten in die Sächsische Schweiz bietet das Universitätssportzentrum besondere Events auch an den Wochenenden und außerhalb des Studienortes an.

Im Rahmen des Studium Generale organisieren wir in Zusammenarbeit mit



dem Lehr- und Forschungsbergwerk und der Fakultät 3 zwei besonders attraktive Kurse. Während der Kurs „Tauchen und Schnorcheln“ über das Wissenschaftliche Tauchen bis zur Teilnahme an einer Tauchexkursion führt, bietet der Kurs „Umgang mit unbekanntem Situationen“ untertage mittels psycho-physischer Belastungsreize Möglichkeiten zur Persönlichkeitsentwicklung.

### Wettkämpfe

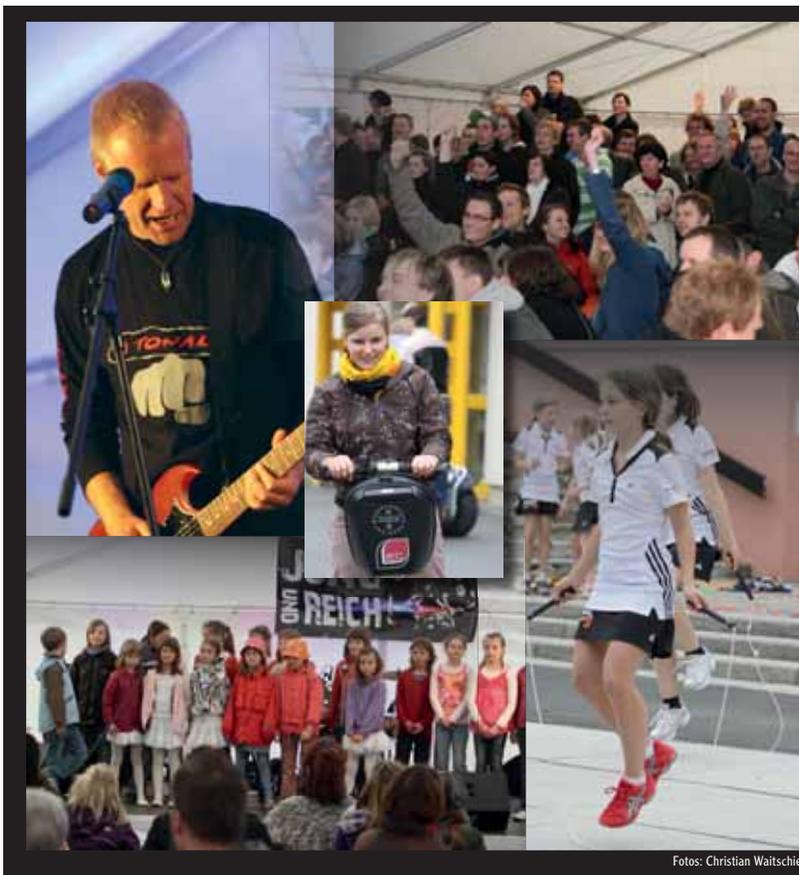
Mit der Teilnahme an hochschulinternen Universitätsmeisterschaften ergeben sich für die Studierenden und Mitarbeiter sportliche Vergleichsmöglichkeiten. Weiterführend besteht mit dem Start bei Sächsischen und Deutschen Hochschulmeisterschaften die Chance, die TU Bergakademie als Wettkämpfer zu vertreten und eine besondere Form der Identifikation mit der Universität zu erreichen.



### Also ...

... sollten Sie bei allen Aussagen zu den angesprochenen Problemstellungen ein positives Gefühl haben, dann kommen Sie doch einfach zu unseren Veranstaltungen. Man sieht sich – demnächst beim Hochschulsport!

■ Bernd Eulitz



Fotos: Christian Waitschies

## 2. UNI-FEST

Ein rundum gelungenes und gut besuchtes Fest erlebten am 18. Mai 2010 die Angehörigen der TU Bergakademie Freiberg. Das 2. Universitätsfest wurde diesmal zeitgleich mit den Studententagen veranstaltet. Das Festzelt auf dem Vorplatz der Mensa war zeitweise übervoll. Höhepunkt der Veranstaltung war der Auftritt von Jung & Reich, einer Rockband aus Freiberg. Deren Kopf ist Matthias Reich, Professor für Bohrtechnik, Spezialtiefbauausrüstungen und Bergbaumaschinen. Er ist beliebt bei seinen Studenten. Einige davon waren zum Anfeuern gekommen. „Matze, Matze“-Rufe waren zwischen den soliden Rock-Klängen zu vernehmen. Die Organisatoren hatten ein abwechslungsreiches Programm zusammengestellt. Die Band „Blue Alley“ begleitete beschwingt über viele Stunden, Kinder der Tagesstätte des Studentenwerks und der Agricola-Grundschule führten Tanz- und Gesangseinlagen auf. Ein Seilspringerinnen-Ensemble aus Brand-Erbisdorf zeigte sein Können. Maria Sacher und Phillipp Büttner, beide Mitarbeiter an der TU Bergakademie Freiberg, führten durch das Programm. „Das Wetter hat gehalten, die Stimmung war super“, freut sich die Studienberaterin.

# Dialog mit Pinsel und Farbe

Das kleine Arbeitszimmer war durch Stapel von Büchern, Manuskripten und Utensilien noch kleiner, der Abstand zwischen dem Sessel und meiner Staffelei gerade mal drei Meter. Ein von einem langen Arbeitsleben gezeichnetes Gesicht schaute mich an; die Augen fragend, im Schweigen des Malens ein Blick, der durch mich durch in die Unendlichkeit aller Erkenntnisse zu schauen schien. Durfte ich diese gewaltige Nase so malen?

Ein unglaublicher Kopf, ein Mann, der nie bedacht auf vorteilhaftes Aussehen eigentlich nur in seiner Welt lebte. Wir begegneten uns beim Malen das erste Mal, und um ihm so wenig wie möglich Umstände zu machen, besuchte ich Professor Erich Rammler in seinem Hause. Wir sprachen wenig, der hochbetagte Wissenschaftler war es nicht gewohnt, so lange stillsitzen zu müssen, den Maler anzuschauen. Und doch war da eine nicht abgesprochene Einvernehmlichkeit, ein Vertrauen zwischen zwei Männern, die von Alter und Beruf nicht hätten weiter entfernt sein können. Eine Fliege summte am Fenster. „Noch zehn Minuten?“ Er nickte ohne Lächeln. Seine Schwester, die den Haushalt führte, kam herein, sie durchbrach das Schweigen mit herzhafter Redseligkeit. Ich bat um Verständnis, mir lief die Zeit davon, da war kein Nerv für Plauderei. Rammler verdrehte die Augen zur Decke, dann schloss sich die Tür. Mein Gegenüber atmete tief, dann wieder ein schweigendes Nicken, Einverständnis. Wir waren wieder unter uns. Die Faust lag fest auf dem Buch, besiegelte Erkenntnis. Mittelalterliche Greisenporträts mit tiefer Altersweisheit schauten hindurch, da war nicht nur Genialität des scharfsinnigen Denkers, da waren auch Empfindsamkeiten und Sehnsüchte. Ganz leise vertraute er mir an, er schriebe auch Gedichte. Einige durfte ich lesen: eine zweite Welt ... Dann wurden seine Lider schwer, und während des Kurzschlafs malte ich die Hände.

Das ist lange her. 1985 beauftragte der damalige Rektor der Bergakademie Freiberg mich mit jenem Bildnis, welches heute im Senatssaal neben namhaften Altrektoren hängt. Ich habe Professor Rammler nicht noch einmal sehen oder



sprechen können – die erste und letzte Begegnung. Obwohl Professor Hans-Heinz Emons wusste, dass ich durch und durch Menschenmaler bin, wünschte er sich von mir noch zwei Landschaften: Eine Stadtansicht von Freiberg und einen Blick auf den Dom. Beide Bilder entstanden bei kaltem Herbstwetter ganz eisern vor der Natur und nicht, wie heute oft üblich, nach Fotos. Es folgten Jahre heftigster Umbrüche, im Akademieleben, aber auch in meinem Werdegang. Das Kapitel „Freiberg“ schien für mich abgeschlossen zu sein.

Historische Rekonstruktionen von Kriegsverlusten oder private Porträtaufträge sicherten nach der Wendezeit meine Existenz; neben den Auftragsbildern wollte ich natürlich mit „eigenen“ Arbeiten ein Zeichen setzen, malerische und persönliche Lebenshaltung durch das Nachspüren von Menschenschicksalen sichtbar machen. Zur Jahrtausendwende entstanden in nur 14 Monaten zehn lebensgroße Doppelakte, Menschenpaare, unbekleidete Bildnisse zwischen Ratlosigkeit und Vertrautheit. 2003 begannen die Bewerbungen um die Ausmalung der Kuppel der Dresdner Frauenkirche. Im Februar 2005 wurden auf dem Gerüst die letzten Pinselstriche gesetzt. Die größte Herausforderung meines Lebens lag hinter mir. Dann die „Heimkehr“ zu meinen Ölfarben im Atelier, alte Vertrautheit mit meinen eigentlichen Ausdrucksmitteln. Nachdem ich jahrelang die fremde Rolle des venezianischen Kirchenmalers Giovanni Battista Grone „gespielt“ hatte, musste ich wieder zu mir selbst finden. Aber es sollten noch drei weitere Jahre vergehen, bis völlig unerwartet Post aus Freiberg kam. Der Rektor Professor Bernd Meyer suchte einen guten Porträtisten, um die Rektoren, die

seit der Wende die Technische Universität Bergakademie Freiberg leiteten, für die sog. „Ahngalerie“ malen zu lassen. Irgendwie erfuhr er von meinen Porträts, wohl auch von meiner Arbeit in der Frauenkirche, und er lud mich zu einem Gespräch nach Freiberg ein. „Ach, von Ihnen ist das Bild von Professor Rammler“ meinte er mit hochgezogenen Augenbrauen. Meine mitgebrachten Kataloge ließen

vierzig Jahre gemaltes Leben an seinen Augen vorbeiziehen. Er erklärte mir sein Vorhaben, die Tradition der Bildnisse von Altrektoren wieder zu beleben. Er dachte daran, unterschiedliche Künstler damit zu beauftragen und mit mir den Anfang zu machen. Herr Professor Horst Gerhardt sollte der Erste sein, jener „Brückenrektor“, der die schwierige Aufgabe hatte, die Bergakademie über die Wirren der Wendezeit zu führen, als auch danach – nunmehr neu gewählt – unter gravierend anderen Bedingungen neu zu strukturieren.

Wer wird dieser Mann sein, dachte ich. Ich weigerte mich, vorher Fotos anzuschauen, weil Fotos schrecklich lügen können. Zu einem festgelegten Zeitraum im März 2009 wurde mir im „Historicum“, einem großen Raum in der zweiten Etage des Hauptgebäudes, eine Arbeitsecke ermöglicht.

Am Vormittag baute ich beizeiten alles auf: Die Staffelei, den Maltisch mit der Palette, die vorbereitete Leinwand, die frisch aus den Tuben gedrückte Ölfarbe. Dann ging die Tür auf, und ich stand vor einem breitschultrigen, hochgewachsenen Mann. Durch den schwarzen Bergkittel wirkte er noch größer. Beim Händedruck verschwand meine Hand in der seinen, aber seine ruhige Stimme, die völlig unautoritäre Art seiner Worte, seine Ausstrahlung machten mir die ersten Minuten leichter. Mir schien, mein Format war für diesen raumgreifenden Mann ausgesprochen mickrig. Der sprengt ja den Rahmen, – wie soll ich das komponieren! (Immerhin, es war mit dem Auftraggeber vereinbart, dass alle Altrektoren in einem Format gemalt werden sollten). Da saß er nun vor mir, und sein ruhiger Blick lud zum Gespräch ein. Die locker gefalteten Hände erzähl-

ten von schwerer körperlicher Arbeit. Das waren nicht die Hände, die zwischen Büchern und Papieren bleich geworden waren, – ich erfuhr von den Strapazen unter Tage. Das war Praxiserfahrung vor Ort. Die ersten Stunden vergingen wie im Fluge, ohne „Regie“ signalisierte die Körpersprache Wohlwollen und Interesse. Schon am ersten Tage wurde ich abends mit dem Satz belohnt: „Aber das bin ja ich!“ Die umsichtige Frau Starke vom Rektorat versorgte Maler und Modell mit Kaffee und Mineralwasser. Oft war mir während des angeregten Gesprächs, als malte ich im Unterbewusstsein. Die Themen gingen über die Jahre des Rektorenamtes, über weltanschauliche Fragen bis hin zu prägenden Erlebnissen der Kindheit. Ich spürte, wie sich in den Tagen des Malens Vertrauen aufbaute, Offenheit und Neugier auf die Gedanken des Gegenübers.

Am letzten Tag wurde dann wie ein Heiligtum die Rektorenkette gebracht. Entflochten aus dem Futteral und umständlich drapiert, wirkte sie fast ein bisschen klein auf dem großen Schwarz des Bergkittels. Aber ich war ganz begeistert, wie spannend und lustvoll Schmuck zu malen ist. Wenn alles so leicht wäre, wie das Glänzen einer Medaille oder der opalisierende Schimmer eines Edelsteins ...! „Na, ich weiß ja nicht“ meinte Professor Gerhardt. Später im heimischen Atelier gab es noch einige Tage Detailkorrekturen. Mein Modell muss nicht wegen gemalter Goldschmiedekunst mit steifem Genick ausharren. Noch vor meiner Abreise wurde jenes erste Bildnis vom Rektor und verschiedenen Mitarbeitern begutachtet und mit manchen Lobesworten bedacht.

Was ich erst später erfuhr: Von verschiedenen Seiten der Mitarbeiterschaft wurde dem Rektor vorgeschlagen, den ursprünglichen Plan, verschiedene Maler zu beauftragen, fallenzulassen. Prof. Meyer selbst war nun auch längst der Meinung, der Serie der Altrektoren würde eine einheitliche künstlerische Handschrift gut tun. So stieg mit jedem weiteren Rektorenbildnis bei ihm sichtlich die Freude.

Einige Monate später war wieder die Spannung groß, als ich zur Übergabe im Rektorat Professor Dietrich Stoyan aus der Blasenfolie schälte. Zu diesem Anlass war er eigens mit seiner Gattin ins Rektorat gekommen. Über die Entstehung seines Porträts, welches in der Komposition und Farbigkeit so ganz anders ausfiel,



Christoph Wetzel mit Dr. e.h. Frank-Michael Engel und Prof. Bernd Meyer am Novalisporträt. Foto: Detlev Müller

schrieb er später mit großem Eifer einen kleinen Aufsatz. In der Mittagspause auf den Denkmalstufen des Freiburger Marktplatzes sitzend, stärkten wir uns recht rustikal mit einer Bratwurst. In Jeans inmitten des Marktgetümmels unterzutauchen, das schien der einstigen Magnifizenz gerade recht. Während der Porträtsitzungen war sein Wissensdurst schier unerschöpflich. Von der Maltechnik über meine Lebensstationen bis zur Arbeit in der Frauenkirche erfragte er manche Details. Eigentlich wollte ich still malen und mich vertiefen, aber der Dialog ließ bei meinem Gegenüber immer neue Ausdrucksmomente aufleuchten. So wurde, wie eigentlich bei allen Bildnissen, das Ergebnis die Summe verschiedenster Erfahrungen mit dem Dargestellten. Darüber hinaus schien es mir wichtig, dass die Hintergrundfarbe durchaus den jeweiligen Typus, die Ausstrahlung meines Modells unterstreicht. All das sind natürlich subjektive „Bauchentscheidungen“. Denn nichts ist ermüdender als eine Ahnengalerie aus einem Strickmuster.

Als im November 2009 Professor Ernst Schlegel in den Arbeitsraum trat, wusste ich nur Eines: Der Hintergrund musste eisblau werden. Ernst und aufmerksam schaute er mich an, der Sessel wurde eine Erfindung von mir. Aber immer wieder waren es die Augen, die mich eindringlich anschauten, und die schöne Erfahrung, sich gegenseitig ernst zu nehmen, Dialog auf Augenhöhe.

Während der Mittagspausen, wenn mein Altrektor bei völlig anderer Beleuchtung in der Gaststätte mir gegenüber saß, – völlig entspannt –, dachte

ich, du hast alles falsch gemacht. So klar und überschaubar schien mir die Physiognomie. Etwas bedrückt erwog ich eine radikale Korrektur. Aber oh Wunder, kaum hatte Magnifizenz im Arbeitsraum Platz genommen, war er der Gleiche wie auf meinem Bild. So scheint es in der Porträtmalerei keine objektive Wahrheit zu geben.

Zwei feierliche Übergaben vor dem Senat hat es bereits gegeben. Maler und Modell berichteten kurz über ihre Eindrücke, ich hatte diesmal keine farbverschmierten Hosen an. Dann wurde das weiße Tuch vom Bild gezogen. Würdig gerahmt schaute mein Altrektor neben dem Altrektor zum Senat. Freudige Gesichter, Applaus. Rektor Meyer strahlte und dankte mit warmherzigen Worten. So viel Vertrauen beflügelt.

Ein weiterer verdienter Wissenschaftler, Professor Heinrich Schubert, ist in Arbeit, diesmal vor dunkelgrünem Hintergrund. Grün ist die Farbe der Hoffnung. Rektor und Maler hoffen auf weitere gute Zusammenarbeit. Ganz außer der Reihe entstand vor einem halben Jahr ein Porträt von Novalis (Friedrich Freiherr von Hardenberg), einem der namhaftesten ehemaligen Studenten. In schwarzem, niederländischem Rahmen wurde er vor dem Senat und im Beisein des Sponsors, Herrn Dr. Frank-Michael Engel und Frau Marianne Engel übergeben.

Irgendwann wird auch ein Finanzminister stillhalten müssen. Und 2011 könnte Michail Wassiljewitsch Lomonosow, prächtig gerahmt, zu seinem Jubiläumsjahr sich in Freiberg die Ehre geben. Seine Leinwand ist schon vorbereitet.

■ Christoph Wetzel

# Premiere von »Die Vermessung der Welt« im Senatssaal



Dirk Englers Theaterfassung von Daniel Kehlmanns Bestseller »Die Vermessung der Welt« hatte am 19. Oktober 2010 im Senatssaal des Hauptgebäudes der TU Bergakademie Freiberg Premiere. Über 100 Premierengäste waren gekommen, um im voll besetzten Senatssaal des Universitätshauptgebäudes auf der Akademiestraße das multimedial grandios aufbereitete Stück zu erleben. Für die Inszenierung arbeiten die Künstler, Wissenschaftler und Techniker des Theaters und der Universität eng zusammen. In dem Stück geht es um die Altersbegegnung zweier Wissenschaftler, des Naturforschers Alexander von Humboldt und des Mathematikers Carl Friedrich Gauß. Humboldts Leben ist eng mit der Bergakademie verbunden, er hatte sich am 14. Juni 1791 unter der Matrikelnummer 357 eingeschrieben und studierte bis 1792 in Freiberg Geologie und Mineralogie. Die Freiburger Geschichte – Humboldt bekam an der Universität einst seine Uniform, die er auf seinen Reisen trug – wurde vom Bautzener Regisseur Lutz Hillmann inszeniert in der Ausstattung von Miroslaw Nowotny.

■ Cornelia Riedel, Fotos: Detlev Müller



Ostern = 22 + d + e

a. Jahr modulo 19 = 2011 : 19 = 105 R 11  
b. Jahr mod 4 = 2011 : 4 = 502 R 3  
c. Jahr mod 7 = 2011 : 7 = 287 R 2  
k. Jahr div 100 = 2011 : 100 = 20 R 11  
p.  $(8k + 13) \text{ div } 25 = 173 \text{ div } 25 = 6 R 23$   
q. k. d.



# das silber gehort yn die muncze czu Friberg

## Die Freiburger Münzstätte

Mit der Problematik der Münzstätte Freiberg im Kontext zu Bergbau und Hüttenwesen sowie zur Stadtentwicklung, zur Prägetechnik und Numismatik, Regal-, Berg- und Münzrecht beschäftigen sich ausführlich und reich farbig bebildert zwei großformatige Bände „Die Münzstätte Freiberg von den Anfängen bis zu ihrer Aufhebung 1556 durch Kurfürst August von Sachsen“ (Band I erschien 2007, Band II im Oktober 2010).

Auf insgesamt über 700 Seiten werden dem Numismatiker und Heimatgeschichtler sowie dem allgemein an sächsischer Geschichte Interessierten die Bedeutung und die Leistungsfähigkeit dieser Münzstätte, die eine der bedeutendsten im *Regnum Teutonicum* und dann im Heiligen Römischen Reich Deutscher Nation war, nahegebracht. Münzkataloge, Zeittafeln, Genealogien, Landkarten, Wappen- und Siegelabbildungen zu Münzherren und Münzmeistern ergänzen die Artikel der Autoren aus den verschiedensten Fachgebieten. Dem Leser wird mit über 1.400 Quellenangaben, Literaturangaben und Anmerkungen die Möglichkeit gegeben, sich selbst intensiv mit diesem Themenkomplex zu beschäftigen und eigenständige, weiterführende Forschungen zu betreiben.

### Teil I: Zur Vorgeschichte

Konrad, später der Große genannt, hat 1123 im Erbgang die Markgrafschaft Meißen übernommen. Bei Konrads 1156 testamentarisch verfügter Landesteilung sollen Otto als ältester Sohn die Markgrafschaft Meißen und seine vier Brüder aus wettinischem Besitz Land und Titel erhalten, um sie materiell zu versorgen. Dietrich soll als zweiter Sohn die Markgrafschaft Niederlausitz und die Grafschaft Eilenburg erhalten, die jüngeren Brüder aber nur kleine Herrschaften: Heinrich I. die Grafschaft Wettin, Dedo V., der Feiste, die Grafschaften Rochlitz und Groitzsch sowie Friedrich I. die Grafschaft Brehna.

Konrad legt an seinem Lebensende die Herrschaft nieder, tritt am 30. November 1156 in das von ihm gegründete Kloster Petersberg bei Halle als Mönch ein und verstirbt kurz darauf am 5. Februar 1157. Die Teilung wird wirksam. Ottos Brüder gründen eigene dynastische Linien, die nur kurzen Bestand



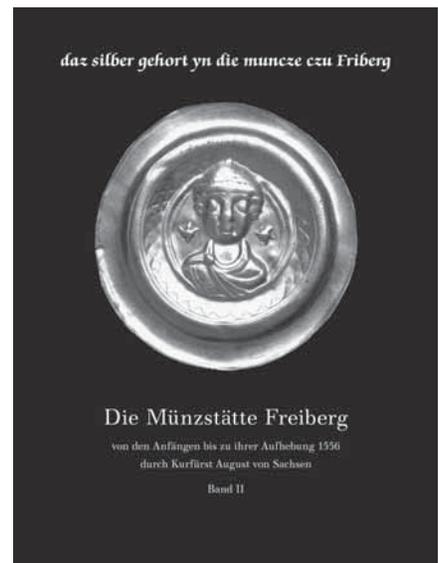
Markgraf Otto, Gemahlin Hedwig. Abbildung aus dem „Sächsischen Stammbuch“:

*Hedwig: Zu Sachsenn marggrefin was ich  
Ehe otto ym vermehelt mich*

*Otto: Die alden zcelle ich gestiftet han  
darumb gab mir got das ertz zu lon  
Zu freiberg vberflussig gut  
Der alle wolthat belonen thut*

haben. Markgraf Otto, später der Reiche genannt, beginnt sofort mit der Rodung eines Gebiets zwischen der Striegis und der Freiburger Mulde, ausgehend von dem Burgward Mochau. Im Rodungsgebiet befinden sich neben anderen die von fränkischen Siedlern gegründeten drei Dörfer Christiansdorf, Berthelsdorf und Tuttendorf. Dabei ist Christiansdorf für die nachfolgende Geschichte von wesentlicher Bedeutung.

Markgraf Otto und seine Gemahlin Hedwig, eine Tochter des Markgrafen Albrecht des Bären von Brandenburg, wollen eine Erbbegräbnisstätte in einem Zisterzienser-Kloster gründen. Gewählt wird eine Fläche nahe Böhrigen (damals Bor genannt), die sich jedoch vom Baugrund her nicht eignet. So kommt die Gegend um Nossen in die Auswahl. Markgraf Otto wird zum Stifter des Klosters Marienzelle, Cella Sanctae Mariae. Die Urkunde zur Klostergründung stellt Kaiser Friedrich I. Barbarossa 1162 in Lodi/Italien aus. Damit gehört das in ihr be-



schriebene Gebiet mit den drei genannten Waldhufendörfern nicht mehr zum Lehensgebiet der meißnischen Markgrafen. Sie sind nunmehr im Besitz des Klosters, das die Grundherrschaft ausübt. Es verfügt damit über das Recht, Bergbau zu betreiben.

### Die silberhaltigen Erzfunde

Freiberg verdankt sein Entstehen dem Vorkommen silberhaltiger Erze in einer großen Lagerstätte. Der Sage nach sollen es Fuhrleute aus Wildemann und Zellerfeld gewesen sein, die Blei in das wesentlich jüngere Kuttenberg (Kutná Hora, Tschechische Republik) fuhren oder Fuhrleute aus Halle an der Saale, die Salz nach Böhmen bringen sollten. Wer auch immer, sie sollen an einer Straße am Schüppchenberg in der Gemarkung Christiansdorf bei einer Furtdurchfahrt das silberhaltige Erz gefunden haben. Es ist nicht erklärbar, warum diese Fuhrleute nicht den verkehrstechnisch günstigsten Weg über den „Alten böhmischen Steig“, der weit entfernt von Freiberg liegt, benutzten, sondern dafür das noch nicht erschlossene Gebiet der Christiansdorfer Flur inmitten des Miriquidiwaldes gewählt haben sollen. Das gefundene Erz sei nun mit den Fuhrleuten auf der Rückfahrt bis nach Goslar zur Probation gelangt, und man habe dort seine reiche Silberhaltigkeit festgestellt. Das Bergeschrei soll nun sogleich eingesetzt haben; es versprach die Bergfreiheit für jedermann, verbunden mit einer Vielzahl von Privilegien. Offen blieb, wie diese sensationelle sowie erfolversprechende Nachricht von den reichen silberhaltigen Erzfunden an wen wie zurückkam. Über diese Vorgänge liegen keine Archivalien vor, jedoch reichlich Sagen – auch solche

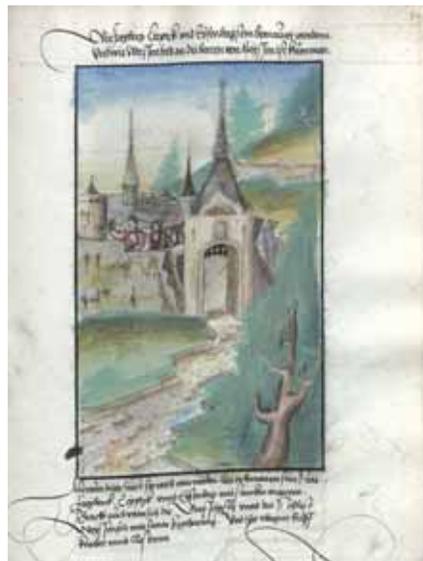
von den Bergknappen Daniel und Knappius, die sich unauslöschlich im Volksgedächtnis verankert haben und noch immer gern erzählt werden.

Die Nachricht, Erz und damit Silber im Klostergebiet gefunden zu haben, erreicht aber schnell den Markgrafen und dessen Kanzlei. Er leitet sofort nach Erhalt der Nachricht geeignete Maßnahmen ein, um wieder in den Besitz dieses Gebiets zu gelangen. Er begründet das mit seinem alten Recht gemäß den Regalien und damit auf die Bodenschätze. Es muss nach dem zeitlichen Ablauf der Dinge als sicher angenommen werden, dass Markgraf Otto bereits 1168, spätestens Anfang 1169, von den Erzfunden wusste und mit Kaiser Friedrich I. Barbarossa darüber gesprochen hat, denn er nimmt an den Reichstagen 1169 in Bamberg und 1170 in Erfurt teil, also sofort nach den silberhaltigen Erzfunden und zum Zeitpunkt des 1170 mit dem Kloster erzwungenen Flächentauschs. Sicher wird er dort mit dem Kaiser und dessen Räten zur Problematik der Berg- und Münzregalien gesprochen haben. Es muss dabei sein ureigenstes Anliegen gewesen sein, die entstandene Situation in seinem Sinne unwiderruflich zu regeln und Bergbau sowie Münzwesen in der Markgrafschaft Meißen zu betreiben. Nach der Gebietsrückübertragung kann Markgraf Otto den Bergbau nun uneingeschränkt und unangreifbar zum eigenen Nutzen betreiben. Es ist eine Ironie der Geschichte, dass auch im neuen Klostergebiet silberhaltiges Erz gefunden, gefördert und verhüttet wird. Über den Verbleib dieses Silbers ist nichts bekannt.

### Die Folgen der Erzfunde

Die reichen oberflächennahen silberhaltigen Erzvorkommen, die anfangs im Tagebau beziehungsweise Pingenabbau mit einer Teufe von 1 bis 20 und maximal 50 Metern ausgebeutet werden, sowie die leichte Verhüttbarkeit der reichen Erze bringen fast mühelos Ertrag. Sie machen den Markgrafen sofort zu einem der reichsten Fürsten seiner Zeit. Parallel dazu muss eine Münzstätte, die spätere *moneta Vriberc*, entstehen. Das war zwingend notwendig zur Bezahlung der Berg- und Hüttenleute, zur Sicherung der entstehenden Infrastruktur im Zusammenhang mit den technischen, ökonomischen und natürlichen Gegebenheiten.

Es entstehen nun mehrere Siedlungskomplexe auf und neben der Christiansdorfer Flur. Die Sicherung des „Reviere“



Die Errichtung der Stadtmauer zu Freiberg (Spalatin, Chronik der Thüringer und Sachsen):

*Wie Freyberg. Leiptzk. vnd Eysenberg sein bemaürt wordenn. Vnd wie Weissenfels an die herren von Meyssen ist kûmmen. Als nûn diser Fürst ser reich war worden. lies er bemaürn sein Stete. Freyberck, Leÿptzck. vnnnd Eysenberg. mit starcken mawrn. Bracht aûch vnter sich die Graf-schafft vnnnd das Schloss Weÿssenfels mit seiner zûgehörung. Vnd thet vbergros hilff kirchen vnnnd Closternn.*

und des sich entwickelnden Gemeinwesens sind Gründe für die Errichtung eines Dominikales und später einer Burg. Der Siedlungskomplex gruppiert sich um den Hauptstollengang am Hang des Münzbachs. Bereits kurz darauf erfolgten die Herausbildung der Stadt einschließlich der Oberstadt und der Beginn des Stadtmauerbaus. Die Burg hatte eine Wehrfunktion, die auch heute noch durch einen Graben, der die Burg von der Stadt trennte, deutlich erkennbar ist. Ein gewichtiger Grund für den Standort der Burg ergibt sich aus strategischen und topografischen Erwägungen. Die Burg steht auf einem strategisch wichtigen Felssporn, und dieser gestattet einen guten Blick auf die entstehende Stadt und das Revier. Sie ist mit einem hohen massiven Turm mit einem Außendurchmesser von etwa 10,5 m, einem Innendurchmesser von 4,3 m und einer Mauerstärke von etwa 3,1 m nahezu uneinnehmbar. Eine Ummauerung ist erstmals 1233 urkundlich nachgewiesen. Im ältesten Stadtsiegel von 1227 sind bereits neben dem Stadttor mit dem Wappenschild der Wettiner, dem meißnischen Löwen und den Landsberger Pfählen drei Türme aus der Befestigungsanlage dargestellt. Die Stadtmauer als Rechtssymbol dokumen-

tiert die Autonomie und die Wehrhaftigkeit der entstandenen Stadt Freiberg.

Der Bergbau beginnt zu florieren, und es müssen zwangsläufig das Hüttenwesen und die Münzstätte folgen. Das nun einsetzende Berggeschrei zieht Bergleute und solche, die es werden wollen, aus dem Harz und anderen Bergbaugebieten, möglicherweise auch durch gezielte Abwerbung, an. Dazu gibt es ebenfalls mehrere, teils recht abenteuerliche Sagen.

Die Ankömmlinge siedeln direkt neben ihren Gruben, u. a. in eingetieften, zumeist hölzernen Häusern, den sogenannten Grubenhäusern. Erst später folgen ebenerdige Häuser in dem sich bildenden Ort. Die Bergleute sind mit Sonderrechten ausgestattet, die ihnen beim Zuzug eingeräumt werden. Diese kann nur der Markgraf als Landesherr und Regalinhaber erlassen. Das steht nicht in der Machtbefugnis eines Vogts oder Lokators. Die Bergleute gehören rechtlich nicht den sich bildenden dörflichen oder städtischen Gemeinden an. Die Bergbaufreiheit gestattet es jedermann, – und das ist neues Recht –, nach Erzen zu schürfen, ohne dass er vom Grundeigentümer daran gehindert werden kann. Die sich dann bildenden genossenschaftlich organisierten Berggemeinden unterstehen einem Bergmeister, der vom Markgrafen als Regalinhaber eingesetzt wird. Ebenso bilden sich in der Folgezeit Nahhandelszentren und Kirchspiele heraus. Mit dem Zuzug der Bergleute kommen Händler und Gewerbetreibende nach Christiansdorf, wohl auch, wie Sabine Ebert schreibt, „so manches Gesindel“. Die Erstankömmlinge haben sicher eigene Gerätschaften zum Schürfen, Roden und Hüttenbau mitgebracht. Diese sind schnell verschlissen. Reparaturen erfordern oft spezialisierte Handwerker, und Neuanschaffungen können nur Händler bereitstellen. Das führt sehr schnell zur Arbeitsteilung, die nur durch Ware-Geld-Beziehungen zu bewerkstelligen ist. Es entstehen also rasch die Gewerbe- und Bergbau- und Hüttenwesen, Handwerk und Handel. Aus den an wichtigen Orten durchgeführten Jahrmärkten werden Wochenmärkte. Dadurch entstehen neue Städte. Gibt es in Mitteleuropa um 1150 nur etwa 200 Städte, so sind es 1250 bereits über 1.500. Das führt zur Verbreitung des Geldes und zur Erhöhung des umlaufenden Geldvolumens und dadurch zu neuen Münzstätten. Der Marktherr ist in der Regel auch der Münzherr. Er setzt auf seinen Märkten das Monopol seiner

Münzen durch und kann so das Marktgeschehen kontrollieren. Die Errichtung von Dominikale, Burg und Sächsstadt, die Materialbereitstellung und die Bezahlung der eingesetzten Arbeitskräfte, auch wenn diese teilweise Frondienste ableisten müssen, sowie die Koordination und Kontrolle des entstehenden Gemeinwesens bedingen eine ausreichende Geldbereitstellung.

Innerhalb von zwölf Jahren seit den Erzfunden war das zwischenzeitlich entstandene Freiberg zur größten und bevölkerungsreichsten ummauerten Stadt der Markgrafschaft Meißen und zu ihrem wirtschaftlichen Zentrum geworden. Eine derartig rasante Entwicklung ist auch weit über die Grenzen der Markgrafschaft Meißen hinaus ohne Parallele. Und gerade zu dieser Zeit vollzog sich der rasche und vollständige Wandel von der Naturalwirtschaft in die Geldwirtschaft. Um 1300 leben hier etwa 5.500 Menschen, 1546 waren es bereits knapp 10.000 Einwohner. Damit liegt Freiberg deutlich vor Leipzig und Zwickau. In diesem Umfeld entwickelt sich die Freiberg-Münzstätte zur Landeshauptmünzstätte der Markgrafschaft Meißen und dann des albertinischen Kurfürstentums. Grundlage dafür waren das hier gefundene Silber und das daraus geprägte Geld. Das Geld wird für den Handel auf dem Markt benötigt, aber auch für Renten, Zinsen und andere Geldgeschäfte, die bis dahin nur eine untergeordnete Rolle gespielt haben und die für die Mehrzahl der Bevölkerung nicht relevant waren, aber nun an Bedeutung gewannen.

### Der Weg vom Erz zur Münze

Der hiesige Bergbau auf silberhaltiges Erz ist der älteste in der Markgrafschaft Meißen. Das abgebaute silberhaltige Erz muss an nahen und günstig gelegenen Orten, hier am Münzbach oder an der Freiberg-Mulde, verhüttet werden. Es ist weiterhin notwendig, das Blick- oder Hüttensilber im Brenngaden (auch Brennkammer, *Bornekammer* genannt) fein zu brennen, zu *burnen*, um reines und münzfähiges Silber zu erhalten.

Es ist eine oft gestellte, aber bisher niemals befriedigend beantwortete Frage, ab wann hier eine Münzstätte errichtet und Geld geprägt wird. Es gibt weder eine Stadtgründungsurkunde noch eine zur Gründung einer Münzstätte. Deren Ersterwähnung durch Markgraf Heinrich von Meißen, später der Erlauchte, genannt, stammt von 1244. Jedoch wird

bereits in einer Urkunde des Markgrafen Otto von 1186 erstmals von einer Zahlungsverpflichtung *in ferto Misnensis argenti* geschrieben. Das lässt offen, ob es sich um eine gewogene (Gewichtsmark) oder gezählte Mark (Zählmark) handelt. Es ist aber anzunehmen, dass dieser Betrag in bar zu zahlen war, und dass nicht ein sehr kleines Silberstück von 62,7 g (= ca. 6 cm<sup>3</sup>) zur Zahlung verwendet wird, zumal Silbergusskönige in der Regel gepunzt waren und solche kleinen bisher nicht nachgewiesen sind, und Bruchsilber aus rechtlichen Gründen nicht statthaft war. Aber ein Brakteatenpäckchen, bestehend aus 60 in Freiberg geprägten Pfennigen, ist sehr gut möglich. Damit wäre das der erste urkundliche Nachweis von in Freiberg geprägtem Geld; denn Geld Meißner oder Bautzener Herkunft ist eindeutig als solches zu identifizieren, z. B. durch die Art des Gepräges und durch Umschriften.

Die Bergleute und die Hüttenleute, die *waltworchten*, müssen von Anfang an das erzeugte Silber dem Landesherrn und Regalinhaber, der über die Berg- und Münzhoheit verfügt, zu einem festgelegten Ankaufspreis verkaufen und den Zehnten leisten. Der Landesherr lässt es zu handels- und münzfähigem Silber weiterverarbeiten und zu Geld verprägen. Mit diesem Geld kann er alle bezahlen. Über das frühe Wo und das Wie liegen keine Urkunden vor. Das Geldprägen muss aber in einem sicheren, befestigten Ort, sinnvollerweise im Dominikale erfolgt sein, aus dem später die Burg hervorgegangen ist. Die erste Münzstätte hat demnach dort gelegen. Ein Blicksilbertransport zu einer der wenigen, weit entfernt liegenden auswärtigen Münzstätten des Markgrafen und der Geldtransport zurück zur Entlohnung der Berg- und Hüttenleute sowie für den Nahmarkt sind auch unter Beachtung des Zeitaufwands, der Verkehrswege und der Sicherheit undenkbar.

Die Geldwirtschaft hat die Naturalwirtschaft endgültig abgelöst. Mit der Zunahme des Handelsvolumens auf den Märkten muss auch die verfügbare Geldmenge zunehmen und bereitgestellt werden. Später, als dann die Ablieferung allen Bergsilbers an die Münzstätte Freiberg durch den Markgrafen durchgesetzt und im Freiberg-Bergrecht mit *daz silber gehort yn di muncze czu Friberg* formuliert worden ist, sind die gesicherten Silbertransporte normal. Das gilt auch, wenn Silberbarren auf den Märkten, z. B.

in Nürnberg, Köln und in Oberitalien, verkauft und gesichert geliefert werden, und es trifft auch bei größeren Zahlungen zu. Es darf weiterhin angenommen werden, dass mit Silberlieferungen an andere markgräfliche Münzstätten auch Prägestempel, die zentral in der Hauptmünzstätte gefertigt worden waren, mitgeliefert werden. Auf jeden Fall trifft das später zu, wie das an den Münzbildern erkennbar ist. Im Freiberg-Stadtrecht (um 1300) werden dazu ausführlich die *Vriberschen Ysen*, die Freiberg-Eisen, die Prägestempel, mit denen das Freiberg-Geld geprägt wurde, beschrieben.

Aufenthalte Markgraf Ottos in Christiansdorf, in Freiberg und im Kloster Altzelle sind nicht zu belegen. Am 27. Mai 1175 zum Einzug des Konvents und zur Weihe des Klosters, seiner Erbbegräbnisstätte, sind er und weitere Familienangehörige sicher zugegen. Möglicherweise nutzt er diese Gelegenheit, um hier an der Quelle seines Reichtums nach dem Rechten zu sehen. Um sich eine Vorstellung von seinem Reichtum zu machen: Von Februar bis Mai 1189 ist Markgraf Otto durch seinen Sohn Albrecht in Döben in der Feste Dewin nahe Grimma gefangen gehalten worden, um eine Testamentsänderung zu dessen Gunsten zu erzwingen. Otto wird erst nach einem Befehl Kaiser Friedrich I. Barbarossas freigelassen. Albrecht entnimmt Ottos Staatsschatz 3.000 Mark Silber (das sind ca. 750 kg Silber), den dieser im Kloster Altzelle verwahrt hatte und der in etwa 20 Jahren erfolgreichen Bergbaus im Freiberg-Revier gebildet worden war. Anderen Quellen nach soll die Wegnahme jedoch erst nach dem Tode Ottos um 1190/1191 erfolgt sein. Markgraf Otto stirbt am 18. Februar 1190 unbekanntem Ort und wird in dem von ihm gestifteten Kloster Marienzelle in der Kirche nahe dem Altar beigesetzt. Neben dem hier gewonnenen Silber stammt ein beträchtlicher Teil des Silberaufkommens aus dem Wiedereinschmelzen von eigenen und fremden gewechselten Pfennigen und aus dem Pagament, dem Kaufsilber. Das Freiberg-Silber bildete auch die Grundlage für Münzprägungen mehrerer anderer deutscher Territorialherrschaften, besonders derer, die kein eigenes Silberaufkommen hatten. Münzfähiges Silber Freiberg-Provenienz ist auch ins Ausland an die großen Metallhandelsplätze gelangt.

■ Hans Friebe

(Beitrag wird im nächsten Heft mit Teil II fortgesetzt)

# Unsere Berghauptleute in Freiberg – eine kleine Schönbergsche Familiengeschichte

Rüdiger Frhr. v. Schönberg

## 1. Wolf von Schönberg (1518–1584)

Im Frühling 1558 übertrug Kurfürst August seinem Hofmarschall Wolf von Schönberg das Amt des Oberhauptmanns des Erzgebirgischen Kreises. Wolf, Neusorgaer Hauptlinie, übernimmt damit die Funktion des Berghauptmanns, des Leiters des Bergbaus der Wettiner. Heinrich von Gersdorff hatte seit 1547 das neu geschaffene Amt eines Berghauptmanns geleitet. Schon Herzog Georg der Bärtige hatte sich intensiv des Bergbaus angenommen, Missbräuche beseitigt und das Bergwesen neu geordnet.<sup>1</sup> Gern liest die Familie von Schönberg bei Albert Frau-stadt, dass Kurfürst August, früher verklärend „Landesvater“ genannt, es verstanden habe, die tüchtigsten Männer in seine Verwaltungsämter zu berufen.

Wolf von Schönberg wurde 1518 als Sohn des gleichnamigen herzoglichen Rates, des Oberhauptmanns der Schönburgschen Lande, geboren. Wolf war der Enkel des Hofmeisters Caspar auf der Sachsenburg. Anders als sein Bruder Georg, der vermutlich in Wittenberg studiert hat, besucht Wolf keine Hochschule, sondern widmet sich früh dem praktischen Bergwesen. Leidenschaftlich für die Sache begeistert, kann er andere überzeugen, sich mit der ganzen Person für die Sache einzusetzen. Die Wettiner hatten schon zuvor Heinrich und Friedrich von Schönberg auf Stollberg, aber auch Wolfs Vater, ihren Amtmann von Meißen, wiederholt in Berghandlungen eingesetzt.<sup>2</sup>

Unter Herzog Moritz nimmt Wolf am Schmalkaldischen Krieg teil. Wiederholt zeichnet er sich auf Turnieren aus, ist dort der Kampfgefährte von Kurfürst August.<sup>3</sup> Dieser vertraut ihm. Wolf ist mit rund 20.000 fl. zudem einer der Großkreditoren der Albertiner.<sup>4</sup> Schon die Vorfahren des neuen Oberhauptmanns waren zuverlässige Getreue der Wettiner. Den Hofmeister Dietrich auf Rothschnöberg, den Landesrentmeister,<sup>5</sup> und dessen Vetter, den Großvater Wolfs, hatte Herzog Wilhelm III. 1461 in Jerusalem zu Rittern geschlagen.<sup>6</sup>

Wolf bewährt sich als Amtmann von Chemnitz und Altzelle, als Hauptmann zu Schwarzenberg und Grünhain und schließlich als Hofmarschall. Ob er sich als Amtmann des säkularisierten Klos-



Wolf von Schönberg (1518–1584)

ters Altzelle bereits mit dessen Bergbau und Wald<sup>7</sup> befasst hat, bleibt zu untersuchen. Sein Gehalt als Berghauptmann steigt auf 500 Gulden, er wohnt im Schloss Freudenstein in Freiberg, seine Haushaltung ist durch reiche Naturalbezüge gesichert, ebenso die notwendigen dienstlichen Aufenthalte in der Residenz Dresden.

Nach Wolf als Erstem berufen die Wettiner bis 1761 Mitglieder der Familie von Schönberg an die Spitze ihres Bergbaus – nur unterbrochen in der Zeit 1711–1733. Zwei Jahrhunderte stellt diese Familie den Chef der einheitlichen Bergbauverwaltung Sachsens. Unterschiedlich sind die Titel: „Oberhauptmann des Erzgebirgischen Kreises“, „Berghauptmann“ oder seit 1670 „Oberberghauptmann“, die jeweilige Funktion ist dieselbe. Unterstellt sind dem Oberbergamt alle Bergämter. Der Oberhauptmann selbst untersteht dem Hofrat, später dem 1574 eingerichteten Geheimen Rat bzw. der Kammer.<sup>8</sup> Nicht zu verschweigen ist, dass seit der Mitte des 16. Jahrhunderts weniger Silber gewonnen wird, obwohl der dafür geleistete Aufwand steigt.<sup>9</sup> Hatte der Bergbau einmal fast die Hälfte der Einnahmen der Wettiner erbracht, so fällt der Anteil auf wenige Prozente, um z. B. während des Dreißigjährigen Krieges fast auf Null zu gehen.<sup>10</sup>

Der Präsident des Oberbergamts, Berghauptmann Prof. Reinhard Schmidt, würdigte dieses Kapitel der Geschichte des Sächsischen Bergbaus anlässlich der Sonderausstellung unserer v. Schön-

berg-Stiftung im Jahr 2004 in Nossen.<sup>11</sup> In Nossen waren sowohl die höchst eindrucksvollen, zeitnah entstandenen Originalporträts aus dem Fundus des Oberbergamts bzw. dem Bergbaumuseum und die nach diesen geschaffenen Kniebilder im weißen, goldbestickten Bergmannshabit mit bergmännischen Gegenständen aus der Bergakademie zu bewundern. Diese Porträts ließ Oberberghauptmann Abraham kurz nach seinem Amtsantritt (1676) in der Werkstatt des Dresdner Hofmalers Andreas Bottschild fertigen. Bottschild selbst wird die Köpfe gemalt haben. Diese zweite Serie gelangte mit der ersten Auflösung des Oberbergamts 1868 an die Bergakademie. Diese Wiedervereinigung der Porträts war nicht nur für die Nachfahren eine bewegende Begegnung mit den Gesichtern dieser Männer. Prof. Blaschke fragte damals: „Was wäre Sachsen ohne den Bergbau?“ „Was wäre der Bergbau ohne die Schönberger?“

Den Rat des Oberhauptmanns wird der Kurfürst suchen, wenn er seine Verwaltung und den Bergbau reformiert. Wolf begleitet den Kurfürsten weiter auf größeren Reisen. Er vermittelt in einer schwierigen Ehrensache des dänischen Königs. Unter seiner Regie wird im Freiburger Dom das Denkmal für den Kurfürsten Moritz aufgestellt. Kurfürst August ist ein schwieriger Bauherr, wie Hieronymus Lotter erfahren muss. „Mutter Anna“ ist befreundet mit Wolfs Frau, Brigitta, der Tochter des Andreas Pflug auf Knauthain.

Neusorge, so heißt das Gut Zschöppchen. Sorgen bereitet Wolf der Sohn Caspar. Dessen Erwerb der Herrschaft Teplitz endet mit einem finanziellen Desaster, das Jahrzehnte danach den Verlust von Neusorge, Frankenberg und der Sachsenburg nach sich zieht. Wolf und Brigitta kümmern sich um die Ausbildung der Handwerker in Frankenberg, schicken den Meister Thomas Rockard nach Antwerpen, damit er dort das Blaufärben lernt. In Knauthain, aus dem Nachlass seines Schwagers 1564 für rund 64.000 fl. erworben, errichtet Wolf eine Papiermühle.

Seinem Purschensteiner Vetter Caspar, in erster Ehe mit Margarethe Pflug, der Schwägerin, verheiratet, soll Wolf

klar machen, dass der Kurfürst Caspars Wälder in Purschenstein und Frauenstein haben will. Es geht um die hohe Waidgerechtigkeit und um Holz – für die Verhüttung und die Flöße.<sup>12</sup> Den Räten Hans von Ponickau und Ulrich von Mordeisen ist das Vorgehen des Kurfürsten peinlich. Die Verständigung gelingt. Der Kurfürst kauft das Holz, gibt Caspar sogar das frühere Pfandlehen Frauenstein zum Erblehen. Dafür verpachtet Caspar 1560 dem Wettiner die hohe Jagd auf Purschenstein.

Kriebstein, 1577 vom überschuldeten Schwiegersohn Nicol von Carlowitz für 32.000 fl. übernommen, veräußert Wolf noch unmittelbar vor seinem Tod für 42.000 fl. an den Kurfürsten.<sup>13</sup> Wolf ist vermutlich erleichtert. Teplitz ist das Problem. 90.000 fl. hatte er dem Sohn Caspar dafür geliehen. Dass 1579 der vordere Teil des Schlosses Neusorge abbrennt, ist offenbar schnell vergessen. 1581, als die Kurfürsten von Sachsen und Brandenburg den Oberhauptmann besuchten, ist Neusorge schon wiederhergestellt.

Wolf stirbt am 29. Januar 1584 und wird, wie seine Witwe 1596, in Frankenberg beigesetzt. Der Kurfürst sagt, Wolf sei ihm fast ein Bruder gewesen. Das Grabmal befindet sich heute im Kreuzgang neben der Annenkapelle in Freiberg. Er hinterlässt 89.689 fl. Schulden.

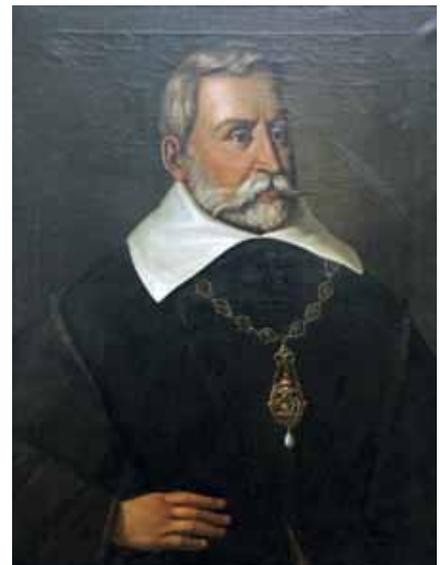
In der Amtszeit Wolfs ergehen – nach der von 1554 – noch zwei Bergordnungen, 1571 und 1575, außerdem u. a. die Zinnbergwerksordnung. Der Kurfürst soll höchstpersönlich 1560<sup>14</sup> eine für das ganze Territorium verbindliche Forst- und Holzordnung ausgearbeitet haben.<sup>15</sup> In der Ordnung für Grünhain und Schlettau wird dies ausdrücklich mit dem „Mangel an Holz für unsere Untertanen und dem Bergwerk, auch um die Wildbahn nicht zu schädigen und damit die Nachkommen genug Bau- und Brennholz haben“, begründet.<sup>16</sup> Wolf, er war ja Amtmann von Grünhain, wird auf diese erste Maßnahme zur Sicherung einer nachhaltigen Forstwirtschaft Einfluss genommen haben. Ohne Holz ist Bergbau nicht möglich. Etwa 30 bis 45 t Holz sind notwendig, um eine 1 t Erz zu gewinnen. Für die ca. 550 bis 650 t Eisen Jahresproduktion muss Sachsen also rund 20.000 t Hölzer einsetzen.<sup>17</sup> Die Köhler zogen weiter, wenn sie kein Holz mehr fanden. Die Glashütten wanderten weg, wenn das Holz ausging. Der Bergbau aber endet, wenn es keinen Wald mehr gibt. Schon damals sieht der

Bergbau darauf, den Wald so zu nutzen, dass er für die künftigen Generationen erhalten bleibt. Wer als Landesherr dafür sorgt, dass die Häuser aus Stein gebaut werden, handelt zum Wohl seiner Untertanen. Er verhindert, dass ganze Städte und Dörfer abbrennen. Er ist sozial, weil er vorausdenkt und nachhaltig plant. Nicht bloß höhere Macht- und Prachtentfaltung, sondern auch sichere Häuser für die Bürger, sichere Bergwerke und sichere Einnahmen!

Der berühmte Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz weiß: „Das Land ist glücklich, wenn es an allerhand Holz Genüge hat“. Heute ist seine Schrift *Sylvicultura oeconomica, der Anweisung zur wilden Baum-Zucht* von 1713<sup>18</sup> berühmter als damals.

**2. Lorenz von Schönberg (1535–1588),**<sup>19</sup> ein Vetter Wolfs vierten Grades aus dem Reinsberger Seitenzweig, auf Oberreinsberg, Dittmannsdorf und Oberkunnersdorf, soll sich frühzeitig der Bergwissenschaft gewidmet haben.<sup>20</sup> Kurfürst August setzt ihn 1577 als Bergamtman zu Freiberg ein. Wie selbstverständlich wird er der Nachfolger des Oberhauptmanns Wolf. Nahe verwandt im heutigen Sinn ist er nicht. Das mag für seine Kompetenz sprechen. Lorenz amtiert nur kurz, stirbt bereits mit 52 Jahren in Karlsbad. In Freiberg besitzt er ein Haus in der Nähe der Petrikirche, das an den Mann seiner Tochter Agnes fällt, Caspar auf Purschenstein.

**3. Heinrich (1549–1616),**<sup>21</sup> Caspar auf Purschensteins ältester Sohn zweiter Ehe, auf Frauenstein, Mulda, Rechenberg, Nassau, Holzhau und Neuendorf, später auf Purschenstein, hatte die Fürstenschule zu Meißen besucht. Seine Kavaliertour führt ihn nach Frankreich, zum Vetter Caspar, dem Feldmarschall. In Dresden gehört er zum nahen Umfeld des Kurfürsten August – verständlich, wenn man um die freundschaftlichen Beziehungen des Kurfürstenpaares zu den Eltern Heinrichs weiß. Früh schon wird Heinrich kurfürstlicher Rat, 1588 ernennt ihn Kurfürst Christian I zum Oberhauptmann „der Erzgebirge“. Auch wird Heinrich Hauptmann der Ämter Freiberg, Dippoldiswalde, Altenberg und Tharandt. Zugleich gilt er als Vertrauter der Ritterschaft<sup>22</sup> und ist zugleich kurfürstlicher Beamter. Der nur entfernt verwandte Vetter Caspar auf Pulsnitz, steigt zu Beginn des 17. Jahrhunderts zum ein-



Heinrich von Schönberg (1549–1616)

flussreichsten Geheimen Rat auf. In der Nach-Krell-Ära führt er den Titel des Präsidenten des Geheimen Rats.<sup>23</sup>

Während Heinrichs Amtszeit werden wichtige Gesetze für das Bergwesen erlassen, 1589 eine neue Bergordnung, eine Schmelz- und Hüttenordnung für die Stadt Freiberg und 1594 eine Pirnaische Berg-, Eisen- und Hammerordnung. Nach einer Verordnung von 1609 wird der Schöppenstuhl zu Freiberg für alle Bergsachen zuständig.<sup>24</sup> 1614 folgten die Gießhübelsche Eisen- und Hammerordnung, 1615 die Zinnbergwerksordnung zu Eibenstock. Schloss Freudenstein wird errichtet. Kurfürst und Bergleute rühmen Heinrich bei seinem Tode, weil er väterlich für die Bergleute gesorgt hat.

**4. Christoph von Schönberg (1554–1608),** der vierte Sohn des Oberhauptmanns Wolf, verheiratet mit Anna von Schönberg, der Nichte des späteren Präsidenten Caspar auf Pulsnitz, hielt sich offenbar lieber in den Gruben auf, als dass er die Grammatik studierte.<sup>25</sup> 1588 wird er als Berghauptmann dem Oberhauptmann Heinrich zugeordnet. Von seinem Vater übernimmt er das Bergwerk Saalfeld. Er verwaltet die Ämter Wolkenstein, Lauterstein und Rauenstein, wohnt aber in Freiberg. Zusammen mit Esaias Stumpel verbessert er das Schmelzverfahren.<sup>26</sup> Die Bibliothek zu Freiberg soll er gefördert haben. Sein Berggebet ist überliefert: „Allmächtiger, ewiger Gott, himmlischer Vater, der du Berg und Thal, Kluft und Gänge schaffest und sie mit schönen Gestücken veredelst und lässtest Silber und Erz wachsen zur Nothdurft der Menschen, wir bitten dei-



Christoph von Schönberg (1554–1608)

ne milde Güte, du wöllest unsere Bergwerke aus Gnaden segnen und uns nach deinem Will Erz geben und bescheeren und deinen Geist und Gnad uns mittheilen, dass wir zu deiner Ehre, zu Erhaltung deines Worts und zu täglicher Nothdurft solches seliglich gebrauchen und unserem Nächsten christlich darmit dienen durch Jesum Christum, denen lieben Sohn, unsern Herrn. Amen.“

Als Fachmann genießt Christoph hohes Ansehen. Der Kaiser ruft ihn nach Böhmen, auch der König von England sucht seinen Rat.

**5. Kaspar Rudolf (1572–1628)** auf Wilsdruff, Maxen und Niederschöna, Neffe des Oberhauptmanns Lorenz und ältester Sohn von dessen Bruder Kaspar, dem Oberkonsistorialpräsidenten, besuchte gleichfalls die Fürstenschule zu Meißen, studierte in Straßburg und wurde Hofmeister der verwitweten Kurfürstin Sophie. 1608 wird er zum Kammer- und Bergrat ernannt, ist damit aber – aus welchen Gründen auch immer – nicht zufrieden. 1611 wird er Berghauptmann und folgt 1616 dem Purschensteiner Vetter Heinrich als Oberhauptmann der Erzgebirge nach. Er ist kurfürstlicher Rat, aber auch Mitglied des engeren Ausschusses der Ritterschaft.<sup>27</sup> Seinen Rat als erfahrenen Bergmann suchen die Brandenburger Hohenzollern.

**6. Wolf Christoph (1591–1634)**, der Sohn des Berghauptmanns Christoph, ein höchst angesehener Experte, wird 1629 Vizeberghauptmann zu Freiberg, Kriegskommissar des Erzgebirgischen Kreises, Hauptmann zu Wolkenstein und Lauterstein, stirbt aber bereits 1634.<sup>28</sup>



Georg Friedrich von Schönberg (1586–1650)

Das Dienstgut Geringswalde wird zweimal ausgeplündert: 1.000 Schafe und 25 Melkkühe werden weggetrieben. Die Stelle des Vizeberghauptmanns bleibt während des Dreißigjährigen Krieges unbesetzt. Seit 1628 hatten Wolf Christoph wie auch der spätere Berghauptmann Georg Friedrich der Kommission angehört, die die Schwierigkeiten des Bergbaus untersuchen und Vorschläge zu ihrer Behebung erarbeiten sollte.

**7. Georg Friedrich (1586–1650),**<sup>29</sup> ein Großneffe des Oberhauptmanns Wolf auf Neusorga, auf Mittelfrohna etc., der kurz vor seinem Tod noch das Familiengut Pfaffroda von seinem durch den Dreißigjährigen Krieg nahezu ruinierten Vetter August auf Purschenstein erwerben kann, hatte studiert. Ursprünglich hatte er in den Dienst des Hochstifts Naumburg treten wollen, doch gewinnen ihn die kurfürstlichen Räte für den Bergbau. 1618 wird er zum Berghauptmann in Freiberg berufen, 1622 zum Amtmann von Wolkenstein mit Lauterstein und Rauenstein und im Jahr 1629 zum Oberhauptmann ernannt.

Es ist Krieg und das Erzgebirge wird im wahren Sinne des Wortes durch die Kaiserlichen und dann durch die Schweden verheert. Wer sich nicht nach Freiberg retten kann, hat so gut wie keine Überlebenschance. Georg Friedrich gilt neben dem Kommandanten Georg Hermann von Schweinitz und dem Bürgermeister Jonas Schönlebe als Verteidiger und Retter Freibergs. Es sind die Bergknappen, die einen Teil der Stadtmauer halten, die Brände in der Stadt löschen, Wasser in die gegnerischen Minengänge leiten und über eigene Gänge die Verbin-



Caspar von Schönberg (1621–1676)

dung zum Kurfürsten in Dresden sichern. Jonas Schönlebe und Georg Friedrich von Schönberg sind Freunde. Schönlebe lässt die Bergmannskanzel im Freiburger Dom bauen. Sie ruht auf den Schultern eines Bergknappen. Das Gesicht dieses Bergknappen zeigt die Züge von Georg Friedrich.<sup>30</sup>

## 8. Caspar von Schönberg (1621–1676) (Nr. 305)

Georg Friedrichs ältester Sohn Caspar von Schönberg auf Pfaffroda, der 1651 noch von dem Purschensteiner Dörnthal erwirbt und 1665 auch den Kriebstein erwirbt, ist der einzige Schönberg, der seinem Vater in das Amt des Berghauptmanns und Oberhauptmanns der Erzgebirge folgt. Als seine Mutter stirbt, ist Caspar keine elf Jahre alt. Mit sieben wird er Tafelsteher der Kurfürstinwitwe. Er studiert kriegsbedingt nur zwei Jahre in Leipzig und bildet sich auf der Grand Tour in den Niederlanden, Brabant und Flandern fort. Danach hilft er seinem Vater bei dessen Amtsgeschäften. Er ist vor allem in Bergsachen tätig und gilt in den technischen Dingen als sehr erfahren. Deshalb bestimmt ihn der Kurfürst Johann Georg 1648 ohne Wissen des Vaters zu dessen Vizeberghauptmann. Als er zum Oberhauptmann der Erzgebirge berufen wird, ist er 29 Jahre jung.

Seit 1670 führt Caspar, kurfürstlicher Rat und Kammerherr, den Titel Oberberghauptmann. Er beginnt den Wiederaufbau des sächsischen Bergwesens. Er holt böhmische Exulanten und siedelt sie in den neu gegründeten Dörfern Ober-, Nieder- und Kleinneuschönberg (1651, 1655, 1659), Eisenzeche (1670) und Hutha (1672) an. Seine durch den Krieg

verwüsteten Dörfer richtet Caspar wieder auf, verbessert und vermehrt Schulen und Kirchen, baut die Kirche zu Oberneuschönberg und schafft für Helbigsdorf eine Pfarrstelle.

Die Leichenrede des Superintendenten Paul Philipp Röber spricht aus, wer dieser Oberberghauptmann war. „Wer fürchtet heute noch Gott?“ Caspar versteht sein Leben als ein Lehen Gottes, das eigene Leben als Petschaft auf dem himmlischen Lehnbrief. Er baut auf Gott. Nach einem langwierigen Siechtum stirbt er am 1. September 1676. Röber nennt ihn einen Großen und „feste Säule des Bergbaus“ und „seiner treuen und lieben Untertanen“. Er sieht in ihm einen klugen einsichtigen verständigen Mann der Tugenden und Begabungen, wert und beliebt, rühmt die innige Freundschaft zu seinem Bruder Friedrich Gotthelf. „Der Name Gottes war sein festes Schloss.“ Die Schönbergische Familie verlor ihren „Atlas“.

Beigesetzt wird Caspar in der von ihm errichteten Begräbniskapelle neben der Annenkapelle in Freiberg. Gewohnt und gelebt hat Caspar im zum Stadtpalais umgebauten Schönberger Hof.<sup>31</sup>

In seinem Testament mahnt er seine Söhne, die Hölzer in Pfaffroda und Dörnthal als „vornehmes und wichtiges Pertinenzstück“ zu schonen, „dass solche uf eure Nachkommen zu allen Zeiten dauern mögen“. Sie sind für den Bergbau und die Menschen notwendig, zumal andernorts der Wald bereits geschlagen ist. Er warnt vor gefährlichen „Kohlekontrakten“ und der Belastung der Untertanen durch „Kohlefuhrn“. Caspar setzt den wirtschaftlichen Zwängen des Tages die berechtigten Ansprüche der kommenden Generationen entgegen.

Mehr als ein frommes Vermächtnis ist der von ihm und seinem Bruder 1675 zu Freiberg gegründete Geschlechtsverein der Herren von Schönberg. Dieser Verbund gibt Halt in schwierigen Zeiten. Zugleich verpflichtet er die Mitglieder, die Jugend zu formen und zu bilden. Er fordert ein Familiennetzwerk, das den unmündigen Waisenkindern eine Ausbildung sichert und die bestellten Vormünder kontrolliert. Selbstständig und eigenständig werden, um einmal selbst Verantwortung für andere zu übernehmen! Stand fordert Anstand! Selbstbeherrschung kennt keine Gier! Das sind die Management-Regeln der Ahnen für die Enkel! Caspar setzt auf die Treue zum Landesherrn. Doch beweist er Er-

dentreue, die Treue zur anvertrauten Erde – zum Wohl von Land und Leuten. Solche Treue will die Menschen nicht täuschen, nicht ausnutzen, sondern in der Not anderen Mut machen und Kraft geben. Als Familienunternehmer denkt er in Generationen, weit über die Gegenwart hinaus.

**9. Der ältere Sohn Dietrich** (Nr. 364) des Oberberghauptmanns Caspar wird mit gerade einmal 20 Jahren Vizeberghauptmann, stirbt jedoch bereits 1678 auf einer Reise in Turin. Deshalb gehen Pfaffroda, Dörnthal, Grobhartmannsdorf und der Kriebstein an den jüngeren Sohn, den am 2. März 1660 in Freiberg geborenen Caspar.

#### **10. Caspar (1660–1689)** (Nr. 365)

In unseren Stammtafeln wird er als Vizeberghauptmann bezeichnet, doch ist das fraglich. Beide Söhne Caspars absolvieren den damals klassischen Bildungsweg. Unter der Obhut des Hofmeisters Christian Zahn, des späteren Kreisamtmanns in Wittenberg, studieren sie in Leipzig. Während Dietrich nach Abschluss des Studiums und dem Tod des Vaters mit Zahn seine Bildungsreise nach Italien antritt, geht Caspar auf Anraten seines Onkels und Vormunds Gotthelf Friedrich nach Abschluss seiner juristischen Studien 1678 erst nach Genf, Dijon und schließlich nach Paris und Oettingen. Er übt sich in der Reitkunst, befasst sich mit Festungsbau und studiert Mathematik.

Ab 1681 verwaltet er seinen Besitz, 1682 heiratet er Johanna Eleonora Bose. Wie sein Vater kümmert er sich um die ihm anvertrauten Kirchen. Armen schenkt er wiederholt Brotgetreide.

Er stirbt gerade einmal 29 Jahre alt. Überliefert, aber nicht belegt ist, dass Caspar 1683 mit dem kursächsischen Heer Wien von den Türken befreit habe.

**11. Abraham von Schönberg (1640–1711)**<sup>32</sup> ist der berühmteste in dieser Reihe. Mit seinem Namen verbinden die Historiker den Wiederaufbau des Bergbaus. Dass sein Porträt auch im Bochumer Bergbaumuseum hängt, ist ein Zeichen fortwährender Achtung. Wer seine bei David Fleischer in Leipzig erschienene „Ausführliche Berginformation“ (1693) in die Hand nimmt, erfährt den Grund dieser Anerkennung. Es geht Abraham um die fachliche Qualifikation und die Kompetenz der Bergbeamten. Er



Abraham von Schönberg (1640–1711)

will Investoren Mut machen und ihnen ein eigenes Urteil ermöglichen. Sie sollen nicht Opfer der sog. „Kuxkränzleins“ werden. Schließlich soll der Kurfürst die alte Bergordnung verbessern. Abraham stammte aus dem 1735 im Mannesstamm ausgestorbenen Purschensteiner Hauptast. Der Oberhauptmann Heinrich war der Bruder seines Urgroßvaters. Frauenstein und Rechenberg, die Lehen des Vaters, hatten erst die Kaiserlichen und dann die Schweden heimgesucht und ruiniert. Der Vater stirbt noch vor Abrahams Geburt; aus dem Nachlasskonkurs kauft der Kurfürst 1647 Frauenstein und Rechenberg.

Abraham wächst bei seinem Vormund Nicol auf Oberschöna auf, studiert Philosophie, Staats- und Rechtswissenschaften in Jena und Wittenberg und bildet sich im Ausland fort. Auf Rat seines Schwagers Hanns Hildebrand von Einsiedel auf Scharfenstein widmet er sich in Annaberg und Schneeberg den Bergwissenschaften. 1668 wird er kurfürstlicher Rat und Vizeberghauptmann, 1676 Nachfolger des Oberberghauptmanns Caspar. 1681 beruft ihn der Kurfürst als Kreishauptmann der Ämter Freiberg, Nossen, Augustusburg, Chemnitz, Frankenberg, Lichtenwalde, Neusorge, Altenberg, Frauenstein und Grillenburg. Mit seiner Ernennung zum Wirklichen Geheimen Rat ist er seit 1697 der einzige Berghauptmann, der formell zum innersten Kreis der Politik gehört. In seiner Amtszeit entsteht das erste Porzellan, das rote Böttgersteinzeug. In Freiberg erwirbt er von Vetter Caspar Heinrich auf Purschenstein dessen Freihaus. Das 1679 für die Bergbehörde angekaufte Freihaus der Familie Schönlebe in der

Kirchgasse ist Bestandteil des heutigen Oberbergamts.

Sein Hauptverdienst ist die Schaffung der Stipendienkasse (1702) und eines geregelten Unterrichts in der Bergbau-, Markscheide- und Probierkunst für junge begabte Leute. Für die Ausbildung mittelloser Nachwuchskräfte stehen jährlich 300 Gulden bereit. Die Stipendiaten verpflichten sich, in kurfürstliche Dienste zu treten und die erworbenen Kenntnisse nicht im Ausland einzusetzen. Damit legt Oberberghauptmann Abraham schon 1702 den Grundstein für die von ihm und der Stadt Freiberg gewünschte Bergakademie. Diese damals einzigartige Lehrstätte wird aber erst mit ihrer Gründung im Jahr 1765 lernbegierige junge Leute aller Länder an sich ziehen.<sup>33</sup> Schon damals ist Ausbildung das beste Zukunftslabor. Für arme Schüler der Freiburger Schule richtet Abraham eine Stiftung ein.

Er war trotz aller durch den Beruf hervorgerufenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen ein herausragender Sachwalter des Bergbaus. 1711 stirbt er im 72. Lebensjahr. Sein Epitaph befindet sich noch heute im Freiburger Dom. Sein Bild zeigt der Deckelhumpen im Freiburger Stadt- und Bergbaumuseum. Der Bergmannsruf „Glückauf“ erinnert den Kundigen an diesen großen Bergmann.

### 12. Curt Alexander (1703–1761)

Erst 1733 wird mit Curt Alexander aus Oberschöna wieder ein Schönberg Oberberghauptmann. Er folgt auf Hans Carl von Carlowitz (1712–1714), Christoph Dietrich Vitzthum von Eckstädt (1714–1730) und Carl Christian von Tettau (1730–1733). 1732 war er zunächst Vizeberghauptmann und dann Berghauptmann geworden. 1736 vertraut ihm die Zarin Katharina das Generaldirektorium über das russische Bergwesen an. Curt Alexander errichtet mit Hilfe sächsischer Bergleute neue Kupfergruben in Lappland, verliert sein dort investiertes Geld, obwohl die Gruben in bestem Zustand sind. 1742 kommt er für zwei Jahre in Haft, bis er 1745 wieder ausreisen und das durch den Berghauptmann von Kirchbach verwaltete Amt des Oberberghauptmanns wieder ausüben kann. Dieses russische Abenteuer ist ein Kapitel aus der Geschichte des Exports des hohen fachlichen Könnens sächsischer Bergleute, risikoreich und doch notwendig. Sein Sohn Curt Friedrich gilt als ein mathematisches Genie.<sup>34</sup>



### 13. Freiberg und die Familie von Schönberg

Dass die Freiburger mit Stolz auf die Berghauptleute aus der Familie von Schönberg schauen können, das verdanken sie u. a. den beiden Porträtsammlungen, die die einzigartige Stellung dieser Familie im sächsischen Bergbau heraushebt. Doch was heißt Familie? Es sind nur ausnahmsweise Söhne und Neffen, die Vater oder Onkel in das Amt folgen. Es sind wie Heinrich und Abraham Vettern siebten oder achten Grades. Aber es sind gleichfalls Herren von Schönberg, die für dieses Amt vorzüglich ausgebildet sind. Es sind die Nachfahren derer, die den Wettinern seit dem 14. Jahrhundert als Hofmeister, Marschälle und Richter zuverlässig gedient hatten. Dass nahezu alle Zweige und Linien versuchten, den für dieses Amt Bestgeeigneten zu finden, unterstreicht, dass sie über den Tag hinaus dachten. Fast alle haben alte Schönbergsche Orte von den Wettinern zu Lehen. Sie sind Vertreter der Ritterschaft und zugleich kurfürstliche Beamte. Dies – zugleich ihre fachliche Kompetenz – mag ihnen innere Unabhängigkeit gegeben haben. Die Porträts in der Bergakademie und im Oberbergamt zeigen ein bleibendes Kapitel sächsischer Geschichte! Rund 200 Jahre folgt ein Mitglied des Geschlechts nach dem anderen in das höchste Amt des sächsischen Bergbaus und sichert den Wettinern einen ihrer wichtigsten Wirtschaftszweige. Dass sie sämtlich für dieses Amt – sei es durch praktische Erfahrung, sei es durchs Studium – bestens vorbereitet waren, ist beeindruckend. Was wären die Schönbergs ohne Freiberg? Ohne den Freiburger Gymnasiasten, der seine Facharbeit über die Rolle der Familie von Schönberg im sächsischen Bergbau schreibt? Ohne die Epitaphe im Kreuzgang des Freiburger

Doms? In Freiberg ist Familiengeschichte sichtbar: in Gebäuden wie dem Oberbergamt, dem Schönberger Hof, und in den Gesichtern der Männer, die dem sächsischen Bergbau dienten. Oberhauptmann Georg Friedrich ist einer der Verteidiger der Stadt Freiberg, die Oberberghauptleute Caspar und Abraham stehen für den Wiederaufbau nach dem Dreißigjährigen Krieg. Caspar sorgte sich um die Ausbildung der jungen Vettern, und Abraham sicherte dem sächsischen Bergbau den bestens ausgebildeten Nachwuchs.

#### Anmerkungen

- 1 Zu Wolf von Schönberg siehe Albert Fraustadt: Geschichte des Geschlechts von Schönberg, Meissnischen Stammes, Leipzig 1878, Bd. I Abteilung A S. 555 ff.
- 2 Vgl. Constantin v. Schönberg: Die Rolle der Familie von Schönberg im sächsischen Bergbau, Manuskript, m. w. N.
- 3 Fraustadt, a.a.O., I A S. 562 ff.
- 4 Uwe Schirmer: Kursächsische Staatsfinanzen (1456–1656), Stuttgart 2006, S. 530, 586, 669
- 5 Schirmer, a.a.O., S. 81 f.
- 6 Z. B. Fraustadt, a.a.O., I A S. 312
- 7 Schirmer, a.a.O., S. 755 hat ermittelt, dass Nossen durch die intensive Nutzung des Waldes von Altzella die höchsten Überschüsse aller Ämter erzielte.
- 8 Vgl. Reiner Groß: Geschichte Sachsens, Leipzig 2001, S. 64, 82
- 9 Vgl. Schirmer, a.a.O., S. 165.
- 10 Schirmer a.a.O., S. 885 f.
- 11 Reinhard Schmidt, a.a.O., S. 32 ff.
- 12 Fraustadt, a.a.O., I Abteilung B S. 306; Uwe Schirmer, a.a.O., S. 628 ff.
- 13 Gottfried August Bernhardt, Geschichte des Schlosses und der Herrschaft Kriebstein, Hartha 2002, § 103 S. 99
- 14 Schirmer, a.a.O., S. 628
- 15 Geschichte Sachsens, hrg. Karl Czok, Weimar 1989, S. 216
- 16 Holzordnung für die Ämter Grünhain und Schlettau aus dem Jahr 1560.
- 17 Schirmer, a.a.O., S. 627 ff.
- 18 Reprint der Ausgabe Leipzig, 1713, Freiberg 2000
- 19 Fraustadt, I B S. 210 ff., 343
- 20 Fraustadt, I B S. 210
- 21 Fraustadt, I B S. 330 ff.
- 22 Schirmer a.a.O., S. 735 f, S. 682; zu ihm Fraustadt, a.a.O., I A S. 381 ff.
- 23 Schirmer a.a.O., S. 736
- 24 Fraustadt, a.a.O., I B S. 215 ff
- 25 Fraustadt, I A S. 584, vgl. Schirmer a.a.O., S. 683
- 26 Fraustadt, I A. 584 ff.
- 27 Schirmer a.a.O., S. 733, 735, 792, 799 ff.
- 28 Fraustadt, a.a.O., I A. S. 596 ff.
- 29 Fraustadt, a.a.O., I A S. 619 ff.
- 30 Schmidt, a.a.O.
- 31 Schmidt, a.a.O., S. 54
- 32 Fraustadt, a.a.O., I B 367 ff.
- 33 Kötzsche/Kretschmar, Sächsische Geschichte, Frankfurt a. M. 1965, S. 292
- 34 Diesen Hinweis verdanke ich Prof. Hans-Joachim Girlich, Leipzig.

# Chronik 2011

## 500 Jahre – 1511

- Grube „Sankt Elisabeth“ im ältesten Bergbelehnungsbuch erstmals urkundlich genannt

## 300 Jahre 1711

- (22.9. und 17.10.) Zar Peter I. (1672–1725) weilte zweimal in Freiberg
- (4.11.) Abraham von Schönberg gestorben, 1676–1711 Oberberghauptmann, hatte maßgeblichen Anteil an der Errichtung einer Stipendiatenkasse beim Oberbergamt Freiberg
- (19.11.) Michail W. Lomonossow geboren, der russische Universalgelehrte erhielt 1739/40 in Freiberg bei Bergrat J. F. Henckel metallurgische Ausbildung

## 225 Jahre – 1786

- Gründung der „Societät der Bergbaukunde“, einer der ersten internationalen technikkissenschaftlichen Gesellschaften; zahlreiche hochrangige Freiburger Absolventen sowie mehrere Professoren und Lehrer der Bergakademie werden Mitglied
- (25.4.) Christian Zimmermann geboren, Student 1804/05, 1805–1809 Privatdozent für Mineralogie, Physik und Zivilbaukunst in Heidelberg, 1811–1853 Leiter der Bergschule in Clausthal, 1839 Bergrat, 1853 Oberbergrat
- (7.12.) Hans von Charpentier geboren, Student 1804, Geologe, Gletscherforscher, Paläontologe; Professor in Lausanne, Salinendirektor in Bex/Schweiz

## 200 Jahre – 1811

- Kunstmeister und Maschinendirektor Christian Friedrich Brendel (1776–1861) vollendet auf der Saline Dürrenberg den Bau der ersten Dampfmaschine Sachsens (Bauzeit 1808/11).
- (2.9.) Carl Gottfried Baldauf gestorben, Student 1769/74, Kunstmeister im sächsischen Bergbau, maschinentechnischer Gutachter im von Goethe geleiteten Ilmenauer Bergbau
- (19.9.) Heinrich Schmidhuber geboren, Student 1827/31, ab 1839 Berggeschworne beim Bergamt Schneeberg; veröffentlichte die „Plötziaide“, ein humorvolles Gedicht über die Karriere des Bergakademiestudenten Plötz
- (7.11.) Franz Theodor Merbach geboren, Student 1827/33, Oberhüttenmeister und Oberhüttenvorsteher in Freiberg, führte hier die Erwärmung der Gebläseluft beim Hochofenschmelzen ein
- (3.12.) Franz Wilhelm Fritzsche geboren, Student 1829/35, 1856–1873 Professor für Probierkunst und Hüttenkunde

## 175 Jahre – 1836

- (24.2.) James Duncan Hague geboren, Student 1856/58, Direktor von Kupfergruben am Oberen See, Bergingenieur in Kalifornien, Präsident der North Star Mining Co. of California
- (27.2.) Carl Horst Brunnemann geboren, Student 1854/59, 1893 Bergrat, 1896 Oberbergrat, 1900 Geheimer Bergrat, 1895–1901 Direktor der Porzellanmanufaktur Meißen
- (4.4.) Alfred Ludwig Dittmarsch geboren, Student 1854/58, Bergingenieur in Frankreich, Colorado/USA und Norwegen; 1881–1906 Direktor der Bergschule Zwickau

- (24.12.) Gotthelf Anton Wiede geboren, Student 1858/59, Gründer und Direktor des Steinkohlenwerks Morgenstern in Reinsdorf bei Zwickau, Direktor und Aufsichtsratsvorsitzender des Steinkohlenbauvereins Concordia in Oelsnitz/Erzgeb.

## 150 Jahre – 1861

- (15.10.) Verabschiedung des Königlich-Sächsischen-Gewerbegesetzes, dadurch Beseitigung der Zunftschranken und Einführung der Gewerbefreiheit
- (20.11.) Christian Friedrich Brendel gestorben, Student 1797/1801, 1811 sächsischer Kunstmeister, 1817 Maschinendirektor des sächsischen Bergbaus; Konstrukteur von Wassersäulenmaschinen, Dampfmaschinen, Hüttengebläsen

## 125 Jahre – 1886

- Der sächsische Staat kauft in privatem Besitz befindliche unrentable Freiburger Gruben und beginnt deren Modernisierung, um den Niedergang des Erzbergbaus aufzuhalten; Leitung durch die neugegründete „Oberdirektion der staatlichen Erzbergwerke“.
- Entdeckung des chemischen Elements Germanium durch Clemens Winkler (1838–1904)
- (24.4.) Frantisek Pisek geboren, 1965 Ehrendoktor der Bergakademie; em. Professor für Technologie und Gießereiwesen der TH Brno
- (6.6.) Fritz Springorum geboren, 1930 Ehrendoktor der Bergakademie; Generaldirektor des Eisen- und Stahlwerks Hoesch, Dortmund
- (16.06.) Paul Beyersdorfer geboren, 1954–1966 Lehrbeauftragter für „Glashüttenkunde“
- (3.11.) Eduard Maurer geboren, 1925–1946 Professor für Eisenhüttenkunde, 1949–1960 Direktor Eisenforschungsinstitut Hennigsdorf
- (8.11.) Bernhard Konstantin Ludwig Braunsdorf gestorben, Student 1825/29, 1853 Bergmeister in Johannegeorgenstadt, 1856 Bergmeister in Freiberg, 1867 Bergrat im Oberbergamt Freiberg und nach dessen Auflösung bis 1883 erster Bergamtsdirektor des Bergamts Freiberg
- (27.11.) Christian Friedrich Martin Websky gestorben, Student 1847/51, 1868 a.o. Professor für Mineralogie Universität Breslau, 1873 o. Professor für Mineralogie Universität Berlin

## 100 Jahre 1911

- (unbek.) Alexander N. Snarski geboren, 1963 Ehrensator; Professor Polytechnisches Institut Lwow, 1959–1963 und 1966 Gastprofessor für Erdölgeologie an der Bergakademie
- (16.1.) Theodor Kootz geboren, 1965 Ehrendoktor der Bergakademie; Professor an der Bergakademie Clausthal und Leiter der Versuchsanstalt der August-Thyssen-Hütte, Duisburg
- (24.2.) Carl Horst Brunnemann gestorben
- (28.3.) Samuel Franklin Emmons gestorben, Student 1864/66, einer der hervorragendsten Geologen der USA; 1903 Präsident der Geological Society of America, Ehrendoktor der Harvard- und der Columbia-Universität
- (2.4.) Rudolf Meinhold geboren (gest. 1999), 1966–1976 Dozent, ab 1971 a.o. Professor für Erdölgeologie
- (19.4.) Gotthelf Anton Wiede gestorben
- (1.7.) Julius-Ludwig-Weisbach-Stipendium gestiftet; vorgesehen zur Unterstützung eines Absolventen der Bergakademie für eine Promotion auf dem Gebiet der Technischen Mechanik und Bergmaschinenlehre

- (18.7.) Pjotr I. Poluchin geboren, 1965 Ehrendoktor Bergakademie; Professor, Rektor des Moskauer Instituts für Stähle und Legierungen
- (9.8.) Friedrich Leutwein geboren, 1947–1958 Professor für Mineralogie, 1949–1953 Rektor, 1958–1960 Honorarprofessor Universität Hamburg, 1960 Professor in Nancy
- (28.9.) Richard Hunger geboren, 1952–1957 Professor für Brennstoffgeologie
- (1.11.) James Benton Grant gestorben, Student 1874/76, Mitbegründer des Bleisilberhüttenwesens von Colorado; 1882–1885 Gouverneur von Colorado, Direktor Denver National Bank
- (15.11.) Karl-Heinz Zieger geboren, Student 1932/37, 1945–1951 Leitung des Hochofenbetriebes der Maxhütte Unterwellenborn, 1952 Stahlwerksdirektor Eisenhüttenkombinat Ost

## 75 Jahre – 1936

- Schwarzenberg-Gebläse auf der Halde der „Alten Elisabeth“ aufgestellt und Errichtung eines Schutzhauses, Richtfest (17.10.) und Schlüsselübergabe an den Rektor der Bergakademie (28.11.), heute technisches Denkmal
- (20.2.) Max Schmidt gestorben, 1877–1890 Professor für Geodäsie und Markscheidkunde, 1890–1925 Professor für Geodäsie und Topographie an der TH München; 1918 Ehrendoktor
- (16.4.) Cornelius Blankevoort gestorben, Student 1888/92, 1897–1932 Oberster staatl. Aufsichtsbeamter des holländischen Steinkohlenbergbaus
- (29.9.) Otto Stutzer gestorben, 1913–1927 a.o. Professor für Geologie, 1927 o. Professor für Brennstoffgeologie

## 50 Jahre – 1961

- Fertigstellung von Institutsgebäuden: Agriolastr. 22 (Institut für Tiefbohrtechnik und Erdölgewinnung), Bernhard-von-Cotta-Str. 1 (Mathematische Institute, Institut für Technische Mechanik), Leipziger Str. 28 (Institut für Brikettierung), Leipziger Str. 29a (Mathematik-Hörsaal)
- (1.1.) Bildung des VEB Berg- und Hüttenkombinates „Albert Funk“ Freiberg durch den Zusammenschluss von Freiburger Montanbetrieben
- (9.11.) Carl Beck gestorben, 1946–1948 Dezernent Amt für Volksbildung in Freiberg, Stadtrat, 1952/57 erster Dozent für Deutsche Sprache und Literatur an der Bergakademie, 1952/53 Leiter des neugebildeten Lehrstuhls für Deutsch

## 25 Jahre – 1986

- (18.5.) Robin Page Arnot gestorben, 1965 Ehrendoktor der Bergakademie, 1933–1945 erster Direktor der Marx Memorial Library London
- (8.8.) Karl Krejci-Graf gestorben, 1937–1939 Prof. für Brennstoffgeologie, 1953–1963 Prof. für Geologie Universität Frankfurt/Main
- (6.11.) Erich Rammner gestorben, stud. 1920/25, 1949–1966 Professor für Wärmewirtschaft, Brennstofftechnik und Brikettierung; 1949/51 mit G. Bilkenroth Entwicklung eines hüttenfähigen Braunkohlen-Hochtemperatur-Kokses
- (8.11.) Joachim Wrana gestorben, 1950/74 Professor für Elektrotechnik, 1963/65 Rektor der Bergakademie, 1981 Ehrendoktor TU Dresden

■ **Norman Pohl, Roland Volkmer**

Auszug – die vollständige Chronik findet sich unter <http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>

## Ein Hauch von Alt-Freiberg in New York Wie der „Mount Stutzer“ zu seinem Namen kam

Der 1881 in Bonn geborene Professor Karl Otto Stutzer, führend auf dem Gebiet der Brennstoffgeologie, machte sich, die Freiburger Bergakademie und Freiberg selbst durch seine Reisen, Teilnahme an Exkursionen und als Mitglied internationaler Organisationen weltweit bekannt.

1905 an der Bergakademie als Assistent am Geologischen Institut verpflichtet, 1907 zum Privatdozenten für Geologie und Lagerstättenlehre ernannt, 1908 habilitiert, 1913 zum a. o. Professor berufen, zog es ihn frühzeitig in die Welt, um wissenschaftliche Forschungen zu betreiben. Er bereiste von 1905 bis 1936 unzählige Länder, über die Reisebeschreibungen bzw. resultierende wissenschaftliche Veröffentlichungen von ihm vorliegen. Näher ins Auge fassen wollen wir hier seine dreivierteljährige Mitgliedschaft in der kanadischen geologischen Landesanstalt 1908, weil er sich in dieser Zeit an Exkursionen zum Auffinden von Kobalt-Silbererzlagerstätten beteiligte. Eine Exkursion führte ihn dabei in das kanadische Alaska, in das Gebiet des Nordenskjöld River, wo die höchste Erhebung seinen Namen erhielt: „Mount Stutzer“. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Umstände, wie der Berg bzw. die Berge zu ihren Namen kamen. Stutzer musste auf der Exkursion helfen, topographische Unterlagen herzustellen, in die die Gesteine und der geologische Aufbau des Gebiets einzuzeichnen waren. Zur Herstellung einer Karte suchte man zum Beispiel geeignete Höhen aus, auf denen man Signale einrichtete, die von anderen Höhen aus mit dem Theodoliten gemessen wurden. Stutzer beschreibt dazu die Namensgebung der Höhen wie folgt: „Zu den eigenartigsten Aufgaben der Expedition gehörte das Taufen der Berge. Die Signalberge mussten des leichteren Verständnisses wegen Namen erhalten. Hierzu wurden die Namen der Teilnehmer unserer Expedition verwendet. Die anderen Berge erhielten zufällige Bezeichnungen. So benannte man einen Hügel, der gerade abends im Schatten lag, Shadow Hill. Ein Berg, auf dem eine einzige lange Fichte stand, hieß Long Pine. Ein anderer, der viele rote Blumen hatte, erhielt den Namen Flower Hill usw.“. Seine Tagebuchaufzeichnungen der Reise in den Jahren 1935/36 nach New York und in Gebiete der USA weisen

einen Umfang von 202 Seiten auf.

Stutzer musste Ende Dezember 1935 in New York als gewählter, erstmaliger nichtamerikanischer Präsident der „Society of Economic Geologists“ die Jahreshauptversammlung leiten. Über den Vertreter der Gesellschaft in New York, Frederick Gleason Corning, der 1875–1879 in Freiberg studiert hatte (vgl. Heft 2007, S. 99f.) und dessen Haus für alle Freiburger Akademiemitglieder offen stand (1930 besuchten ihn der damalige Rektor der Bergakademie, Prof. Otto Emil Fritzsche und 1933 Prof. Friedrich Schumacher, Rektor 1933–1935) wurde das Programm für die Versammlung aufgestellt. Stutzer beabsichtigte während seines Aufenthalts in New York, drei Tage bei Corning – diesem „alten Freiburger“, wie er ihn nannte – zu bleiben. Bei ihm fühlte er sich wohl, hingen doch „vergrößerte Photographien“ von Freiberg und von seinen Reisen an der Wand. Noch erstaunter war Stutzer, als ihn Corning in sein Büro in der New Yorker Innenstadt mitnahm. Er fühlte sich dort nach Freiberg versetzt und schrieb in sein Tagebuch: „Das ganze Büro hing voller Photos, darunter viele alte Freiburger, vor allem Constudenten von ihm. Es hingen aber auch Photos von Schumacher und Fritzsche da. Von mir will er auch ein großes Photo anfertigen lassen, damit es dort aufgehängt wird.“

Auch Fritzsche schrieb 1938 in seinen „Erinnerungen an Frederick Gleason Corning“, dass Cornings „office“ die Atmosphäre Freibergs atmete und dass Urkunden an der Wand hingen, so die des Bergingenieurdiploms von 1879, der Ehrenbürgerbrief der Bergakademie aus dem Jahre 1922 und die des Ehrendoktorats der Universität Pittsburgh. Pittsburgh interessierte Stutzer auch sehr. Nach der Leitung der Jahresversammlung der Geologischen Gesellschaft in New York unternahm Stutzer, außer Exkursionen in verschiedene Kohlen- und Erdölgebiete des Landes, eine Reise nach Pittsburgh. Die Universität Pittsburgh mit der angeschlossenen Abteilung für Bergbaukunde und dem „Bureau of Mines“ war bekannt für moderne Forschungsmethoden auf allen Gebieten. Es gibt noch heute gute Beziehungen zur dortigen Universität. So können sich Freiburger Studenten dort für ein Semes-



Reproduktion: Medienzentrum TU Bergakademie Freiberg

ter Zusatzstudium einschreiben. Die hier aufgeführten interessanten Begebenheiten auf den Reisen Stutzers nach Nordamerika demonstrieren, dass Stutzer durch seine umfangreichen Tätigkeiten einen besonders intensiven Beitrag geleistet hat, den Ruf Freibergs und seiner Bergakademie in der Welt zu prägen. Er war, wie der Geologe Dozent Dr. Karl Alfons Jurasky in seinem Nachruf 1937 schrieb, einer der „bedeutendsten Professoren der Bergakademie, einer jener Männer, die die Bergakademie mit der großen, fernen Welt verknüpften.“

■ Ernst Menzel

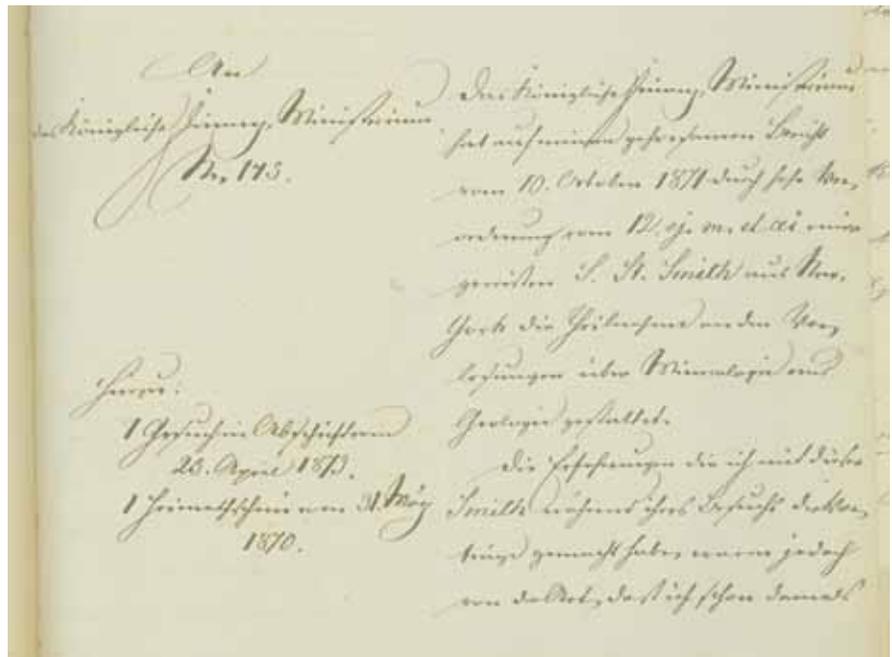
### Quellen:

- 1 Stutzer, Otto: Mein Lebenslauf, TU Bergakademie Freiberg, Universitätsbibliothek, Abt. Wissenschaftlicher Altbestand, Freiberg, o. J., S. 1–2 (Akte 214 St.)
- 2 Stutzer, Otto: Reisetagebücher – Reise nach New York und Nordamerika v. 17.12.1935 bis 30.4.1936, TU Bergakademie Freiberg, Universitätsbibliothek, Abt. Wiss. Altbestand. New York: S. 2a–2h und S. 3a–3g. Pittsburgh: S. 8e–8f und S. 9a–9d
- 3 Otto Stutzer. In: Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins. 92. Heft 2003, Teil 4, S. 56–58
- 4 Jurasky, Karl Alfons: Otto Stutzer zum Gedächtnis. In: Blätter der Bergakademie 16, 1937, S. 2–6
- 5 Künstner, Eberhard: Zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von Prof. Dr. phil. habil. Otto Stutzer. In: Neue Bergbautechnik 11/1981, Heft 12, S. 711–712
- 6 Schreiter, Rudolf: Nachruf auf Otto Stutzer. In: XVI. Bericht der Freiburger Geologischen Gesellschaft, Freiberg, Juni 1937, S. 6–9
- 7 Stutzer, Otto: Sommertage in Alaska und Yukon. In: Illustrierte Zeitschrift Globus, Braunschweig, 1909, S. 277–281, 297–300
- 8 Fritzsche, Otto: Meine Erinnerungen an Frederick Gleason Corning. In: Blätter der Bergakademie Freiberg, Nr. 17, 1938, S. 3–6

## ... diese Smith!

Er runzelte die Stirn. So etwas war nicht nur für ihn neu, so etwas hatte es in der gesamten Geschichte der Bergakademie bis dahin nicht gegeben. Noch einmal las der Direktor das vor ihm liegende Schreiben. Erst seit Ende August im Amt, hatte er schnell gemerkt, dass an einen Direktor auch ungewöhnliche, vorher nicht im Geringsten erahnte Anliegen herangetragen werden. So musste er sich um die Disziplinarbehörde und den Karzer kümmern. Dabei wollte er sich eigentlich viel wichtigeren Themen, wie der Hochschulreform, widmen. Die Anfrage, die vor Prof. Zeuner lag, datiert vom 7. Oktober 1871.<sup>1</sup> Es ging um die Genehmigung, Vorlesungen an der Bergakademie besuchen zu dürfen. An sich nichts Ungewöhnliches. Auch die angefragten Fächer – Mineralogie und Geologie – wiederholten einen bei derartigen Anfragen häufig geäußerten Wunsch. Nicht einmal, dass die Anfrage aus Amerika kam, war etwas Besonderes. Aber ... sie stammte von einer gewissen S. St. Smith. Einer Frau! Das hatte es noch nie gegeben! Wäre es da nicht vorbei mit Disziplin und sittsamem Verhalten? Wie also sollte er, Gustav Anton Zeuner, reagieren? Sollte er das Wagnis eingehen, eine Frau zuzulassen?

Zeuner, sonst ein entscheidungsfreudiger Mann, war unschlüssig. Dennoch wusste er, dass es nichts nützen würde, die Entscheidung hinauszuzögern. Schon am 10. des Monats verfasste er (nachdem Informationen über die bereits in Freiberg weilende Frau eingeholt waren: „Dieselbe ist verheiratet und hält sich nach eingezogener Erkundigung seit dem Herbst vorigen Jahres mit zwei Knaben, die die Bürgerschule besuchen, hier auf.“<sup>2</sup>) ein Schreiben an das Königliche Finanzministerium und schilderte den Sachverhalt. Und auch dieses reagierte trotz der großen Tragweite einer solchen Entscheidung schnell: bereits am 12. Oktober 1871 wurde ein Antwortschreiben verfasst. Dabei hatten Raum und Zeit damals noch eine völlig andere Dimension als heute: Nicht nur, dass es weder Internet noch iPhone gab – auch die Eisenbahn, die Freiberg mit Dresden verband, gab es noch nicht einmal ganz zehn Jahre. Dennoch: innerhalb von nur zehn Tagen sollte S. St. Smith ein Antwortschreiben erhalten; und in dieser Zeit war das Anliegen sogar zwischen der Bergakademie und dem Finanzminis-



Schreiben (Auszug) Zeuners an das Königliche Finanzministerium Dresden zum Zulassungsgesuch von Luise Hotz vom 28. April 1873

terium erörtert und beschieden worden. Am 16.10.1871 ging das Antwortschreiben des Finanzministeriums in Freiberg ein. „Das Finanzministerium genehmigt ... die Teilnahme an den Vorlesungen über Mineralogie und Geologie ... so lange gestattet werde, als dadurch nicht zu ... Störungen irgendwelcher Art Anlass gegeben wird.“<sup>3</sup> Damit war S. St. Smith die erste Gasthörerin an der Bergakademie und die erste Frau überhaupt, die hier Vorlesungen besuchte.

Wie es S. St. Smith während ihres Vorlesungsbesuchs an der Bergakademie erging, können wir nur vermuten. Die fein säuberlich und handschriftlich angefertigte, nach Fächern geordnete Zensuren-tabelle – übrigens: in gewohnter Weise überschrieben mit dem Namen des Studenten, „Herr Smith“<sup>4</sup> – enthält keine relevanten Einträge. In der tabellarischen Monats-Zensurenliste für das Lehrjahr 1871/72, beginnend mit Oktober 1871 und endend mit Juli 1872, sind lediglich für November 1871 Einträge vorhanden: Im Fach Geognosie erhielt Mrs. Smith die Fleißnote 7 (6,1 bis 8 entsprachen damals einem „gut“<sup>5</sup>). Nicht einmal die Spalten „Sittliches Verhalten“ und „Anmerkungen“ enthalten Bewertungen oder Bemerkungen. All das deutet darauf hin, dass das Kapitel „Mrs. Smith“ relativ schnell beendet gewesen sein dürfte. Zur Erleichterung Zeuners vermutlich. Und sicherlich auch zu der seiner Kollegen.

Doch sollte Zeuner nun angenommen haben, dieses Thema sei ein für allemal

erledigt, hatte er sich geirrt. Nicht einmal zwei Jahre später, am 29. April 1873, datierte der Direktor der Bergakademie erneut ein Schreiben an das königliche Finanzministerium. Aus diesem erfahren wir Folgendes: „Die Erfahrungen, die ich mit dieser Smith während ihres Besuchs ... gemacht habe, waren jedoch von der Art, dass ich schon damals die Ansicht gewann, ähnliche Anfragen in Zukunft nicht ... zu befürworten. Das Auftreten und Verhalten der Smith war im Ganzen nicht unanständig, dann und wann aber widrig.“<sup>6</sup> (Den letzten Satz strich Zeuner dann doch lieber durch.)

Zeuner schrieb diese Worte im Zusammenhang mit der erneuten Bitte einer Frau, zu Vorlesungen an der Bergakademie zugelassen zu werden. Wieder handelte es sich dabei um eine Ausländerin. Louise Hotz kam aus der Schweiz, aus Hottingen, damals noch eine selbstständige Gemeinde, heute ein Stadtteil von Zürich. Diese machte „bei ihrem Vorstellen einen ähnlichen Eindruck wie die Smith“ auf den Direktor (wie aus einer ebenfalls durchgestrichenen Bemerkung Zeuners hervorgeht). Eigentlich wollte er aufgrund „der mit der Smith gemachten Erfahrungen“<sup>7</sup> das Gesuch abweisen, hielt sich aber dazu nicht für ermächtigt und leitete es an das Finanzministerium weiter. Und dieses „genehmigt der Louise Hotz die Teilnahme an den Vorlesungen über Geologie und Theoretische Chemie an der Bergakademie zu Freiberg, ... ermächtigt aber auch zugleich die Direk-



Mary Hegeler

tion, diese Erlaubnis zurückzunehmen, sobald durch jene Teilnahme, mit oder ohne Verschulden, Anlass zu Unzuträglichkeiten oder Störungen irgendwelcher Art gegeben werden sollte.“<sup>8</sup>

Die Direktoren wechselten, die Probleme nicht. Theodor Richter war nun schon seit einem Jahrzehnt im Amt, und länger als ein weiteres würde er es noch bleiben. Nicht selten dachte er an die Jahre zurück, in denen er sich allein seinem Fachgebiet, der Lötrohrprobierkunst und Hüttenkunde, widmen konnte. 1863 hatte er gemeinsam mit seinem Kollegen Ferdinand Reich das Element Indium entdeckt. Und oftmals, wenn er den jungen ausländischen Studenten begegnete, erinnerte er sich seiner eigenen Reisen ins Ausland. Wenn er sie gar französisch parlieren hörte, kam ihm seine Reise von 1867 zur Weltausstellung nach Paris in den Sinn, zu der er einen Indiumbarren mitgenommen hatte. Fast 20 Jahre war es

nun schon her – aber er hatte die Reise noch vor Augen, als wäre sie gestern gewesen.

Am 4. Februar 1885, erreichte den Direktor Richter ein Schreiben seines Kollegen Clemens Winkler. Gern hätte er sich fachlich mit diesem begabten Mann ausgetauscht, aber es ging wieder einmal nicht um fachliche Dinge. Gedankenversunken saß Richter über dem Schreiben. Nun musste er über die Zulassung einer gewissen Mary Hegeler befinden. „... Fräulein Hegeler, ohngefähr dreiundzwanzig Jahre alt, ist eine Dame von äußerst gediegenem Character und von hervorragendem Wissen.“<sup>9</sup>, heißt es in Winklers Empfehlungsschreiben. Zuvor hatte die Tochter des Mitbesitzers der Zinkwerke von Matthiessen und Hegeler in La Salle, Illinois, bereits an der University of the State of Michigan Chemie studiert und dort den Bachelor of Science erworben. „Störungen oder Unzuträglichkeiten irgendwelcher Art würde der Eintritt einer Dame von solcher Gediegenheit in das chemische Laboratorium keinesfalls im Gefolge haben, zumal der ergebenst Unterzeichnete in der Lage wäre, der Antragstellerin ein zwar kleines, aber doch ausreichendes Separatzimmer zur Verfügung zu stellen, in welchem sie, ohne in steter Berührung mit den Studierenden zu sein, zu arbeiten vermöchte“<sup>10</sup>, schrieb Clemens Winkler am 3. Februar 1885 an den Direktor der Bergakademie.

Noch immer teilte Richter die Bedenken, die schon sein Amtsvorgänger Zeuner hinsichtlich der Smith geäußert hatte, und er war damit nicht allein. Viel lieber würde er sich jetzt seiner Wissenschaft widmen als diesen undankbaren Papierkram erledigen. Wie gern

würde er selbst das tun, was die Hegeler beehrte: im chemischen Laboratorium arbeiten ... Die Entscheidung fiel zugunsten der Mary Hegeler aus. Sie wurde zum Studium an der Bergakademie zugelassen. Mary Hegeler studierte hier von April 1885 bis Ostern 1886. Und vierzehn Jahre nach der ersten Hospitantin, S. St. Smith, wurde nun die erste Frau – ebenfalls eine Amerikanerin – in Freiberg immatrikuliert. Doch nicht nur der Fakt, dass sie jetzt nicht mehr die erste Frau war, die hier Vorlesungen besuchen wollte, hatte ihr die Aufnahme an die Bergakademie erleichtert – wichtiger war wohl ihre Verwandtschaft mit Weisbach und Winkler. Letzterer hatte ja auch das schon erwähnte Empfehlungsschreiben an den Direktor gerichtet.

Fast in allen Fächern erreichte Mary Hegeler die Höchstnote „10“ in Fleiß; die jeweilige Spalte „Fortschritte“ enthält jedoch nirgends einen Eintrag.<sup>11</sup>

Im Jahr 2010 trat mit Frau Prof. Silvia Rogler erstmals an der TU Bergakademie Freiberg eine Frau das Dekansamt an. Sie ist eine von vier Professorinnen der Universität. S. Smith, Louise Hotz und Mary Hegeler würden sich wundern, wenn sie heute hier studieren könnten: Sie würden dem Drittel an weiblichen Studierenden angehören.

■ Birgit Seidel

**Quellen:**

- 1 UAF, OBA 234, Bl. 151
- 2 UAF, OBA 234, Bl. 152
- 3 UAF, OBA 234, Bl. 157
- 4 UAF, BAI 123
- 5 UAF, BAI 123
- 6 UAF, OBA 9980, Bd. 56, Bl. 153-154
- 7 UAF, OBA 9980, Bd. 56, Bl. 153-154
- 8 UAF, OBA 9980, Bd. 56, Bl. 159
- 9 UAF, OBA 9980, Bd. 67, Bl. 161-162
- 10 UAF, OBA 9980, Bd. 67, Bl. 161-162
- 11 UAF, MATR 3378

## Zum 175. Todestag von Friedrich Gottlieb von Busse

Professor Friedrich Gottlieb von Busse wurde am 3. April 1756 in Gardelegen in der Altmark als Sohn des Superintendenten Thomas Christian Busse geboren. Nach dem Abschluss eines Theologiestudiums 1778 wandte er sich dem Erziehungsfach Mathematik und Physik zu. Bereits im April 1779 war er Professor und Direktionsmitglied am Philanthropinum in Dessau. Als mathematischer Schriftsteller war er zwischenzeitlich bekannt geworden. Der Ruf an die kurfürstlich sächsische Bergakademie zu Freiberg erging im Dezember 1801. Ihm wurden die Funktionen von Prof. Lempe übertragen. Der Titel eines Bergkommissionsrates wurde ihm verliehen. Anfangs las er nur über das Gebiet Mathematik, später hielt er auch Vorlesungen über Angewandte Mathematik, Bergmaschinenlehre, Physik und ab 1803 über Höhere Mathematik. Zugleich war er bergakademischer Bibliothekar. 1816 gab er die Vorlesungen

über Reine und Angewandte Mathematik an Prof. Hecht und 1817 die Bibliotheksgeschäfte an Köhler ab.

Von Busse hat eine große Anzahl von Aufsätzen in Gilberts Annalen und anderen Zeitschriften veröffentlicht, ein Rechenbuch verfasst und Werke über Gegenstände der Mathematik, Physik, Mechanik, des Münzwesens, über die Höllsche Wassersäulenmaschine geschrieben. Ehrungen belohnten seine Lehrtätigkeit: 1811 war er durch den König von Sachsen in den Adelsstand erhoben worden: eine Reihe von wissenschaftlichen Gesellschaften ernannte ihn zum Mitglied; die Universität Halle verlieh ihm 1808 die Ehrendoktorwürde der Philosophie, die Universität Wilna ernannte ihn 1825 zum Ehrenprofessor.

1826 trat Professor Friedrich Gottlieb von Busse in den Ruhestand. Er ist am 4. Februar 1835 in Freiberg gestorben.

■ Gerd Grabow

# Sächsisches Bergmannsliedgut

Der Bergbau brachte im Laufe der Jahrhunderte eine eigenständige Musikkultur hervor. In ihr äußern sich Berufsstolz, Heimatliebe, Naturverbundenheit, Lebensfreude und Frömmigkeit. Sachsen, und hier besonders das Erzgebirge, war Ausgangspunkt dieser speziellen Musikentwicklung. Die ersten Zeugnisse finden wir im Liedgut.

Wir verdanken die Kenntnis vieler bergmännischer Ständeslieder den gedruckten „Bergreihen“ vom Anfang des 16. Jahrhunderts. War zu Beginn der Begriff „Bergreihen“ noch Sammelbezeichnung für Liedgut aller Art, so bezog er sich im Laufe der Zeit mehr und mehr auf Liedgut aus dem bergmännischen Lebensbereich. Bergleute, Steiger, Schichtmeister, Berghauptleute, Pfarrer und Kantoren waren es mit Beginn des 17. Jahrhunderts, die durch ihre Berglieder zum Ausdruck brachten, was die Knappschaft bewegte. Neben diesen Zeugnissen stammt aus dieser Zeit auch der erste schriftliche Nachweis des „Steigerliedes“, des wohl bekanntesten Bergmannsliedes, das heute auch gern als „Bergmannshymne“ bezeichnet wird. Christian Meltzer berichtet in seiner Schneeberger Chronik *Historia Schneebergensis renovata* (1716) über Programm und Verlauf einer Bergparade, mit der dem Kurfürsten Johann Georg II. am 5. August 1678 gehuldigt wurde. Wird hier das Steigerlied nur als Liedtitel erwähnt, ist es im Freiburger Bergliederbüchlein (um 1700) erstmalig in einer vollständigen Textfassung aufgeführt. Der Liedanfang hat sich im Laufe der Jahrhunderte mehrfach geändert. Erstmals erschien die Grußformel „Glückauf“ bei Moritz Döring (1839).

Das Steigerlied hat im Laufe der Zeit viele Umdichtungen erfahren, aber seine Grundkonzeption blieb dabei immer erhalten. Es wurde zu einem echten Volkslied. Anfang des 19. Jahrhunderts sollte die Musik mithelfen, dem Bergmannstand neuen Glanz und neue Würde zu verleihen. Als Mittelpunkt dieser Bestrebungen ist der Freiburger Oberberghauptmann Siegmund August Wolfgang Freiherr von Herder zu nennen. Von Herder hat den Bergbau nicht nur wirtschaftlich und technisch gefördert, sondern war auch immer darauf bedacht, die Berufskultur weiterzuentwickeln. Ihm



Umgangssingen im Advent 1936 am „Gesellschafter Pochwerk“ Neustädtel. Foto: Privatsammlung Klaus Wilisch

ist es zu danken, dass das bergmännische Liedgut der einzelnen sächsischen Bergreviere gesammelt und neues Singgut geschaffen wurde. So initiierte er die Kantate „Der Bergmannsgruß“, die vom Konrektor des Freiburger Gymnasiums, Moritz Döring, getextet und vom Freiburger Stadtkantor August Ferdinand Anacker komponiert wurde. Moritz Döring (1798–1856) gelang es, das eingereichte Liedgut zu sortieren und zu bündeln und mit Hinzugabe neu entstandener Lieder 1839 und 1840 seine „Sächsischen Bergreihen“ im „Verlags-Comptoir“ Grimma zu veröffentlichen. Dieses Werk sollte bis zum heutigen Tage Hauptquell der zahlreich entstandenen Berg- und Männerchöre werden.

Prof. Bruno Dost (1849–1916), Seminaroberlehrer, 1. Liedermeister des Obererzgebirgischen Gausängerbundes und Kantor an St. Wolfgang in Schneeberg, bereicherte Dörings Bergreihen 1885 durch die Herausgabe seiner „Erzgebirgischen Berglieder“, die Berglieder teils in erzgebirgischer Mundart – alles im vierstimmigen Männerchorsatz – enthalten. Die drei Hefte seiner Berglieder widmete er dem „Glückauf - Verein“ Schneeberg, den er 1884 mitgründete und dessen Bergchor heute noch besteht.

In vielen Veranstaltungen dieses Chores, dessen Mitglied ich seit ca. vierzig Jahren bin, konnten wir immer wieder das rege Interesse am Bergmannslied und seiner Geschichte erfahren. Dies waren neben den traditionellen Veranstaltungen, wie Mettenfeiern über- und untertage, Glückauf-Abende, Teilnahme am Bergstreittag und an Berggottes-

diensten, Organisation und Durchführung des seit dem 17. Jahrhundert jährlich durchgeführten „Schneeberger Turmsingens“ auch bergmännische Großveranstaltungen, wie der 8. Deutsche Bergmannstag 1996 in Schneeberg, zehn Bergmännische Musiktage in Schneeberg und Schwarzenberg, beide mit internationaler Beteiligung, und die Sächsischen Bergmanns-, Hütten- und Knappentage. Als erfreulich und lobenswert für alle aktiven „Hüter des sächsischen Bergmannsliedes“ muss hier noch die seit 2000 erfolgte Herausgabe der Berglieder („Tradition des Bergbaus“; „Geselligkeit“ und „Brauchtum in der Advents- und Weihnachtszeit“) durch den „Verein Sächsische Bergmannslieder e.V.“ erwähnt werden. Die Auswahl der Lieder, die fachlich hervorragenden Erläuterungen und die Gestaltung der Hefte durch die Redaktionsmitglieder Dr. Wolfgang Dallmann, Steffen Döhler, Lutz Eßbach, Hermann Fleischer und Andreas Schwinger ist ganz im Herderschen Sinne gelungen und nicht nur für Fachleute empfehlenswert.

Dr. Gerhardt Heilfurth schreibt in seinem Buch „Das erzgebirgische Bergmannslied“ schlussfolgernd: „Nicht nur für das geistliche, sondern für das Bergliedgut insgesamt gilt, dass das Erzgebirge hinsichtlich Schöpfung und Bestand Ausgangs- und Mittelpunkt war, hinter dem alle anderen deutschen Bergbaulandschaften einschließlich derjenigen des alten Österreichs zurücktraten.“ Dem braucht eigentlich nichts hinzugefügt zu werden.

■ Wilfried Heibel

## Stollenbacken in einer sächsischen Kleinstadt Erika Krüger

Wenn die Sonne des ersten Advents zur Rüste gegangen war und Trine die brennende Petroleumlampe auf den Familientisch gestellt hatte, da entnahm unsere Mutter ihrem Sekretär ein dünnes Büchlein, auf dessen Seiten allerlei gute Dinge standen, daneben lange Reihen von Ziffern. Wir wussten, was das zu bedeuten hatte. Es galt, den Feldzugsplan für das bevorstehende Stollenbacken auf Grund der vieljährigen Aufzeichnungen zu entwerfen und die Kosten mit der vom Vater bewilligten Geldsumme in Einklang zu bringen – eine schwierige Aufgabe! Drei oder vier Stollen mehr als das vorige Mal mussten's schon sein. Aber das Schlimmste – die Preise waren so erschrecklich gestiegen ... Es blieb nichts übrig, als die Zahl der erstsortigen Mandelstollen auf drei zu beschränken, je eine für die beiden Tanten in der Hauptstadt, die dritte für den Damenkaffee im Januar – und dann ließ sich schließlich den vier üblichen Stollensorten eine fünfte anreihen – recht locker und auch ein paar Rosinen darin! Den Kindern wird's schon schmecken! Nach solchen Erwägungen begann das eigentliche Rechenwerk, und da war ich nicht wenig stolz, helfen zu dürfen ...

An einem der nächsten Tage hielt dann die Mutter wichtige Vorbesprechungen mit Bäckermeister Erler. Dieser wohnte zwar „nur“ in der Unterstadt, aber wegen seiner guten Dreierbrötchen und Zwiebäcke hatte er so ziemlich sämtliche Honoratioren des Städtchens zur Kundschaft, und beim Stollenbacken – nein, da war ihm noch nie etwas missglückt, da war er berühmt! Mehr aber als die Meisterschaft war an dem mehlstaubigen Künstler das feine Gefühl zu bewundern, das ihn leitete, wo es galt, nur die zueinander passenden Familien zu gemeinsamem Backtag zu vereinigen. Die Frau Rechtsanwältin konnte unmöglich wieder mit Frau Amtmann backen, denn auf der letzten „Harmonie“ hatten sich die beiden entzweit, als des Anwalts Töchterchen der Frau Amtmann auf die Schleppe getreten und von dieser, wenn auch nur leise – die Umstehenden hatten es aber doch gehört – mit dem Kosenamen „dumme Gans“ belehnt worden war. Ebenso wenig passten die Frau Rektorin und die Kantorn zu einander. Jene hatte es mit angeborenem Taktgefühl – denn sie wollte jedem Ärgernis vorbeugen – Meister Erler neulich selbst mitgeteilt: „Auf dem letzten Damenkaffee bei Bürgermeisters – der gute Pflaumenkuchen war doch von Ihnen? – kommt die Kantorn aufgeputzt wie'n Pfauhahn hereingerauscht mit drei Falbeln am Kleid, wo sie doch genau weiß, dass ich, ihre Vorgesetzte, an meinem guten Blauseidenen nur zwei Volants habe. Sowas schickt sich einfach nicht! Die mag nur an 'nem andern Tag ihren Kram machen. Ich glaube, die ist imstande und wirft noch extra e Näpfchen Butter vor meinen Augen in ihren Teig, nur um mich zu ärgern, die aufgeblasene Person!“ Und die Frau Stadtrat, die konnte weder mit Frau Superintendentin, noch mit Frau Apothekerin backen ...

War nun nach langem Hin und Her der Tag festgesetzt, der fünf oder sechs Familien zu harmonischer Arbeit vereinigen sollte, so füllte sich der Mutter Speisekammer mit einer Menge verschiedenartiger und verschiedenfarbiger Tüten und Pakete, die all die kostbaren Zutaten fürs Backen enthielten. Am Vortage des großen Ereignisses aber, wie sah es da in der Küche aus! Hier lagen Haufen großer oder kleiner Rosinen, teils gelesen und gewaschen, teils noch in ihrem natürlichen Schmutz. Dort ward Zucker abgewogen, daneben im Messingmörser Vanille gestoßen. Eins von uns Kindern befreite die gebrühten Mandeln von ihrer braunen Hülle. Wie lustig, wenn sie den Fingern ent-

schlüpfen und in der Küche herumsprangen, wie die Kirschkkerne in der Schule nach Pfingsten. Ein anderes zerteilte die Mandeln mit Hilfe des Wiegemessers in ihre Atome, ein drittes hantierte mit dem Haarsieb, während Trine mit voller Kraft die Schale der Zitrone im Zucker abrieb. Mit Tellern, Schüsseln, Papieren, auf denen sich die Früchte unserer Arbeit häuften, war jeder Winkel besetzt, die Herdplatte, die Küchenbank, der Stuhl, der Boden, der Gossendeckel – ein wildes Chaos! Nur neben dem Ofen der hölzerne Backtrog, in dem das Mehl vorgewärmt wurde, blieb unberührt in beschaulicher Ruhe. Über dem Ganzen das Auge der Mutter, die jedem seinen Platz anwies. Wenn sie die Messingwaage in der erhobenen Hand hielt, kam sie mir wie die Justitia vor, droben vorm Rathaus am Marktplatz. Am Schluss unserer Tätigkeit schnitzten wir Knaben Holzspänchen, die wir an einem Ende zuspitzten. Wir schrieben den Anfangsbuchstaben unseres Familiennamens, zugleich eine der ersten fünf Ziffern darauf: Es sollten diese Spänchen, vor dem Backen in die Stollen gesteckt, den rechtmäßigen Besitzer ausweisen, auch die Qualität ihres Trägers bezeichnen, ähnlich wie die Zensurgrade, mit denen der Lehrer unsere Sitten und Fertigkeiten bedachte.

Der große Tag begann frühzeitig. Schon in der Nacht, gegen 3 Uhr, heizte Trine den Küchenofen an. Der Bäckergeselle, der das Hefestück machen sollte, pochte ja schon um 4 Uhr an unsere Haustür. Einen ganzen Sack Dreierbrötchen brachte er mit, denn überall, wo er zu tun hatte, bei Postdirektors, Amtmanns, Bürgermeisters, Apothekers, Doktors musste er, wie bei uns, Kaffee trinken, wobei er jedesmal zwei oder drei seiner Dreierbrötchen verzehrte. War der Teig gegangen, so erschien gegen 9 Uhr der Lehrjunge und holte ihn samt all den süßen Zutaten mittels Wagen oder Schlitten ab. Eine Stunde später begab sich auch die Mutter zum Bäcker, und nach und nach stellten sich die anderen „Bäckschwestern“ ein, weniger um zu helfen, als vielmehr darüber zu wachen, dass nicht etwa ein Stückchen Butter oder ein Teil der Rosinen vergessen ward, vielleicht auch in einen fremden Teig wanderte. Erst wenn die Meisterin die große Kaffeekanne brachte und ganze Berge frischgebackenen Kuchens, womit sie ihre Gäste bewirtete, löste sich die Aufmerksamkeit, und man gab sich vergnüglicher Unterhaltung hin. Nachmittags drei Uhr kehrte die Mutter, mit Kuchenpaketen beladen, zurück. Altem Herkommen nach gab es zum verspäteten Mittagessen nichts anderes als Biersuppe mit Zucker und Zimt und Kartoffelkuchen mit Zucker und Zimt. Unter Jubel führten wir Jungen dann die duftenden Stollen auf unseren Schlitten heim, und voll Stolz sah die Hausfrau, wie die Regale in der Speisekammer sich füllten. Am Heiligen Abend wurde der erste Stollen probiert, nie früher! Auch an den Weihnachtstagen erschien das herrliche Gebäck auf dem Frühstückstisch; im ganzen Städtchen hätte man ja kein Weißbrot auffinden können. Die Bäcker wollten auch einmal ruhen nach schwerer Arbeit. Später gabs nur noch nachmittags Stollen. O, wie gut schmeckte da selbst Nummer fünf! Jede Hausfrau setzte ihren Stolz darin, noch Monate nach dem Fest ihren Gästen ein Stückchen anbieten zu können. Und wenn der Frühlingsmond sein Licht nicht allzu spät nach dem 21. März über die Erde goss, war es möglich, dass der letzte Rest des Weihnachtsstollens noch den Osterkuchen begrüßte. Mit Wehmut erinnert man sich der früheren Zeiten, die unseren Kindern wie ein Märchen erscheinen werden, mit Dankbarkeit, dass man sie einstmals erlebt hat.

## Hochschulrat der TU Bergakademie tritt erstmals zusammen

An der TU Bergakademie Freiberg trat am Montag, dem 8. Februar, erstmals der neue Hochschulrat zu einer konstituierenden Sitzung zusammen. Die Freiburger Universität war damit die erste sächsische Universität, an der sich dieses Gremium gründete. Auf ihrer Sitzung wählten die Mitglieder des Hochschulrats einstimmig Prof. Reinhard Schmidt, Präsident des Sächsischen Oberbergamts, zu ihrem Vorsitzenden. Prof. Schmidt stand bereits seit 1993 dem Kuratorium der TU Bergakademie Freiberg vor, einem Vorgängergremium des Hochschulrats. Weitere ehrenamtliche Mitglieder:

- Dipl.-Ing. Mario Behrendt, Vorstandsvorsitzender/CEO Deutsche Solar AG,
- Dr. Claudia Dommaschk, Gießerei-Institut der TU Bergakademie Freiberg,
- Prof. Ulrich Groß, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg,
- Prof. Dr. Klaus-Ewald Holst, ehemaliger Vorstandsvorsitzender VNG – Verbundnetz Gas Aktiengesellschaft,
- Prof. Hans-Joachim Kümpel, Präsident Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
- Brunhild Kurth, Direktorin Sächsische Bildungsagentur,
- Prof. Dr. Burkhard Schwenker, Chief Executive Officer (CEO) von Roland Berger Strategy Consultants GmbH,
- Wolfgang Vietze, Fernsehdirektor Mitteldeutscher Rundfunk.

Das neue sächsische Hochschulgesetz, das am 1. Januar 2009 in Kraft trat, schreibt vor, dass sich an jeder Hochschule in Sachsen ein Hochschulrat konstituieren muss. Über dessen Mitglieder entscheiden das SMWK und die Hochschule. Zu seinen Aufgaben gehört unter anderem, einen Vorschlag für die Wahl des Rektors zu erstellen sowie Grundsätze für Stellen-, Mittel- und Rücklagenverwendung zu formulieren. Der Hochschulrat der TU Bergakademie kommt künftig zweimal pro Semester zusammen.

■ Christian Möls



Von links: Hans-Joachim Kümpel, Ulrich Groß, Brunhild Kurth, Reinhard Schmidt, Werner Holst, Burkhard Schwenker, Claudia Dommaschk, Wolfgang Vietze. Foto: Detlev Müller

## Prof. Bernd Meyer als Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg wiedergewählt

„An das Ganze denken“ – Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer ist am 12. Mai 2010 als Rektor der TU Bergakademie Freiberg in seinem Amt bestätigt worden.

Prof. Meyer setzte sich im zweiten Wahlgang bei 21 ungültigen Stimmen mit 50 zu 18 Stimmen gegen den zweiten Kandidaten Prof. Wladimir Reschetilowski (TU Dresden) durch. In seiner Rede vor dem Senat hatte Prof. Meyer zuvor die Herausforderungen, vor denen die TU Bergakademie in den nächsten Jahren stehen wird, skizziert. „Aufgrund von Haushaltsengpässen steht uns ein mehrstufiger Personalabbau bevor,“ kündigte Meyer an und führte gleichzeitig aus, wie die bisherigen Erfolge der Universität auf dem erreichten exzellenten Niveau gehalten werden können. Es gelte dabei, anstehende finanzielle Kürzungen

mit Augenmaß und im engen Kontakt mit den Dekanen der Fakultäten durchzuführen. Einschränkungen des Studienangebots oder gar Einsparungen von Studiengängen oder Instituten stünden jedoch mitnichten zur Debatte: „Bereiche werden nicht geschlossen,“ versprach Meyer. Er ist der 40. Rektor der Freiburger Universität seit Einführung des Wahlrektors von 1899.

Bernd Meyer wurde 1952 in Annaberg in Sachsen geboren. Er studierte von 1970 bis 1973 an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg sowie an der TU Bergakademie Freiberg Verfahrenstechnik. Nach der Promotion am Freiburger Institut für Brennstofftechnik 1978 arbeitete er am Brennstoffinstitut im Bereich Forschung und Entwicklung von Brennstofftechnologien. 1989



Foto: Eckardt Mildner

wechselte er als leitender Wissenschaftler zur Rheinbraun AG nach Köln. Ein Ruf auf die Professur für Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung führte ihn 1994 wieder an die TU Bergakademie Freiberg. Prof. Bernd Meyer ist unter anderem Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, des Beratungsgremiums für CO<sub>2</sub>-arme fossile Energietechnologien des Bundeswirtschaftsministeriums COORETEC und des Energiebeirats des Sächsischen Wirtschaftsministers. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder.



Stephan Dempe



Wolfgang Voigt



Jörg Matschullat



Alfons Ams



Piotr R. Scheller



Sylvia Rogler

## Fakultäten mit neuen Dekanen

Die Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg haben über ihre Leitung entschieden. Dabei gab es nach den Dekanatswahlen in allen Fakultäten einen Wechsel an der Spitze. Erstmals wurde mit Prof. Silvia Rogler von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften eine Professorin in dieses Amt gewählt.

Neuer Dekan der Fakultät 1 (Mathematik und Informatik) ist Stephan Dempe, Professor am Institut für Numerische Mathematik und Optimierung. Der Fakultät 2 (Chemie und Physik) steht

Prof. Wolfgang Voigt vom Institut für Anorganische Chemie vor. An der Fakultät 3 (Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau) ist Prof. Jörg Matschullat zum neuen Dekan bestimmt worden. Der Professor für Geochemie und Geoökologie am Institut für Mineralogie ist zudem Geschäftsführender Direktor des Interdisziplinären Ökologischen Zentrums. Die Fakultät 4 (Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik) entschied sich für Prof. Alfons Ams, Professor für Technische

Mechanik/Dynamik und Direktor des Instituts für Mechanik und Fluidodynamik.

An die Spitze der Fakultät 5 (Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie) tritt Piotr R. Scheller. Der Professor für Technologie der Eisen- und Stahlerzeugung ist Direktor des Instituts für Eisen- und Stahltechnologie. Die große Mehrzahl der Stimmen erhielt als Dekanin in der Fakultät 6 (Wirtschaftswissenschaften) Prof. Silvia Rogler, Inhaberin der Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Die Dekane sind für drei Jahre gewählt. ■ Christel-Maria Höppner

## Neue Prorektoren gewählt

Das neue Rektorat der TU Bergakademie Freiberg ist komplett. Ab dem 14. Juli 2010 stehen Prof. Dirk Meyer (Fakultät Chemie und Physik) als Prorektor Bildung und Prof. Michael Stelter (Fakultät Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie) als Prorektor Forschung. Rektor Prof. Bernd Meyer zur Seite. Der Senat wählte am 13. Juli die beiden vom Rektor vorgeschlagenen Kandidaten im ersten Wahlgang.

Dirk Meyer wurde am 15. Januar 1966 in Dresden geboren. Nach seinem Studium an der TU Dresden konzentrierte er sich auf Arbeiten auf dem Gebiet der Festkörperphysik neuer Materialien. Dabei war er an internationalen Großforschungseinrichtungen, wie dem „Deutschen Elektronen-Synchrotron“ in Hamburg, tätig. Im Jahr 2004 erhielt er für seine Arbeiten mit Röntgenanalysenmethoden den angesehenen „Max-von-Laue Preis“. An der TU Dresden hatte Dirk Meyer von 2004 bis 2009 eine „Juniorprofessur für Nanostrukturphysik“ inne. Am 1. Oktober 2009 folgte er dem Ruf der TU Bergakademie als „Professor für Experimentelle Physik: Verbindungshalbleiter und Spektroskopie“. Seine wissenschaftliche Arbeit zielt auf die Entwicklung von Materialien, etwa für neue elektronische Bauelemente mit besonderen Eigenschaften. Der weitere Ausbau bereits bestehender Kooperationsbeziehungen mit der Freiburger Halbleiterindustrie ist ihm dabei ein besonderes Anliegen. Dirk Meyer kann auf über 100 Publikationen in internationalen referierten Fachzeitschriften sowie zahlreiche Patente verweisen. Für die Deutsche Gesellschaft für Kristallographie ist er Redakteur und Herausgeber der Mitgliederzeitschrift. Dirk Meyer ist verheiratet und hat eine Tochter.

Michael Stelter wurde am 6. August 1956 in Darmstadt geboren. Nach zweijähriger Wehrdienstzeit studierte er von 1977 bis 1983 Chemie an der TU Darmstadt. Nach dem Diplom als Chemiker blieb er dort als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Anorganische Chemie. Nach seiner Promotion 1987 im Bereich Anorganische Festkörperchemie war er bis 1993 als



Mit der Prorektorenwahl ist die neue Leitung komplett: Kanzler Dr. Andreas Handschuh, Prof. Dirk Meyer, Prof. Michael Stelter, Prof. Bernd Meyer. Foto: D. Müller

Versuchsleiter und später als stellvertretender Oberingenieur des Bereichs F&E bei der Norddeutschen Affinerie AG tätig. 1992 bis 1994 verantwortete er technische Fragen im Board of Directors der Transvaal Alloys Pty., Süd-Afrika. 1994 wechselte er zur GOEMA GmbH in Vaihingen/Enz, wo er sich als Leiter der F&E-Abteilung schwerpunktmäßig mit Fragen der Stoffkreislaufschließung in der Galvanotechnik und Hydrometallurgie beschäftigte, speziell mit modernen Membranverfahren. Von 1996 an war er als Technischer Leiter der RPE GmbH, Freiburg/Breisgau, im Bereich des Anlagenbaus und der Entwicklung für Umweltschutz- und Recyclingtechnik tätig. 1997 erhielt er den Ruf an das Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe der TU Bergakademie Freiberg. Er hat dort seither als Direktor dieses Instituts den Lehrstuhl für „Technologie der Nichteisenmetalle und Werkstoffrecycling“ inne. In den Jahren 2000 bis 2003 arbeitete er im Rektorat Unland als Prorektor für Bildung und Strukturentwicklung. Seit 2006 ist Michael Stelter Vize-Präsident der Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik (GDMB). Im Rahmen seiner Gutachter Tätigkeit war er seit 1995 als Fachgutachter für das BMBF, verschiedene Landesbehörden in Deutschland sowie international im Bereich der Forschungsförderung tätig. Prof. Michael Stelter ist verheiratet und hat eine Tochter. ■ Christel-Maria Höppner

# TU Bergakademie ehrt Dietrich von Dobeneck

Dietrich Freiherr von Dobeneck erhielt am Montag, dem 26. April 2010, die Ehrendoktorwürde der TU Bergakademie Freiberg. Die Freiburger Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie würdigte mit der Auszeichnung das wissenschaftliche Lebenswerk des Physikers und seine nationalen und internationalen Verdienste auf dem Gebiet der Elektronenstrahl-Technologien (EB) sowie seine Förderung und Unterstützung von Wissenschaftlern und Studenten der TU Bergakademie Freiberg.

„Es ist Freiherrn von Dobeneck gelungen, die Begeisterung, die er für sein Fachgebiet ausstrahlt, insbesondere auch auf Wissenschaftler und Studenten der TU Bergakademie Freiberg zu übertragen“, hob Piotr Scheller, Dekan der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, hervor. Dank



Dietrich Freiherr von Dobeneck während seiner Festansprache. Foto: Lutz Weidler

der großzügigen Anschubfinanzierung durch die Dobeneck-Technologie-Stiftung verfügt die Freiburger Universität seit Januar 2009 über die weltweit modernste Elektronenstrahl-Universalanlage für thermische Elektronenstrahl-Technologien. Mehrere Forschungsthemen auf diesem Gebiet – sowohl am Institut für

Werkstofftechnik, aber auch am Gießerei-Institut und am Institut für Eisen- und Stahltechnologie – werden durch die Dobeneck-Technologie-Stiftung unterstützt. Zusätzlich ermöglichte sie jungen Wissenschaftlern die Teilnahme an kostenintensiven Tagungen im Ausland.

Am 11. März 1938 in Hannover geboren, studierte Dietrich Freiherr von Dobeneck Physik bei Prof. Krempel am Lehrstuhl für Plasmaphysik der Technischen Universität München. Unter Leitung des erfolgreichen Physikers Dr. h. c. Karl-Heinz Steigerwald widmete er sich den Grundlagen der Elektronenstrahl-Technologien, deren technisch-technologischer Applikation sowie der Weiterentwicklung der Strahltechnik und deren kommerzieller Umsetzung. 1974 gründete er mit einem Mitarbeiter die Firma pro-beam (heute rund 300 Beschäftigte an acht inländischen und zwei ausländischen Standorten). Zahlreiche Veröffentlichungen und Patente weisen Freiherrn von Dobeneck als international anerkannten Experten auf dem Fachgebiet aus.

■ Christel-Maria Höppner

# Ehrendoktorwürde für Gennadij Pivnjak, Universität Dnepropetrovsk

Die Würde eines Ehrendoktors verlieh die TU Bergakademie am 25. März 2010 dem Rektor der Nationalen Bergbau-Universität Dnepropetrovsk (NGU), Prof. Gennadij Pivnjak.

In einer akademischen Festveranstaltung würdigte die Freiburger Universität damit seine besonderen Verdienste um die langjährige und intensive Zusammenarbeit beider Bildungsstätten in Lehre und Forschung. Die Laudatio für Prof. Gennadij Pivnjak, der seit 27 Jahren Rektor der NGU ist, hielt Prof. Thomas Bier von der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik.

Prof. Pivnjak gehört zu den Wissenschaftlern, die seit Jahren den Berg- und Hüttenmännischen Tag, das jährliche Forschungsforum der TU Bergakademie, mit interessanten Beiträgen bereichern. In seiner Forschung beschäftigt sich der ukrainische Wissenschaftler mit Lösungen für energetische Probleme sowie mit geotechnologischen Systemen. Zu seiner erfolgreichen wissenschaftlichen Arbeit gehören zwei von ihm entwickelte energie- und ingenieurtechnologische Verfahren, die in Prozessen des Bergbaus und Hüttenwesens Anwendung finden.



Gennadij Pivnjak. Foto: Torsten Mayer

Prof. Pivnjak ist Begründer einer wissenschaftlichen Schule „Elektrotechnik im Bergbau und Hüttenwesen“ in der Ukraine. Seine Forschungen stellen wichtige Grundlagen für die energietechnische Strategie der Ukraine und die Entwicklung der Bergbauindustrie bis 2013 dar.

Die Nationale Bergbau-Universität in Dnepropetrovsk gehört zu den drei führenden Technischen Hochschulen der Ukraine. Die Verbindungen beider Partner-Universitäten reichen weit zurück – bis ins Gründungsjahr der NGU 1899. Besonders in den letzten zehn Jahren hat sich die Kooperation ständig weiter entwickelt und vertieft. Nach dem Doppeldiplom-Programm unterzeichneten beide Universitäten 2006 eine Vereinbarung zur Doppelpromotion. Die NGU Dnepropetrovsk zählt zu den fünf europäischen Universitäten, die 2007 in Freiberg die „International University of Resources“ als Netzwerk zur Ressourcenforschung gründeten. Vor der Ehrung unterzeichneten Prof. Gennadij Pivnjak und Prof. Carsten Drebenstedt, Direktor des Instituts für Bergbau und Spezialtiefbau, eine Vereinbarung über gemeinsame Forschung auf geowissenschaftlichem Gebiet.

Gennadij Pivnjak wurde 1940 in Alexandrija, Gebiet Kirowgrad (Ukraine), geboren. Er studierte Elektrotechnik im Bergbau an der NGU Dnepropetrovsk. Seit 1982 ist er Rektor der Bergbau-Universität.

■ Christel-Maria Höppner

## Ehrenbürgerwürde für Manfred Goedecke



Foto: Eckardt Mildner

Dr.-Ing. habil. Manfred Goedecke wurde am 25. November 2009 neuer Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg. Der Geschäftsführer Industrie/Außenwirtschaft der Industrie- und Handelskammer Südwestsachsen (IHK) in Chemnitz (seit 1990) nahm die Auszeichnung aus den Händen von Rektor Prof. Bernd Meyer und Anton Sroka, Dekan der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, entgegen.

Er erhält die Ehrung für sein Wirken zur Stärkung des Forschungsstandorts Freibergs, insbesondere für seine Unterstützung von Initiativen und Projekten der TU Bergakademie zur Verbindung von Wirtschaft und Wissenschaft sowie beim Ausbau der Kapazitäten der Ressourcenuniversität Freiberg.

Manfred Goedecke hat seine Wurzeln an der Bergakademie, der er bis heute eng verbunden ist. Vor allem in Geofragen tritt er engagiert dafür ein, Bürgern und der jungen Generation Rohstoffbewusstseins zu vermitteln. Als Mitglied des Innovationsbeirates der sächsischen Landesregierung setzt er Akzente bei der stärkeren Berücksichtigung rohstoffrelevanter Fragen in der Wirtschaftsentwicklung und der Ansiedlung eines Großforschungszentrums „Ressourcen“ in Freiberg. Ehrenamtlich arbeitet er im Geokompetenzzentrum Freiberg (GKZ) eng mit der TU Bergakademie und den dort vertretenen regionalen Partnern zusammen. So untersucht auf Initiative des GKZ das Land Sachsen beispielhaft seine Rohstoffpotenziale.

■ Christel-Maria Höppner

# Prof. Dr. Hans Jürgen Rösler

Am 14. Mai dieses Jahres wäre Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Hans Jürgen Rösler 90 Jahre alt geworden. In den Monaten nach seinem Tod am 12. Januar 2009 ist seiner herausragenden Persönlichkeit vielfach gedacht worden. Seine Leistungen und erfahrenen Ehrungen ergeben selbst in zusammengefasster Form eine eindrucksvolle Liste: In 26 Jahren als Hochschullehrer an der Bergakademie Freiberg führte er, obwohl knapp die Hälfte davon ohne „seine“ Fachrichtung Mineralogie, mehr als 120 Studenten zum Diplom, betreute 77 Promotionen und 16 Habilitationen. Von 1963 bis zur 3. Hochschulreform 1968 Direktor des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre, führte er das Haus in der Brennhausgasse 14 zu hohem nationalen und internationalen Ansehen. Auch die Verfasser erinnern sich besonders dieser Zeit als der „goldenen Jahre der Mineralogie“ in Freiberg. Die Einschnitte der Hochschulreform trafen H. J. Rösler schwer, konnten aber seine Aktivität und seinen Ideenreichtum nicht brechen. Die verstärkte Hinwendung zur Rohstoffforschung und technischen Mineralogie sowie zur Weiterbildung als „Ersatz“ des eigenen Studienganges Mineralogie waren keinesfalls nur Überbrückung der folgenden zehn Jahre bis zur Wiedereinführung des Studienganges im Jahre 1980.

H. J. Rösler war Autor auch heute noch bewährter Bücher wie der „Geochemischen Tabellen“ (gemeinsam mit H. Lange), des „Lehrbuchs der Mineralogie“, der Monographie „Spurenelemente in der Umwelt“ (gemeinsam mit H. J. Fiedler), mehrerer Lehrbrief-Reihen der Bergakademie sowie von mehr als 200 Originalarbeiten. Die Bergakademie ernannte ihn zum Ehrensensator, die Sächsische Akademie der Wissenschaften und die Russische Akademie für Naturwissenschaften in St. Petersburg zu ihrem Mitglied. Von vielen Auszeichnungen seien hier lediglich die als Verdienter Hochschullehrer der DDR, die Serge von Bubnoff-Medaille und die Ehrenmitgliedschaft der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften der DDR sowie der Kurt-Schwabe-Preis der Sächsischen Akademie der Wissenschaften genannt. Zahlreiche Berufungen in Funktionen der Hochschule oder nationaler und internationaler wissenschaftlicher Organisationen, in Beiräte und Kommissionen zeigen, dass seine

Erfahrungen und sein perspektivisches Denken und Handeln weit über die Grenzen des eigenen Fachs und des eigenen Instituts hinaus hoch angesehen und begehrt waren.

Die Verfasser, in letzter Zeit aus anderem Anlass mit der Geschichte geowissenschaftlicher Disziplinen in der DDR beschäftigt, sind dabei immer wieder gerade auf diese weite und breite Sichtweise H. J. Röslers gestoßen, die die Entwicklung des stofflich orientierten Teils der Geowissenschaften in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts maßgeblich mitgestaltet hat.

Als H. J. Rösler im Oktober 1951 wissenschaftlicher Assistent bei seinem Lehrer Friedrich Leutwein wurde, war er bereits 31 Jahre alt. Wie so viele aus seiner Generation hatte er wertvolle Jahre durch Krieg und Kriegsgefangenschaft verloren. Letztere war für ihn glimpflich verlaufen, konnte er doch im marokkanischen Blei-Zink-Bergbau vielfältige Erfahrungen sammeln und die für das angestrebte Bergbaustudium noch fehlenden Bergbaubeflissenen-Schichten leisten (Rösler 2000). Sofort nach Rückkehr in die Heimat begann er im Herbst 1947 das Bergbau-Studium an der Bergakademie Freiberg, wechselte jedoch, seinen naturwissenschaftlichen Neigungen folgend, sehr bald in die Fachrichtung Geologie. Aus dieser heraus entwickelte sich Anfang der 1950er Jahre die Fachrichtung Mineralogie, und H. J. Rösler war einer der Ersten, die ihr Studium als Diplom-Mineraloge abschlossen. Nimmt man noch seine Erinnerungen an das vielseitig gestaltete Wandersemester an der Martin-Luther-Universität Halle hinzu (Rösler 2001), so sind in diesen frühen Jahren unschwer Wurzeln seiner Denk- und Arbeitsweise zu erkennen: Ein breites naturwissenschaftliches Interesse, das keine Einengungen durch disziplinäre oder administrative Grenzen kannte, die Erfahrungen und Einblicke in bergmännische Aktivitäten als damals wichtigstem Feld geowissenschaftlicher Praxis, und die Zielstrebigkeit und Arbeitsintensität, mit der der „langgediente und überlebende Soldat“ (Rösler 2001) die verlorene Zeit wettzumachen versuchte.

Die entscheidenden wissenschaftlichen Prägungen erhielt H. J. Rösler durch Friedrich Leutwein. Dieser war 1947

zum Professor für Mineralogie an die Bergakademie berufen worden und ihm gelang es, unter den schwierigen Bedingungen der Nachkriegszeit im folgenden Jahrzehnt aus dem Mineralogischen Institut ein renommiertes, zumindest im Osten Deutschlands konkurrenzloses Lehr- und Forschungszentrum zu machen. Mit der Einbeziehung der sich um die Jahrhundertmitte weltweit immer stärker entwickelnden Geochemie in das Institut forcierte er nicht nur die Modernisierung der bis dahin vorherrschenden „klassischen“ Mineralogie, sondern schuf zugleich die Voraussetzungen und ersten Beispiele für die geochemische Durchdringung anderer geowissenschaftlicher Disziplinen (Herrmann 2002). H. J. Rösler hat diesen Prozess als Leutweins engster Mitarbeiter mehrere Jahre hindurch mitgestaltet und nach seiner Promotion 1954 im Geologischen Dienst Jena unter den Bedingungen der geologischen Praxis nachvollzogen. Er führte hier die Spektralanalyse ein, und Archivmaterialien belegen umfangreiche geochemische Untersuchungen an diversen Erz-, Spat- und gesteinsbildenden Mineralen wie auch an Zwischenprodukten und Rückständen (Stäuben, Abbränden, Schlämmen) thüringischer Industriebetriebe. In der Vielfalt der Untersuchungen und in ihrer engen Verbindung mit lagerstättenkundlichen, petrologischen und technologischen Arbeiten lassen sich bereits die Komplexität und Weitsicht erkennen, mit denen Rösler wenige Jahre später seine „Freiberger Schule“ entwickelte.

Nachdem Leutwein in prinzipieller Ablehnung der hochschulpolitischen Veränderungen nach dem V. Parteitag der SED im Jahr 1958 die DDR verlassen hatte, trat H. J. Rösler 1959 zunächst als Dozent, ab 1961 als Lehrstuhlinhaber dessen Nachfolge an. Die Fakten der Entwicklung des Instituts und des Lehrstuhls sind von ihm selbst ausführlich dargestellt worden (Rösler 1999–2003). Im Rückblick auf die Themen und Schwerpunkte seiner Forschungen ist deutlich zu erkennen, dass H. J. Rösler sich nicht nur intensiv der Geochemie als „jüngstem Kind der Mineralogie“ (Rösler 1968) widmete, sondern gleichzeitig konsequent die Etablierung geochemisch-genetischer Methoden in benachbarten Disziplinen betrieb. Das war in den 60er Jahren noch keinesfalls eine Selbstverständlichkeit, und die Verfasser erinnern sich engagierter Auftritte



Hans Jürgen Rösler. Foto: Medienzentrum

ihres Lehrers auf Tagungen der Geologischen Gesellschaft, in denen er z. B. für die Verankerung geochemischer Methoden bei der Suche und Erkundung von Lagerstätten durch die staatliche Geologie plädierte und auch eine stärkere Kooperation mit geophysikalischen Prospektionsverfahren anregte. Seinem ausgeprägten Gespür sowohl für fachspezifische Erfordernisse als auch für moderne, interdisziplinäre Trends verdanken wir die frühzeitige Entstehung von Arbeitsrichtungen, die weit über die Grenzen der Hochschule und zum Teil auch der Geowissenschaften hinaus wichtig und für die Mineralogie profilbestimmend wurden. Beispiele dafür liefern die Entwicklung der Isotopengeochemie und der Geochronologie gemeinsam mit J. Pilot, die Tonmineralogie gemeinsam mit R. Starke und die Technische Mineralogie gemeinsam mit H. J. Blankenburg. Letztere trug mit ihren rohstoffmineralogischen Forschungen maßgeblich dazu bei, dass das Institut die kritischen Jahre nach der 3. Hochschulreform ohne „Sinnkrise“ überstand. Dabei opferte er seine Arbeitsrichtungen und Forschungsvorhaben nie der Konjunktur wirtschaftlicher Forderungen oder Tagesaufgaben, sondern verstand es, deren Rahmen und Freiräume gut begründet und geschickt für die selbstgestellten wissenschaftsstrategischen Ziele und die Grundlagenforschung zu nutzen. So entstanden zahlreiche und bedeutsame Beiträge zur Entwicklung der Geochemie, Mineralogie und Petrologie. Dazu gehören z. B.

die geochemischen Untersuchungen einzelner geologischer Systeme in den frühen 1960er Jahren, einzelner Elemente (Germanium und Indium als „Freiberger“ Elemente sowie Fluor, Quecksilber, Stickstoff u. a.) und die bereits Mitte der 1960er Jahre begonnenen und Anfang der 1980er Jahre forcierten umweltgeochemischen Arbeiten über Schwermetalle und Arsen in Böden. Für die Forschung an Erz-, Nichterz- und Salzlagerstätten ist als Erweiterung „klassischer“ mineralogisch-geochemischer Untersuchungen zu deren Genese vor allem die seit Mitte der 1960er Jahre intensiv betriebene Einführung isotopengeochemischer und geochronologischer Methoden hervorzuheben. Mit der Thematik seiner Dissertation über die Geochemie von Steinkohlen blieb H. J. Rösler sein Leben lang durch geochemisch-mineralogische Untersuchungen an Braunkohlen verbunden. Auch auf dem Gebiet der Petrologie sind frühe Wurzeln unverkennbar: Dem Magmatismus basischer Gesteine, in der Habilitationsschrift im Zusammenhang mit der Entstehung der sogenannten Lahn-Dill-Eisenerze untersucht, galt stets sein besonderes Interesse. Der regionalen Ausweitung dieser Untersuchungen an Geosynklinalmagmatiten auf den Harz, das Vogtland und die Elbtalzone folgten später intensive petrologisch-geochemische Untersuchungen an basaltoiden Gesteinsformationen des Plattformstadiums. Darüberhinaus initiierte er auch zahlreiche Arbeiten zum Elementverhalten in diagenetischen und metamorphen Prozessen. Die Ergebnisse vieler dieser Untersuchungen fanden ihren Niederschlag in von ihm betreuten Habilitationsschriften und weit über den regionalen Rahmen hinaus bedeutungsvollen Publikationen.

Alle genannten Forschungsschwerpunkte forderten immer wieder die Weiterentwicklung der analytischen Basis in den Laboratorien. H. J. Rösler widmete sich dieser Aufgabe mit Weitblick und Energie. Er konnte sich dabei mit J. Pilot, R. Starke, C.-D. Werner, W. Schrön, W. Klemm u. a. auf hervorragende Wissenschaftler stützen, die als Laborleiter über Jahrzehnte hinweg für diese heute leider oft missachtete Grundlage stabiler wissenschaftlicher Entwicklung einstanden. In diesem Zusammenhang darf auch die Kooperation mit anderen Institutionen, wie etwa dem damaligen Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf und dem Zentralinstitut für Isotopenforschung

Leipzig zur Ergänzung der eigenen laborativen Kapazitäten nicht unerwähnt bleiben.

Schließlich muss hier noch auf H.J. Röslers offenes und konstruktives Verhältnis zu Wissenschaftsgeschichte und Tradition verwiesen werden. So regte er Mitte der 60er Jahre nicht nur die Forschungen von M. Guntau zur Geschichte der Mineralogie und der Geowissenschaften sowie zu Leben und Werk unserer bergakademischen Altvorderen Abraham Gottlob Werner und Friedrich August Breithaupt an, sondern nahm deren Jubiläen zum Anlass für die Organisation internationaler Kolloquien, in deren Mittelpunkt er aktuelle Probleme der Mineralogie stellte und aus denen er wertvolle

Impulse für sein Institut gewann. Mit mehreren, bereits im Ruhestand verfassten Publikationen über den Mineralogen F. Mohs, den Geochemiker F. Leutwein und den Kristallographen V. Goldschmidt widmete er sich erneut der Geschichte seiner Wissenschaften und der Bergakademie.

Die Erinnerung an Hans Jürgen Röslers langes, überaus erfolgreiches und wegweisendes Wirken für die mineralogisch-geochemischen Wissenschaften und für die Bergakademie lässt schon heute erkennen, dass ihm sein Platz inmitten der großen und unsere Universität prägenden Persönlichkeiten für immer sicher ist.

■ Dieter Wolf, Werner Pälchen

**Quellen**

- Herrmann, A. G. (2002): Friedrich Leutwein – der Luxus des Gewissens. – Freib. Forschungshefte, D 210, 75-96, Freiberg
- Matschullat, J.; Gutzmer, J. & Heide, G. (2009): Professor Hans Jürgen Rösler 1920–2009. – Elements, 5(3), 144, Quebec
- Pälchen, W.; Wolf, D.; Heide, G.; Matschullat, J.; Gutzmer, J. (2009): Hans Jürgen Rösler 1920–2009. – GMit Nr. 35, März 2009, 81–82, Bonn
- Rösler, H. J. (1968): Entwicklung, Stand und Perspektiven der mineralogisch-geochemischen Wissenschaft. – Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., Reihe B, 13(1), 33–41, Berlin
- Rösler, H. J. (1993): Leben und Wirken von Hans Jürgen Rösler (Autobiographie). – Archiv der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig und der TU Bergakademie Freiberg
- Rösler, H. J. (1999 bis 2003): Aus dem Werdegang eines ostdeutschen Mineralogen. Teil 1 bis 6. – Geohistor. Blätter 2 bis 6, Berlin

# 75. Geburtstag von Altrektor Horst Gerhardt

Am 3. März 2010 fand in Freiberg ein Fachkolloquium anlässlich des 75. Geburtstags von Prof. Gerhardt statt. Wegbegleiter und Schüler berichteten in Vorträgen über die Zusammenarbeit mit dem Jubilar. Am 19. Oktober wurde Horst Gerhardt die Ehrensatorwürde unserer Universität verliehen.

Karl Horst Gerhardt wurde am 24. Februar 1935 in Magdala geboren.

An der Landesinternatsschule Bad Liebenstein erlangte er das Abitur. Die bergmännische Laufbahn begann für Horst Gerhardt am 1.7.1953 nach der Vorimmatrikulation an der Bergakademie Freiberg mit dem Vorpraktikum, das ihn über 14 Monate in verschiedene Bergbaubetriebe führte. Am 1.9.1954 nahm er sein Direktstudium in der Studienrichtung Bergbau-Tiefbau auf, das er nach fünf Jahren Regelstudienzeit 1959 erfolgreich abschloss.

Horst Gerhardt startete seine Bergbauingenieur-Tätigkeit am 1.7.1959 als Steiger, wurde dann Technologie und Leiter Bergbautechnologie in den Freiburger Bleierzgruben. Die Betreuung eines Versuchsabbaus „Firstenschrämbau“ im Brander Revier prägten das erste Jahr. Der Ersteinsatz eines „Alimak-Klettergerüsts“ für Überhauen-Auffahrungen sowie die kleinprofilige, mehr als 4 km lange Querschlagsauffahrung zwischen dem Freiburger und dem Brander Revier waren wesentliche technologische Aufgaben in dieser Zeit.

Im Jahre 1964 wechselte Horst Gerhardt im Rahmen eines Austauschprogramms zwischen Industrie und Hochschule für ein knappes Jahr als

Oberassistent an die Bergakademie, bevor er ab März 1965 am neu gegründeten Wissenschaftlich-Technischen Zentrum (WTZ) für Erzbergbau der damaligen VVB NE-Metallindustrie in Eisleben die Abteilung Bergbau mit den Gruppen Geologie, Bergbau, Aufbereitung und Bohrtechnik übernahm. In diesem Zusammenhang zog die Familie von Freiberg nach Sangerhausen.

Im Rahmen einer Expertengruppe des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) hatte er Gelegenheit, über mehrere Jahre Erzbergwerke in Polen, Bulgarien, Jugoslawien, Rumänien, Kasachstan, Usbekistan und der Tschechoslowakei zu befahren und zu bewerten.

Infolge von Strukturveränderungen in der Wirtschaft der DDR machte sich 1968 ein weiterer Arbeitsplatzwechsel in das Werk Bergbau im Mansfeld Kombinat „Wilhelm Pieck“ notwendig. Die im WTZ begonnene außerplanmäßige Aspirantur auf dem Gebiet des Gesteinsbohrens schloss Horst Gerhardt mit dem Titel Dr.-Ing. 1969 erfolgreich an der Bergakademie Freiberg ab. Als Technologie, Haupttechnologie und Technischer Leiter im Kupferschieferbergbau war er bis 1980 tätig. Das Geradstreb-Abbauverfahren wurde in diesem Zeitraum zur dominierenden Abbaumethode, der Schälrschrapperstrebbaue wurde in die Praxis überführt, das Baufeld Allstedt wurde erschlossen, und die Wetterbohrschächte in Brücken und in Mönchpiffel wurden niedergebracht. Zeitgleich erfolgte die Verwahrung der Schächte der Mansfelder Mulde.

Im Jahr 1978 wurde Horst Gerhardt vor die Entscheidung gestellt, entweder in das neue Kaliwerk Zielitz, in den Aufbaustab für das geplante Kupferbergwerk Spremberg oder aber an die Bergakademie Freiberg als Professor für Bergbau-Tiefbau zu wechseln. Er entschied sich für Freiberg, habilitierte sich 1980 und erhielt im September des gleichen Jahres den Ruf. Während seiner 20 Jahre währenden Hochschullehrertätigkeit führte Prof. Gerhardt über 300 Studenten zum Diplom. Er war Betreuer von 17 Promotionen und drei Habilitationen sowie Gutachter in weiteren 13 Promotions- und 7 Habilitationsverfahren.

Wissenschaftlich arbeitete Horst Gerhardt auf dem Gebiet der Gesteinszerstörung. Ab 1990 orientierten sich seine Arbeiten auf den Sanierungsbergbau und die Nutzung untertägiger Räume für den Entsorgungsbergbau. Er machte die Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten, Meinungen zur Bergbauausbildung und Ansichten über globale Bergbauthemen in 122 Veröffentlichungen und zahlreichen Vorträgen publik. Er ist außerdem Autor von drei Lehrbriefen zur maschinellen Gewinnung.

Nach der Wiedervereinigung bewarb sich Prof. Gerhardt im Rahmen einer deutschlandweiten Ausschreibung 1992 erneut auf seinen eigenen Lehrstuhl und wurde am 1. Oktober 1992 als Professor neuen Rechts gemäß § 48 Abs. 1 Sächs-HEG berufen. Bis zur Vollendung seines 65. Lebensjahres im Jahre 2000 lehrte und forschte er im inzwischen neu gegründeten Institut für Bergbau.



Prof. Horst Gerhardt während seiner Festansprache bei der Ernennung zum Ehrensenator.

Foto: Detlev Müller

Prof. Gerhardt brachte sich aktiv in die Entwicklung der Hochschule ein. Von 1980–1992 leitete er das Institut für Tiefbau, war von 1984–1988 Direktor der Sektion Geotechnik und Bergbau und wurde anschließend zweimal, 1988 und 1990, zum Rektor gewählt. Er war Mitglied des Senats (1988–1992) und des Konzils (1990–1994) der Bergakademie.

Horst Gerhardt stand in der Phase der politischen Veränderungen, 1989 beginnend, an der Spitze der Universität. Dabei galt es zunächst, das Überleben der Bergakademie zu sichern. Nach vielen Turbulenzen und der Neuwahl aller Gremien der Hochschule wurde er im Juli 1990 erneut zum Rektor gewählt und übte dieses Amt bis zum Wirksamwerden des Sächsischen Hochschulernerneuerungsgesetzes ab Oktober 1991 aus. Von diesem Zeitpunkt ab durften ehemalige Inhaber von Leitungsfunktionen kein verantwortliches Amt im öffentlichen Dienst mehr ausüben.

In die Zeit des Umbruchs fielen für die Bergakademie wichtige Entscheidungen. So wurde die Bergakademie Freiberg im November 1990 als erste Hochschule in den neuen Bundesländern Mitglied der Hochschulrektorenkonferenz. Es folgten ihre Aufnahmen in die DFG und den DAAD. An diesen Aktivitäten hatte der Rektor Gerhardt großen Anteil. Sein hohes Engagement beförderte im besonderen Maße auch die Neugründung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.

Prof. Schlegel sagte dazu in seiner Laudatio zum Ehrenkolloquium im März: „Horst Gerhardt hatte in bemerkenswerter Weise als Rektor der Bergakademie damals die Zeichen der Zeit erkannt. Er führte die Hochschule erfolgreich durch den gesellschaftlichen Wandel, so dass die Bergakademie in dieser turbulenten Zeit ihre Leistungsfähigkeit bewahren und ausbauen konnte. Er stand an der Spitze einsatzbereiter Bergakademisten – sowohl aus der neuen als auch aus der alten Elite –, die mit ihm zusammen Garant dafür waren, dass die Bergakademie ihren exzellenten Stand und ihren internationalen Ruf über alle Gesellschaftssysteme hinweg eben auch unter den neuen Bedingungen für die Wissenschaft, die Wirtschaft, die Politik, das Recht, für das gesamte Leben behaupten konnte. Unter seinem Rektorat bis zum Oktober 1991 wurden bemerkenswerte Etappenziele erreicht und quasi Pflöcke für die Zukunft eingerammt ... Wesentlich in dieser Zeit waren die Einigkeit und Geschlossenheit der Universität nach innen und außen, das Engagement für die Studenten und für die Wirtschaft, die Betonung der Spezifika der Bergakademie. Das hat Rektor Gerhardt engagiert und erfolgreich vertreten und vorgelebt. Dafür gilt ihm der Dank der Hochschule. Eine Sache erscheint mir besonders wesentlich für den gelungenen Übergang der Bergakademie in das vereinigte Deutschland: Das waren einerseits die Aktivitäten der Demokratiegruppe an der Bergakademie, die schon 1989 durch den Rektor Gerhardt in die Entscheidungen integriert worden war, aber auch der Einsatz für die neuen Bergakademiebelange seitens solcher Persönlichkeiten, die wussten, dass sie ausscheiden werden.“

Von 1991 bis 1996 war Horst Gerhardt im Vorstand des DAAD und von 1991 bis 1999 Fachgutachter der DFG.

Neben seinem Engagement in der akademischen Selbstverwaltung war und ist Prof. Gerhardt in zahlreichen bergbauorientierten Gremien ehrenamtlich tätig. Zu nennen ist insbesondere seine Tätigkeit in der Kammer der Technik. In dieser Ingenieurgesellschaft der DDR war er Leiter mehrerer Fachausschüsse und Vorsitzender der Sektion Bergbau in der Montanwissenschaftlichen Gesellschaft der DDR. Von 1972 bis 1990 war er zudem Mitglied im Zentralen Arbeitskreis (ZAK) Tiefbau des Ministeriums für Wissenschaft und Technik der DDR. Horst Gerhardt setzt sich 1989 aktiv für

die Fortführung der Vereinsarbeit der in der Kammer der Technik organisierten Bergingenieure des Nichtkohlebergbaus unter den neuen Bedingungen ein. Er war aktiv im Verwaltungsrat, im Bildungsausschuss und im Arbeitskreis Bergbau GDMB und vertrat die Belange der akademischen Ausbildung. Er arbeitete zudem im Arbeitskreis Ausbildung der damaligen Wirtschaftsvereinigung Bergbau mit. Bald reihten sich Freiburger Absolventen in die Liste der Helmuth-Burckhardt-Preisträger als beste Absolventen des Bergfachs in Deutschland ein.

Prof. Gerhardt war maßgeblich an der Gründung des Vereins der Freunde und Förderer der Bergakademie Freiberg am 25.7.1990 beteiligt. Bei mehreren Fachzeitschriften wirkte er im Redaktionsbeirat mit. Er ist heute noch Mitglied bzw. Ehrenmitglied in mehreren bergmännischen Vereinen. So engagiert er sich seit 1996 im Beirat des Sächsischen Berg-, Hütten- und Knappschaftsvereins e. V. und hat Anteil an der Wiedergründung der Societät der Bergbaukunde, deren Ehrenmitglied er ist. Die Societät vereint seit 1991 die zwischenzeitlich getrennt gewesene internationale Gemeinschaft der Hochschulprofessoren im Bergbau wieder. Im Jahr 2002 wirkte Horst Gerhardt seitens der Bergakademie an der Gründung des Geokompetenzzentrums Freiberg e. V. entscheidend mit. Hervorzuheben ist auch seine Mitgliedschaft im Internationalen Organisationskomitee (IOK) für Weltbergbaukongresse von 1988 bis 2001. In den nationalen Vorbereitungskomitees (NOK) der DDR und der BRD vertrat er die Interessen der Hochschulen.

Prof. Horst Gerhardt wurde für sein Wirken als Bergmann und Hochschullehrer u. a. 1983 mit der Auszeichnung „Verdienter Bergmann der DDR“ geehrt. 1996 wurde er zum ordentlichen Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften und 2002 zum Mitglied der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften gewählt. Prof. Horst Gerhardt hat in diesem Rahmen in einer Reihe von Akademie-Gremien aktiv gearbeitet, so als langjähriges Mitglied des Publikationsausschusses, als Stellvertretender Vorsitzender der strukturbezogenen Kommissionen „Technikfolgenabschätzung“ und „Technikgestaltung und -bewertung“.

1999 verlieh ihm die TU Miskolc den Titel eines Ehrendoktors.

■ Carsten Drebenstedt, Gerhard Roewer

# Gerhard Pusch – 70 Jahre

Am 25. Januar 2010 feierte Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Pusch seinen 70. Geburtstag. Das war Anlass für das Institut für Werkstofftechnik der TU Bergakademie Freiberg, seine Leistungen als Hochschullehrer und Forscher in einem Ehrenkolloquium am 5. März 2010 zu würdigen. Geehrt wurden seine Verdienste durch ein interessantes, vielseitiges wissenschaftliches Vortragsprogramm, zu dem viele Kollegen und Weggefährten den Weg nach Freiberg gern auf sich nahmen.

Prof. Pusch ist ein ausgewiesener Wissenschaftler auf dem Gebiet der Bruchmechanik, der sich insbesondere mit den Anwendungsmöglichkeiten dieses Konzeptes befasst hat: Entwicklung der Prüfmethodik, Charakterisierung des Werkstoffverhaltens, Bauteilbewertung und Schadensanalyse. Er verbindet seine Leistungen als Forscher in wunderbarer Weise mit ausgeprägten pädagogischen und didaktischen Fähigkeiten. Nicht zuletzt dank seines brandenburgischen Humors ist er in der Lage, die Studenten zu begeistern und zu entflammen. Es wundert daher nicht, dass sich seine Lehrveranstaltungen durch hohes fachliches Niveau, Klarheit, Verständlichkeit und Übersichtlichkeit auszeichneten. Sie waren außerordentlich interessant und daher auch ohne Anwesenheitskontrolle immer gut besucht. Seine Absolventen und Doktoranden sind überall in Deutschland zu finden. Seinem Wirken ist es mit zu verdanken, dass die Bruchmechanik akzeptiert und Teil des Ingenieuralltags geworden ist.

Gerhard Pusch wurde am 25. Januar 1940 in Magdeburg geboren und erwarb das Diplom an der TH „Otto von Guericke“ in der Fachrichtung „Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung“. Nach seinem Studium war er Assistent, später Oberassistent im Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung und promovierte 1970 bei Werner Schatt mit einer Arbeit zum Spannungs-Dehnungsverhalten von Sinterwerkstoffen. Seine weiteren Arbeiten befassten sich mit der bruchmechanischen Werkstoffcharakterisierung und der Entwicklung der hierfür notwendigen Prüftechnik. 1973 erschien die gemeinsam mit Horst Blumenauer verfasste „Einführung in die Bruchmechanik“, die eine große Verbreitung fand und als eine der ersten umfassenden deutschsprachen-



Prof. Gerhard Pusch. Foto: Detlev Müller

chigen Publikationen auf diesem Gebiet gilt. Die Monografie „Technische Bruchmechanik“ ist daraus hervorgegangen und wurde in drei Auflagen dem Stand des Wissens angepasst. Auch an anderen Hochschullehrbüchern war er beteiligt, wie z. B. an dem von Blumenauer herausgegebenen Buch „Werkstoffprüfung“ und an dem von Schatt herausgegebenen Buch „Werkstoffe des Maschinen-, Apparate- und Anlagenbaus“.

1979 folgte Gerhard Pusch dem Ruf an die Bergakademie Freiberg und baute dort eine Arbeitsgruppe „experimentelle Bruchmechanik“ auf, die sich in nunmehr 31 Jahren einen unschätzbaren Erfahrungsschatz erarbeitet hat. So war es nur folgerichtig, dass er 1987 zum außerplanmäßigen Professor berufen wurde und 1992 den Lehrstuhl „Werkstoffdiagnostik und Werkstoffkunde“ am Institut für Werkstofftechnik erhielt.

Es ist seinem unermüdlichen Wirken zu verdanken, dass an der TU Bergakademie Freiberg alle relevanten bruchmechanischen Prüfmethoden etabliert sind und auch eingesetzt werden. So wurden im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Fließbruchmechanik“ systematische Untersuchungen zur bruch- und schädigungsmechanischen Charakterisierung von Gusseisenwerkstoffen und Aluminiumlegierungen durchgeführt und in nachfolgenden Projekten, z. B. im Rahmen des Reaktorsicherheitsprogramms, Druckbehälterstähle und Werkstoffe für Transportbehälter untersucht. Die Einführung höchstfester schweißgeeigneter Stähle, bei der insbesondere die Bewertung der Zähigkeit der Schweißverbindungen eine wesentliche Fragestellung war, stützte sich auch auf Forschungs-

resultate der Arbeitsgruppe von Prof. Pusch.

Hervorzuheben ist der auf praxisrelevante Fragestellungen ausgerichtete Forschungsstil von Prof. Pusch. Forschung zum Selbstzweck ist ihm fremd. So verwundert es nicht, dass er in vielen Forschungsprojekten industrienaher Themenstellungen aufgriff und dabei eine enge Kooperation auch mit Fachkollegen aus anderen Bereichen, wie z. B. der Technischen Mechanik oder der Gießereitechnik, pflegte. So wurden gemeinsam viele interessante Fragestellungen auf den Gebieten der Gasversorgung, der Energie- und der Bahntechnik bearbeitet.

Sein großer Erfahrungsschatz ist gefragt, wenn es um die Aufklärung von Schadensfällen oder um die Weiterbildung auf bruchmechanischem Gebiet geht. Seit 2002 läuft ein bruchmechanisches Weiterbildungsseminar am Institut für Werkstofftechnik mit einer stetig hohen Teilnehmerzahl, das von Prof. Gerhard Pusch konzipiert wurde und weiterhin mit hohem persönlichen Einsatz durchgeführt wird.

Das Ausscheiden aus dem aktiven Dienst hat sicher zur Verschiebung einiger Schwerpunkte in seiner Arbeit geführt. Prof. Pusch genießt es, mehr Zeit für Forschung zu haben und weniger für die Organisation des Institutsbetriebes aufwenden zu müssen. Es entspricht seinem Wesen, wenn er anlässlich seines Ehrenkolloquiums zu bedenken gibt, dass jetzt seine schönste berufliche Zeit begonnen hätte, nur leider wäre die Ausbildungszeit so lang gewesen ...

Dass Prof. Pusch nicht daran denkt, sich zurückzulehnen und seinen wohlverdienten Ruhestand zu genießen, belegte er in seiner Dankesrede am Abend des Ehrenkolloquiums. Sein Appell, sich in die Diskussion um den Bologna-Prozess einzubringen, das Erreichte immer kritisch zu hinterfragen und im Interesse der Studenten ständig an den Lehrinhalten zu arbeiten, soll nicht ungehört verhallen. In diesem Sinne möchten sich alle Freunde, Kollegen und Mitstreiter bei Herrn Prof. Pusch herzlich für seine unermüdliche fachliche Arbeit, seine Integrität und Freundschaft bedanken und ihm viel Kraft und Gesundheit für die nächsten Jahre wünschen. Möge er sich weiterhin am aktiven Ruhestand erfreuen, die Lust am Einmischen und Forschen nicht verlieren und die schönen Dinge des Lebens im Auge behalten.

■ Peter Hübner

# Heinrich Oettel – 70 Jahre

Am 4. Juli 2010 vollendete Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Heinrich Oettel das 70. Lebensjahr. Professor Oettel kann auf eine sehr erfolgreiche Laufbahn als Wissenschaftler zurückblicken und ist auch heute noch aktiv am Institut für Werkstoffwissenschaft tätig.

Heinrich Oettel wurde am 5. Juli 1940 im thüringischen Jena geboren. Nach dem Abitur nahm er nach einem Praktikumsjahr in der „Maxhütte“ Unterwellenborn 1959 das Studium der Metallkunde an der Bergakademie Freiberg auf. Seine akademischen Lehrer in Freiberg waren F. Erdmann-Jesnitzer, J. Sedivy und F. Günther, welche ihn für die Metallkunde und insbesondere die Röntgendiffraktometrie und die Metallografie begeisterten. Nach erfolgreichem Abschluss des Studiums wurde er 1964 als wissenschaftlicher Assistent in das Institut für Metallkunde und Materialprüfung der Freiburger Hochschule aufgenommen und begann im Rahmen des Forschungsprojektes „Erholung und Rekristallisation von kaltverformten binären Legierungen“ mit der Bearbeitung einer Dissertation zum Thema „Messung des elektrischen Widerstandes und röntgenografischer Realstrukturparameter an kaltverformten und angelassenen k.f.z. NiCo-Legierungen“. 1971 erwarb er damit an der Fakultät für Technische Wissenschaften der Bergakademie Freiberg den Grad eines Dr.-Ing. Inzwischen hatte die III. Hochschulreform der ehemaligen DDR im Jahre 1969 zu einer tiefgreifenden Umstrukturierung der Hochschule geführt, in deren Verlauf Heinrich Oettel zum Leiter der Fachabteilung Feinstrukturanalyse der Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik ernannt wurde. Unter seiner Leitung entwickelte sich die Fachabteilung zu einem weit über die Grenzen Freibergs hinaus bekannten Zentrum der Struktur- und Gefügeanalyse. Aber auch in der akademischen Lehre war er sehr aktiv. Das in den 1970er Jahren maßgeblich von ihm mitgestaltete Lehrkonzept für das Gebiet Struktur- und Gefügeanalyse prägt noch heute die Ausbildung der Freiburger Metallkundler.

Als nach 1970 an der Bergakademie die Untersuchung von Halbleiterwerkstoffen Bedeutung erlangte, beschäftigte sich Heinrich Oettel intensiv mit der Realstrukturanalyse von Silizium und ternären



Prof. Heinrich Oettel. Foto: Medienzentrum

ären halbleitenden Verbindungen. Seine Forschungsarbeiten führten 1979 zu einer Habilitationsschrift mit dem Thema „Physikalische Eigenschaften von ternären Verbindungshalbleitern des Typs II-IV-V<sub>2</sub>, insbesondere von ZnSiP<sub>2</sub>“.

1981 wurde Herr Oettel zum o. Hochschuldozenten für das Lehrgebiet „Struktur- und Gefügeanalyse“ berufen und dem Wissenschaftsbereich „Physikalische Metallkunde“ zugeordnet, aus dem nach der politischen Wende in der DDR im Frühjahr 1990 das Institut für Metallkunde hervorging. Dabei wählte ihn die Institutsbelegschaft mit überwältigender Mehrheit zum Institutsdirektor. Verbunden mit seinem mutigen Engagement für die demokratische Umgestaltung der Bergakademie Freiberg und deren Einbindung in die gesamtdeutsche Hochschullandschaft war 1991 die Ernennung zum apl. Professor und 1992 die Berufung zum C4-Professor für Metallkunde an der TU Bergakademie Freiberg.

In den Folgejahren nahm H. Oettel neben seiner umfangreichen wissenschaftlichen Tätigkeit zahlreiche Aufgaben in der akademischen Selbstverwaltung der TU Bergakademie und in verschiedenen Gremien der Bundesrepublik Deutschland wahr. Seit 1990 Mitglied des Akademischen Senats, war er 1991–1993 Dekan des Fachbereichs Werkstoffwissenschaft, 1994–1996 Dekan der neu gebildeten Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, und von 1997 bis 2000 gehörte er dem Rektoratskollegium der Universität als Prorektor für Forschung an. Von 1991 bis 1997 war er als Vertreter der Werkstoffwissenschaften Mitglied des Senats der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und von 1992 bis 2001 Sprecher

des DFG-Graduiertenkollegs „Werkstoffphysikalische Modellierung“ an der TU Bergakademie Freiberg.

Heinrich Oettel wurde im Jahre 1990 auch Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM). Er unterhielt zahlreiche internationale Kontakte und Kooperationen. Erwähnt werden sollen seine aktive Rolle bei der Wiederbelebung der Beziehungen zwischen der TU Bergakademie und dem Moskauer Staatlichen Institut für Stahl und Legierungen sowie sein langjähriges Engagement für den Wiederaufbau der Universität Prishtina, Kosovo, und die Ausbildung von Graduierten und Studierenden der Ingenieurwissenschaften aus dem Kosovo und aus Albanien. Im Jahr 2000 wurde er deshalb in die Kommission für Internationale Angelegenheiten der Deutschen Hochschulrektorenkonferenz (HRK) berufen.

Während seiner beruflichen Laufbahn erhielt Heinrich Oettel zahlreiche Ehrungen und Auszeichnungen. Genannt seien die Agricola-Medaille (1964) der Bergakademie Freiberg, der Roland-Mitsche-Preis für Metallografie (1992), die Verleihung der Ehrendoktorwürde (1999) durch das Moskauer Staatliche Institut für Stahl und Legierungen (MGI-SiS) sowie der vom Bundesminister für Wissenschaft und Forschung gestiftete Preis für herausragende Leistungen in der internationalen Hochschulzusammenarbeit (2001).

Heinrich Oettel kann auf mehr als 200 wissenschaftliche Publikationen verweisen. Er ist der Herausgeber der 14. Auflage der international bekannten Monographie „Metallografie“ von H. Schumann. Als Hochschullehrer hat er eine Habilitation zum Abschluss geführt, ca. 20 Promotionsarbeiten erfolgreich angeleitet sowie mehr als 80 Diplomanden betreut.

Zur „Ruhe gesetzt“ hat sich Heinrich Oettel bisher nicht. Er ist weiterhin sehr aktiv tätig beim Aufbau von Studiengängen und Forschungsaktivitäten im Kosovo und in Albanien. Er organisiert dort Sommerschulen und betreut in Freiberg Diplomanden und Gäste aus dieser Region. Wir hoffen, dass sein Wissen, sein Engagement und seine Erfahrungen auch weiterhin verfügbar sind und wünschen ihm weitere viele Jahre in Gesundheit, Tatkraft und Freude an wissenschaftlicher Arbeit, aber auch viel Zeit für Hobbys und die Familie.

■ Hans Jürgen Seifert, Peter Klimanek,  
Ulrich Martin,

## Hanspeter Jordan (23.7.1935 – 19.7.2010)

Vier Tage vor seinem 75. Geburtstag verstarb in Freiberg der Paläontologe, Hydrogeologe und Wissenschaftsgeschichtler Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Jordan. Bei Freunden und Kollegen hieß der aus Magdeburg stammende Lehrer-ohn einfach nur „Peter“. Seine Interessen für die Naturwissenschaften führten ihn an die Bergakademie Freiberg, an der er von 1953 bis 1958 Geologie studierte. Sehr bald fand er dabei eine besondere Neigungen zur Paläontologie.

Das Herbstsemester 1956 verbrachte Peter Jordan in Jena, wo er bei Professor A. H. Müller die Bearbeitung seines Diplomthemas zu Ostracoden aus dem Unterharz begann. Müller erkannte sofort Talent, Fleiß und die freundliche Aufgeschlossenheit, die dieser sympathische junge Mann mitbrachte. Nachdem A. H. Müller 1958 dem Ruf auf einen Lehrstuhl an der Bergakademie Freiberg gefolgt war, konnte er die fachliche Entwicklung Peter Jordans ganz unmittelbar fördern. Dessen Dissertation 1963 zu silurischen und devonischen Ostracoden folgte 1970 die Habilitationsschrift zur Paläontologie, Biostratigraphie und Fazies des Zechsteins. Während seiner zwölf Jahre als Assistent am Lehrstuhl für Paläontologie veröffentlichte Peter Jordan fast vierzig wissenschaftliche Arbeiten und fand dabei internationale Anerkennung. Seine präzisen Dokumentationen von Sedimentprofilen und exakten Beschreibungen von Fossilien sind bleibendes Gut der Stratigraphie und Paläontologie. Geowissenschaften und Paläontologie einer breiten Öffentlichkeit nahezubringen, war ihm ein besonderes Anliegen, das er u. a. mit Publikationen in der Neuen Brehm-Bücherei zu Trilobiten (1967, 2004) und fossilen Muscheln (1972, 1979) realisierte. Peter Jordan war zudem ein begeisterter und begeisternder Lehrender. Mit gediegenem Fachwissen, ausgeprägten pädagogischen Fähigkeiten und gepaart mit seiner ansteckenden Fröhlichkeit wusste er die Studenten zu begeistern, in den Übungen im Institut, bei Exkursionen und während Kartierungspraktika. Dazu gehörten nach des Tages Mühen natürlich auch Studentenlieder beim Bier in der Dorfkneipe.

Die 3. Hochschulreform 1968 wurde für Hanspeter Jordan zu einer tiefen Zäsur. Um die damals in der DDR übliche Forderung nach Absolvierung einer Praxiszeit zu erfüllen, trat er 1970 in das

Institut für Wasserwirtschaft in Berlin ein. Nach zwei Jahren als Hydrogeologe an diesem Institut kehrte er 1972 an die Bergakademie als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Hydrogeologie zurück. Mit seinem schon in der Paläontologie bewiesenen Gefühl für Innovationen widmete er sich intensiv der zu dieser Zeit aufstrebenden hydrogeologischen Modellierung und insbesondere der brandneuen Isotopenhydrogeologie (Publikationen seit 1977 ff.). Die Freiburger Hydrogeologie rückte damit in die erste Reihe der internationalen Forschung auf. Nach dem Weggang des Wissenschaftsbereichsleiters wurde 1975 Hanspeter Jordan diese Aufgabe übertragen. 1977 zum Hochschuldozenten ernannt, folgte 1979 die Berufung zum ordentlichen Professor für Hydrogeologie. Mit einer von ihm begeisterten jungen Mitarbeitergruppe erschloss er neue interdisziplinäre Forschungsbereiche im Grundwasserschutz und in der Montanhydrogeologie. Die Resultate fanden ihren Niederschlag in zahlreichen Publikationen. Zu wissenschaftlichen Höhepunkten gestalteten sich die von ihm organisierten Isotopenkolloquien in Freiberg. Von der Paläontologie konnte er dennoch nie ganz lassen, wie Veröffentlichungen aus dieser Zeit über Zusammenhänge zwischen Isotopenverteilungen und Fauneninzisionen in der Erdgeschichte bezeugen (1977). Zur entscheidenden Verbesserung der Ausbildung brachte er 1988 mit H.-J. Weder ein im deutschsprachigen Bereich weitverbreitetes und viel genutztes Lehrbuch zur Hydrogeologie heraus. Für die Qualität seiner Lehre spricht die große Zahl seiner Schüler, die heute in leitenden Positionen in verschiedensten geowissenschaftlichen Berufsfeldern tätig sind.

Mit der politischen Wende in Ostdeutschland wagte Hanspeter Jordan den Sprung in die private Wirtschaft. Seine Praxisnähe half ihm 1992 bei der Mitbegründung der HGC Hydro-Geo-Consult GmbH in Freiberg. Mit seiner Hochschule blieb er über den Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg dennoch eng verbunden. Sein Anliegen war stets die enge Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis. Zu den größeren Veröffentlichungen aus dieser privatwirtschaftlichen Zeit zählt die zweite, erweiterte Auflage des Lehrbuchs für Hydrogeologie (1995), das zugleich zu einem noch heute aktuellen Nachschla-



Hanspeter Jordan. Foto: Medienzentrum

gewerk zur Regionalen Hydrogeologie Ostdeutschlands wurde. Eine Vertragsforschung mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie führte ihn zur maßgeblichen Mitarbeit an der Monographie über die Mineral- und Thermalwässer in Sachsen (2000).

Mit dem Eintritt in den beruflichen Ruhestand im Jahr 2000 konnte sich Hanspeter Jordan einem dritten Interessengebiet zuwenden, welches ihm wohl schon länger am Herzen lag - die Beschäftigung mit der Wissenschaftsgeschichte. Mit einer Schrift (1997) zu Erinnerungen an seinen von ihm hochverehrten Lehrer Prof. Dr. A. H. Müller gelang es ihm, selbst erlebte Geschichte festzuhalten und weiterzugeben. Aufbauend auf Recherchen und Publikationen von O. Wagenbreth zu den Freiburger Friedhöfen machte er sich mit dessen und Chr. Oelsners Unterstützung um die Herausgabe eines Büchleins zu den Freiburger Professorengräbern verdient (2006). Für den Teil 2 der „Geowissenschaften in der DDR“ steuerte Hanspeter Jordan ein umfassendes Manuskript zur Geschichte der Hydrogeologie bei. Zudem ist er Mitautor eines Manuskripts zur Geschichte der Paläontologie. Leider ist es ihm nicht mehr vergönnt, die Publikation dieser beiden Beiträge zu erleben. Immer häufiger zwang ihn eine tückische Krankheit zu pausieren, bis er ihr gänzlich erlag.

Mit Hanspeter Jordan verlieren wir einen vielseitigen Wissenschaftler, geachteten, verehrten Hochschullehrer und erfolgreichen Firmenleiter, vor allem aber einen stets positiv denkenden, warmherzigen Menschen und guten Freund.

■ Harald Walter, Jörg Schneider, Joachim Hofmann, Torsten Abraham

## † Prof. Manfred Wolf

Am 1. September 2010 verstarb im 79. Lebensjahr Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Manfred Wolf.

Nach dem Bergbaustudium an der Bergakademie Freiberg war er von 1955 bis 1961 Technischer Direktor und Werkleiter des VEB Flußspatgruben in Ilmenau. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Lagerstättenlehre an die Bergakademie zurückgekehrt, promovierte er 1962 zum Dr.-Ing. Im Rahmen einer Hochschulpartnerschaft lehrte er in den Jahren 1963 bis 1966 sowie 1978 und 1984/85 als Gastprofessor an der Universität „Tomás Frías“ in Potosí/Bolivien und mit Lehraufträgen auch an der Technischen Universität Oruro und an der Universität San Andrés in La Paz. Die hohe Wertschätzung seiner Tätigkeit für die bolivianischen Universitäten fand ihren Ausdruck in der Verleihung von Ehrendoktorwürden und der Ernennung zum Professor ehrenhalber.

Im Jahr 1967 erhielt Manfred Wolf als Dozent einen Lehrauftrag für „Außereuropäische Lagerstätten und Rohstoffbewertung“ an der Bergakademie und wurde 1975 auf den Lehrstuhl für Ökonomische Geologie berufen.

Schwerpunkte seiner Lehr- und Forschungstätigkeit waren die Suche, Erkundung und Bewertung von Lagerstätten. Auch durch seine Tätigkeit als Mitglied der Zentralen Vorratskommission für mineralische Rohstoffe beim Ministerium für Geologie war er eng mit der Bergbau- und geologischen Industrie der DDR verbunden.

Während seiner Aufenthalte in Bolivien befasste er sich unter anderem mit der Lithium-Höflichkeit bolivianischer Salare, einem Thema, das in den letzten Jahren zum Forschungsgegenstand auch mehrerer Institute der Bergakademie wurde. Damit erreichte die Zusammenarbeit unserer Universität mit bolivianischen Hochschulen einen neuen Höhepunkt. Als früher Wegbereiter der Partnerschaft hat Manfred Wolf diese Entwicklung mit Freude und Genugtuung begleitet.

Seine Schüler und Kollegen in Deutschland und Bolivien werden ihn in guter Erinnerung behalten.

■ Dieter Wolf

## Zum Tode von Prof. Dr. Eberhard Wächtler (10.5.1929–22.9.2010)

Im Alter von 81 Jahren ist nach langer, schwerer Krankheit am 22. September 2010 in Dresden der langjährige Direktor des Instituts für Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens und Leiter des Wissenschaftsbereichs Wirtschaftsgeschichte und Geschichte der Produktivkräfte der Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft an der Bergakademie Freiberg, Eberhard Wächtler, verstorben.

Wächtler hatte an der Karl-Marx-Universität Leipzig 1948 bis 1953 Geschichte studiert und dort 1957 mit einer Arbeit zur Geschichte der Lage der Bergarbeiter im sächsischen Steinkohlenrevier Lugau-Oelsnitz von 1889 bis 1914 zum Dr. phil. promoviert. Seit 1953 arbeitete er in Leipzig zunächst als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Deutsche Geschichte der Universität Leipzig und dann von 1955 bis 1962 als wissenschaftlicher Assistent, Oberassistent und zuletzt als wissenschaftlicher Arbeitsleiter an der Außenstelle Leipzig der Abteilung Wirtschaftsgeschichte des Instituts für Geschichte an der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Hier wurde er zum Schüler des wohl renommiertesten DDR-Wirtschaftshistorikers und langjährigen Mitglieds des ZK der SED, Jürgen Kuczynski (1904–1997), dem er zeitlebens auch freundschaftlich verbunden blieb. 1969 habilitierte sich Eberhard Wächtler an der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock bei Gerhard Heitz und Jürgen Kuczynski.

Zum 15. Dezember 1962 wurde Wächtler „zum Professor mit Lehrauftrag“ für das Fachgebiet Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens und Direktor des gleichnamigen Instituts an der Bergakademie Freiberg berufen. Er war damit der erste Direktor dieses bereits 1954 gegründeten Instituts und übernahm als erste große Aufgabe die wissenschaftliche Vorbereitung der 200-Jahr-Feier der Bergakademie 1965 und mit ihr die Herausgabe der zu diesem Anlass erarbeiteten zweibändigen Festschrift „Bergakademie Freiberg 1765–1965“. In den folgenden drei Jahrzehnten seiner Tätigkeit an der Bergakademie fungierte Wächtler nicht nur als verantwortlicher Redakteur der Reihe D der Freiburger Forschungshefte mit den Untertiteln „Kultur und Technik“ (1962–1968) und „Geschichte der Produktivkräfte“ (1968–1989), sondern auch als

Verfasser und Herausgeber von rund 400 weiteren Publikationen, darunter die Monografien „Geschichte der Bergstadt Freiberg“ (1986), „Technische Denkmale in der DDR“ (1. Aufl. 1983), der „Freiberger Bergbau“ (1. Aufl. 1985), „Bergbau im Erzgebirge“ (1990) oder „Der silberne Boden. Kunst und Bergbau in Sachsen. Darüber hinaus wirkte Wächtler von 1968 bis 1990 als Vorsitzender des Herausgeberkollegiums der wissenschaftshistorisch bedeutenden und in Leipzig verlegten Reihen „Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner“ sowie „Oswalds Klassiker der exakten Wissenschaften“. Von 1958 bis 1965 sowie erneut ab 1982 war er schließlich Mitglied im Redaktionsbeirat der Sächsischen Heimatblätter.

Auch in der Lehre sowie in der Ausbildung von Doktoranden an der Bergakademie Freiberg hinterließ Wächtler nachhaltige Spuren. Groß ist die Zahl seiner Schüler, die bei ihm Belegarbeiten oder Dissertationen verfassten. Geradezu legendär waren Wächtlers Doktoranden-seminare ...

Über die Grenzen der Bergakademie und Freibergs hinaus engagierte sich Eberhard Wächtler vor allem im Bereich der historischen Schulung von schreibenden Arbeiterkollektiven sowie bei der Gründung und Konzipierung von technischen Museen und dem Erhalt von technischen Denkmälern in der DDR. Hingewiesen sei hier nur auf das Technische Museum Tobiashammer Ohrdruf, das Bergbaumuseum Oelsnitz sowie den niemals realisierten Plan zu einem zentralen Bergbaumuseum der DDR. Als Mitglied des Nationalkomitees für Geschichte und Philosophie der Wissenschaften der DDR bei der Akademie der Wissenschaften nahm er darüber hinaus eine wichtige Rolle bei der organisatorischen und inhaltlichen Gestaltung der Wissenschafts- und Technikgeschichte in der DDR ein. Deutlich wird dies auch durch seine Funktion als offizieller Vertreter der DDR in internationalen Organisationen wie dem Exekutivkomitee von ICOTHEC (Internationales Komitee für Geschichte der Technik), dem Board von TICCIH (Internationales Komitee für die Erhaltung des industriellen Erbes) und CIMUSET (Internationales Komitee für technische und wissenschaftliche Mu-

seen), wobei er dort zeitweise führende Positionen übernahm Für ICOTHEC, dem Wächtler seit 1974 als Mitglied angehörte, organisierte er im September 1978 das internationale ICOTHEC-Symposium in Freiberg und fungierte von 1989 bis 1993 als 2. Sekretär und Vorstandsmitglied. Im Vorstand von TICCIH, dem Wächtler seit 1978 angehörte, übernahm er von 1984 bis 1990 die Funktion des Schatzmeisters.

Wächtler, der in Freiberg 1967 zum „Professor mit vollem Lehrauftrag“ sowie 1969 im Zuge der dritten DDR-Hochschulreform zum „ordentlichen Professor für Wirtschaftsgeschichte und Geschichte der Produktivkräfte“ avancierte, nahm sowohl innerhalb der Bergakademie Freiberg wie auch im Wissenschaftssystem der DDR eine wichtige Funktion ein, was

neben seinem zweifelsfreien fachlichen Können als Wirtschafts- und Technikhistoriker nicht zuletzt auch mit seiner zeitlebens beibehaltenen und offensiv vertretenen Überzeugung als Kommunist und überzeugtes SED-Mitglied mit besten Verbindungen bis in das Politbüro zusammenhing. 1946 in die SED eingetreten, fungierte er zunächst als Arbeitsgebietsleiter und Sekretär für Arbeit und Sozialpolitik beim FDJ-Kreisvorstand in Dresden. 1968 wurde er an der Bergakademie, deren SED-Hauptpartelleitung er ab 1976 als Mitglied angehörte, zunächst Prodekan und dann 1980 Dekan der Fakultät für Gesellschaftswissenschaften. 1961 und 1967 wurde er als „Aktivist“, 1967 mit der Ehrennadel der Bergakademie sowie 1984 mit dem Vaterländischen Verdienstorden der DDR in Bronze

ausgezeichnet. Als zuverlässiger „Reisekader“ vertrat er nicht nur die DDR, sondern vielfach auch den gesamten Ostblock auf internationalen Tagungen im „kapitalistischen Ausland“.

Im Sommer 1989 lernte ihn so der Autor, damals Assistent an der Universität Stuttgart, auf dem in Hamburg und München stattfindenden großen internationalen IUHPS-Kongress (Internationale Union für Geschichte und Philosophie der Wissenschaften) kennen. Wächtler leitete und kontrollierte dort die DDR-Delegation, der erstmals auch jüngere DDR-Wissenschaftler angehörten. Jedes offene Gespräch damals zwischen uns jüngeren Kollegen aus Ost und West erstarb augenblicklich, sobald Eberhard Wächtler den Raum betrat.

■ Helmut Albrecht

## Zum Gedenken an Professor Dr. Eberhard Wächtler

Der Verein, die Universität, die Stadt Borken (Hessen), das Hessische Braunkohle Bergbaumuseum und die gleichnamige Stiftung trauern um Professor Dr. Eberhard Wächtler, der am 22. September 2010 im Alter von 81 Jahren in Dresden verstorben ist.

„Als Wissenschaftler und Montanhistoriker begründete Prof. Dr. Wächtler u. a. den Ruf Borkens als Forschungsstandort für die Geschichte des Braunkohlenbergbaues und der Energieerzeugung. Er publizierte zahlreiche Fachaufsätze, etablierte die „Borkener Montanhistorischen Kolloquien. Prof. Wächtler knüpfte soziale Netzwerke, setzte zahlreiche Ideen und Projekte erfolgreich um.“

Bernd Heßler, Bürgermeister und Vorsitzender des Vorstands der Stiftung Hessische Braunkohle, Bergbaumuseum



Bildnis Eberhard Wächtler. Christoph Wetzel, Öl auf Leinwand, 2008

### Promotionen 1.7.2009–30.6.2010

#### Fakultät für Mathematik und Informatik

Dipl.-Math. Lochmann, Kristin	29.07.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Math. Pranke, Nico	17.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Inform. (FH) Elsner, Antje	19.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Math. Güttel, Stefan	12.03.2010	Dr. rer. nat.

#### Fakultät für Chemie und Physik

M. chem. (UA) Bakumov, Vadim	01.07.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Phys. Ghosh, Michael	03.07.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Heimfarth, Jan	11.09.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Patzig-Klein, Sebastian	11.09.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Fester, Gerrit	18.09.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Nat. Heinzel, Elke	30.10.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Felsmann, Marika	06.11.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Schneider, Jana	26.02.2010	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Wollmann, Georgia	05.03.2010	Dr. rer. nat.
M. Sc. Xie, Dan	26.03.2010	Dr. rer. nat.
Dipl.-Phys. Leisegang, Tilmann	09.04.2010	Dr. rer. nat.
M. Sc. Munawar, Sultana	23.04.2010	Dr. rer. nat.
Dipl.-Nat. Buchwald, Rajko	21.05.2010	Dr. rer. nat.
Dipl.-Geoökol. Herrmann, Steffi	28.05.2010	Dr. rer. nat.
Dipl.-Chem. Bok, Frank	18.06.2010	Dr. rer. nat.

#### Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

Dipl.-Geophys. Schwarzbach, Christoph	10.08.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Ing. Günther, Ralf-Michael	07.10.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Geol. Rumbaur, Christian	27.11.2009	Dr. rer. nat.
M. Sc. N'Zau Umba-di-Mbudi, Clement	11.12.2009	Dr.-Ing.

Dipl.-Geoökol. Hildebrand, Heike	14.12.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Ing. Glöckner, Michael	08.01.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Grund, Klaus	08.01.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Geoökol. Falk, Hieke	29.01.2010	Dr. rer. nat.
M. Sc. Wijaya, Arief	30.04.2010	Dr. rer. nat.
M. Sc. Shahzad, Faisal	11.05.2010	Dr. rer. nat.

#### Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik

Dipl.-Ing. Hengst, Ronny	28.09.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Chem. Paeslack, Ralf	26.10.2009	Dr. rer. nat.
Dipl.-Ing. Rabold, Frank	09.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Rudert, Alexander	13.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Löbig, Rico	13.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. (FH) Kratzsch, Alexander	24.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Wippler, Stefan	27.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Kaltenborn, Nadine	09.03.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. (FH) Schlechtriemen, Nadja	12.03.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. (FH) Britsch, Heinz	19.03.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Moldenhauer, Patrick	29.04.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Schmidt, Peter	04.06.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Aitsuradze, Malkhaz	04.06.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Klapper, Peter	09.06.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Leuschel, Roland	28.06.2010	Dr.-Ing.

#### Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

Dipl.-Ing. (FH) Pfeil, Thilo	07.07.2009	Dr.-Ing.
M. S. T. Glowig, Andreas	08.07.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Phys. Jüngling, Lorenz	28.08.2009	Dr.-Ing.

Dipl.-Wi.-Ing. Horstmann, Jens	20.11.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Münter, Daniel	11.12.2009	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Schubert, Tobias	29.01.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Motylenko, Mykhaylo	09.04.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Hünert, Daniela	12.04.2010	Dr.-Ing.
M. Sc. Al-Mukhtar, Ahmed	16.06.2010	Dr.-Ing.
Dipl.-Ing. Miklin, Anton	18.06.2010	Dr.-Ing.

#### Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Schöpe, Tom	10.07.2009	Dr. rer. pol.	
Master in Humanitarian Action	Yupari Aguado, Anida	29.10.2009	Dr. rer.
Dipl.-Kfm. Grigoleit, Jens	03.11.2009	Dr. rer. pol.	
Dipl.-Kffr. Roespel, Kristin	06.11.2009	Dr. rer. pol.	
Dipl.-Kfm. Uhlig, Tilo	10.12.2009	Dr. rer. pol.	
Dipl.-Kfm. Suray, Martin	13.01.2010	Dr. rer. pol.	

### Habilitationen 1.7.2009–30.6.2010

#### Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

Dr. rer. nat. Gregor Ollesch	am 12. Januar 2010	zum Dr. rer. nat. habil.
Dr. rer. nat. Olaf Elicki	am 8. Juni 2010	zum Dr. rer. nat. habil.

#### Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

Dr.-Ing. Magsud Masimov	am 15. Dezember 2009	zum Dr.-Ing. habil.
-------------------------	----------------------	---------------------

#### Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Dr. rer. pol. Martin Reimann	am 14. Juli 2009	zum Dr. rer. pol. habil.
------------------------------	------------------	--------------------------

## Geburtstage unserer Vereinsmitglieder – Herzliche Glückwünsche und Glück auf!

### 60. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Alpers, Heino, Wiesbaden
- Dipl.-Ing. oec. Böhme, Barbara, Chemnitz
- Dipl.-Chem. Böhme, Rainer, Königsbrück
- Dipl.-Ing. Friedrich, Thomas, Suhl
- Prof. Dr.-Ing. habil. Groß, Ulrich, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Jobst, Wieland, Rostock
- Herr Menzel, Harald, Flöha
- Dr.-Ing. Morgenstern, Rolf, Zwickau
- Dr. Müller, Thomas, Fischbach
- Prof. Dr. Otto, Matthias, Oberschöna
- Dr. Stöcker, Horst-Martin, Dinslaken
- Dr. Schwab, Bruno, Mülheim a. d. Ruhr
- Dipl.-Ing. Thi Tuyet Minh, Le, Hanoi
- Dr. phil. Vetter, Hildburg, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagner, Steffen, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Weber, Horst, Halsbrücke
- Prof. Dr. Wolf, Rainer, Dresden
- Dr.-Ing. Wollenberg, Ralf, Brand-Erbisdorf

### 65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Behrendt, Hans-Peter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Beutler, Dietmar, Heideblick
- Dipl.-Ing. Buschmann, Bernd, Döbeln
- MtA Fischer, Irmtraud, Dannenberg
- Dr. Haase, Wilhelm, Flöha
- Dipl.-Buchhandelswirt Hackel, Barbara, Freiberg
- Prof. Dr. Helbig, Rolf Falk, Dresden
- Dr.-Ing. habil. Hunger, Hans-Jörg, Erfstadt
- Prof. Dr.rer.nat.habil. Kohaupt, Ludwig, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Löber, Peter, Oederan
- Dr. e. h. Middelschulte, Achim, Essen
- Prof. Dr. sc. Möller, Uwe Peter, Bestensee
- Dr.-Ing. Serrano, Carlos, Potosi
- Dipl.-Ing. Schönberg, Joachim, Zwickau
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Walter, Rückersdorf
- Dr. rer. nat. Voigt, Reinhard, Krefeld

### 70. Geburtstag

- Dr. Astrachanckij, Vladimir S., Moskau
- Dr.-Ing. Benedix, Volker, Freiberg
- Frau Brückner, Johanna, Freiberg
- Dipl.-Ing. Eckhardt, Dieter, Essen
- Dr. rer. nat. Erler, Klaus, Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. Forkmann, Bernhard, Nossen
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Grabbert, Gert, Freiberg
- Dipl.-Ing. Heinrich, Claus, Bernburg
- Herr von der Heyden, Dietrich, Moritzburg
- Dr.-Ing. Hofmann, Walter, Freiberg
- Prof. Dr. Kausch, Peter, Brühl
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kuhnert, Gerd, Falkenau
- Dr. rer. nat. Kühn, Peter, Berlin
- Dr.-Ing. Kühne, Wulf, Frauenstein
- Dr.-Ing. Mühl, Peter, Berlin
- Prof. Dr. Naumann, Friedrich, Chemnitz
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Naundorf, Wolfgang, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. hc. Oettel, Heinrich, Freiberg
- Dipl.-Ing. Petrasch, Wolfram, Machern
- Dipl.-Ing. Pötzsch, Herbert, Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. habil. Pusch, Gerhard, Freiberg
- Frau Steinmetz, Hella, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schnelldorfer, Lothar, Riesa
- Herr Schnitzler, Hans, Spremberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schubert, Gert, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schulze, Helmut, Oranienburg
- Dr.-Ing. Schüttoff, Michael, Dresden
- Frau Tetzner, Ruth, Freiberg
- Prof. Dr. Thomas, Berthold, Dresden
- Prof. Dr. sc. oec. Trost, Hans-Georg, Zittau
- Dr. rer. nat. Vogel, Jochen, Steinach
- Dr.-Ing. Wenninghoff, Eva, Freiberg
- Dr.-Ing. Wiesner, Herbert, Freiberg

### 75. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Budde, Klaus, Bitterfeld
- Dr. rer. nat. Burghardt, Oskar, Krefeld-Bockum
- Dr. rer. nat. Gärtner, Karl-Heinz, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Gerhardt, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Hartz, Horst-Edgar, Rosengarten
- Dipl.-Ing. Hofmann, Lothar, Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. habil. Krauß, Armin, Freiberg

- Dipl.-Ing. Lehmann, Rudolf, Borna
- Oberlehrer i. R. Menzel, Ernst, Freiberg
- Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Müller, Helmut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Müller, Klaus, Leipzig
- Dipl.-Ing. Rübsam, Rudolf, Vacha
- Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Frechen
- Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg

### 80. Geburtstag

- Dr.-Ing. Breitbarth, Hans-Jürgen, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
- Prof. i. R. Dr. Franeck, Heinzjoachim, Dresden
- Dr.-Ing. Hampel, Manfred, Bochum
- Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
- Dipl.-Ing. Köstler, Bernhard, Dortmund
- Dr.-Ing. Kraft, Heinz, Bad Reichenhall
- Dipl.-Ing. Meinig, Klaus, Dresden
- Herr Mester, Egon, Buxtehude
- Dr.-Ing. habil. Mohry, Herbert, Leipzig
- Prof. Dr. Dr. Müller, Georg, Clausthal-Zellerfeld
- Dipl.-Ing. Schawohl, Friedrich, Wilkau-Haßlau
- Markscheider Dr.-Ing. Schulze, Günter, Bad Liebenwerda
- Prof. Dr.-Ing. habil. Steinmetz, Richard, Cottbus
- Prof. Dr.-Ing. Uhlig, Dieter, Altenberg
- Prof. i. R. Dipl.-Geol. Voigt, Günter, Cottbus
- von Oppel, Christian, Saarlouis
- Dipl.-Berging. Weidel, Hans, Aschersleben
- Dr.-Ing. Wilde, Eberhard, Hennigsdorf
- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

### 81. Geburtstag

- Markscheider Dr.-Ing. Dittrich, Georg, Berlin
- Dr. phil. Dr.-Ing. e. h. Freiesleben, Werner, Pullach
- Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
- Dipl.-Ing. Krug, Martin, Bedburg
- Dipl.-Geologin Reuter, Renate, Freiberg
- Oberlehrer Richter, Friedrich, Freiberg

- Dipl.-Ing. Schubert, Wolfgang, Bad Elster
- Prof. em. Dr. rer. oec. Unger, Lothar, Dresden

**82. Geburtstag**

- Markscheider Dr.-Ing. Bognitz, Horst, Halle
- Dipl.-Ing. (FH) Günßler, Peter, Kempen
- Dipl.-Ing. Hirsch, Wolfram, Erkrath
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried
- Dr. rer. nat. Knothe, Christian, Freiberg
- Markscheider Dipl.-Ing. Marx, Hans-Joachim, Freiberg
- Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Steinhardt, Rolf, Freiberg
- Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Ullrich, Hellmuth, Sondershausen
- Prof. Dr.-Ing. Wild, Heinz Walter, Dinslaken

**83. Geburtstag**

- Herr Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxemburg
- Dr.-Ing. e. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin
- Prof. Dr. sc. techn. Schmidt, Reinhardt, Weimar
- Dipl.-Ing. Stolpe, Egon Emanuel, Nürnberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagenbreth, Otfried, Freiberg

**84. Geburtstag**

- Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Röbert, Siegfried, Weimar
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Schneider, Herbert A., Freiberg
- Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Schubert, Heinrich, Freiberg
- Prof. em. Dr. Dr. h. c. Weber, Franz, Leoben

**85. Geburtstag**

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
- Dr.-Ing. Boltz, Gerhard, Lutherstadt Eisleben
- Markscheider Dipl.-Ing. Hartnick, Dieter, Freiberg
- Prof. em. Dr. Junghans, Rudolf, Freiberg
- Dipl.-Ing. Reimann, Dieter, Kronberg

- Oberingenieur Unland, Johann, Hofheim
- Prof. Dr. habil. Wünsche, Manfred, Freiberg

**86. Geburtstag**

- Prof. Dr. Heitfeld, Karl-Heinrich, Aachen

**87. Geburtstag**

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erfstadt-Bliesheim
- Dipl.-Berging. Katzmann, Otto, Nordhausen
- Prof. em. Dr. phil. habil. Uhlmann, Harro, Freiberg

**88. Geburtstag**

- Prof. Dr. jur. Dipl.-Ing. Weißflog, Johannes, Leipzig

**89. Geburtstag**

- Dr.-Ing. Baunack, Fritz, Bad Hersfeld

**90. Geburtstag**

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

**93. Geburtstag**

- Prof. em. Dr.-Ing. Neumann, Alfred, Schöneiche

**Geburtstagsjubiläen begehen nach dem 19. November 2010 weiterhin:**

**60. Geburtstag**

- Dipl.-Ing. Grabner, Hanjürgen, Sennowitz

**70. Geburtstag**

- Prof. Dr.-Ing. habil. Häfner, Frieder, Freiberg
- Prof. Dr. habil. Heegn, Hanspeter, Freiberg
- Prof. Dr. h. c. Stoyan, Dietrich, Freiberg

**75. Geburtstag**

- Dr.-Ing. oec. Gräbner, Rolf, Chemnitz
- Dr. Hildmann, Eckart, Fulda
- Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde

**80. Geburtstag**

- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Besser, Dietmar, Dresden

**81. Geburtstag**

- Dr. rer. nat. Dipl.-Geophys. Hiersemann, Lothar, Leipzig

- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig
- Dipl.-Ing. Nitsche, Fritz, Magdeburg
- Dipl.-Ing. Schulz, Lothar, Gotha

**82. Geburtstag**

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhoß

**84. Geburtstag**

- Dipl.-Ing. Krug, Günther, Lutherstadt Eisleben

**85. Geburtstag**

- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Mülheim a. d. Ruhr

**89. Geburtstag**

- Dipl.-Ing. Gärtner, Jürgen, Radebeul

**Markscheider Beyer 90 Jahre alt**

Am 5. September 2010 vollendete Markscheider Dipl.-Ing. Kurt Beyer das 90. Lebensjahr. Eine Würdigung seines beruflichen Lebensweges durch J. Fenk ist anlässlich seines 80. Geburtstags in dieser Zeitschrift (vgl. 7. Jahrgang 2000, S. 87) erschienen. In den vergangenen zehn Jahren hat Kurt Beyer den Kontakt zu seinen Freunden und Fachkollegen weiter aufrechterhalten. Mit großem Interesse verfolgte er die Entwicklung des Markscheidewesens und seiner alma mater. Trotz seines hohen Alters reiste er alljährlich nach Freiberg zu den Geokinematischen Tagen des Markscheide-Instituts und den Barabarafeiern der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg.

Seine Freunde und Fachkollegen wünschen dem Jubilar mit einem kräftigen Glück auf weiterhin alles Gute und beste Gesundheit.

*Ad multos annos!  
Georg Dittrich*

**Der Verein wünscht allen Lesern seiner Zeitschrift ein frohes Weihnachtsfest und ein gesundes Neues Jahr 2011 !**

# Autorenverzeichnis 2010

- Dr. Torsten Abraham, HGC GmbH Freiberg
- Prof. Dr. phil. habil. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. E. h. Frank Asbeck, Deutsche Solar AG Freiberg
- Martin Baldauf, TU Bergakademie Freiberg
- Rechtsanwalt Klaus-Dieter Barbknecht, Verbundnetz Gas AG
- Prof. Dr. habil. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Alexander Böhme, UFZ Department Ökologische Chemie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig; TU Bergakademie Freiberg
- Tobias Brehm, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Christoph Breitzkreuz, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Horst Brezinski, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kffr. Linda Clauß, TU Bergakademie Freiberg
- Steffen Dach, TU Bergakademie Freiberg
- Florian Degenhart, Wacker Chemie AG, München
- Markscheider Dr.-Ing. Georg Dittrich, Berlin
- Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Olaf Elicki, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Marco Enderlein, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Matthias Endisch, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. e. h. Dr. Michael Eßlinger, Freiberger Brauhaus GmbH
- Dr.-Ing. Karl-Heinz Eulenberger, Freiberg
- Dipl.-Sportl. Bernd Eulitz, TU Bergakademie Freiberg
- Bastian Fermer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Babett Fiebig, Düsseldorf
- Dr.-Ing. Thomas Folgner, TU Bergakademie Freiberg
- William Förster, TU Bergakademie Freiberg
- Hans Friebe, Freiberg
- Prof. Dr. habil. Jürgen Garche, Ulm
- Dipl.-Geol. Lutz Geißler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Manfred Goedecke, IHK Chemnitz
- Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Grabow, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. pol. Jens Grigoleit, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Groß, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Heiner Gutte, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jens Gutzmer, TU Bergakademie Freiberg
- Manfred Hahn, TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Hantsch, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Christian Hasse, TU Bergakademie Freiberg
- Wilfried Heibel, Schneeberg
- Dr. rer. nat. Jan Heimfarth, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Wolfgang Keschel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Heiko Hessenkemper, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. pol. habil. Michael Höck, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Joachim Hofmann, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner, Technische Hochschule Mittweida
- Kerstin Hutte, Freiberg
- Dipl.-Geol. Manuela Junghans, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Nat. Thomas Kaden, TU Bergakademie Freiberg
- Caroline Kannwischer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Peter Kausch, Brühl
- Jacob Kleinow, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr. habil. Peter Klimanek, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. pol. Andreas Klossek, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Volker Köckritz, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar, Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.
- Erika Krüger, München
- Dr.-Ing. Steffen Krzack, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Thomas Kuchling, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Meinhard Kuna, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Jan Lampke, TU Bergakademie Freiberg
- Veraldo Liesenberg, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Marcus Lippold, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Alexandra Loukou, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Maier, Freiberg
- Univ.-Prof. (a. D.) habil. Horst Malberg, Berlin
- Prof. Dr. habil. Ulrich Martin, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Patrick Masset, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Magister Torsten Mayer, TU Bergakademie Freiberg
- Oberlehrer i. R. Ernst Menzel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Christian Möls, Freiberg
- Dr.-Ing. Petr Nikityuk, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. pol. Michael Nippa, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Beate Nitz, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Werner Pälchen, Halsbrücke
- Dipl.-Ing. Robert Pardemann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Katja Polanski, TU Freiberg
- Dr. Georg Prinz zur Lippe, Proschwitz
- Christian Quaas, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Reissig, TU Bergakademie Freiberg
- Karsten Reiter, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Uta Rensch, TU Bergakademie Freiberg
- Uwe Richter, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Jan Roscher, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Gert Rütger, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Stefan Schafföner, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. oec. Sabine Schellbach, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Michael Schlömann, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Jörg Schneider, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Rüdiger Frhr. v. Schönberg, Thammenhain
- M.Sc. Chem. Franziska Schramm, UFZ Department Ökologische Chemie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig; TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. Wolfgang Schulle, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerrit Schüürmann, UFZ Department Ökologische Chemie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig; TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Hans Jürgen Seifert, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. habil. Thomas Seifert, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Karin Sichone, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr. oec. habil. Dieter Slaby, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kaufr. Anne Stoermer, TU Bergakademie Freiberg
- Magister Katrin Stump, Universitätsbibliothek
- Dipl.-Nat. Dirk Tischler, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Dimosthenis Trimis, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Bernd Ullrich, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Sebastian Voigt, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. habil. Wolfgang Voigt, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. (FH) Stefan Voß, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Harald Walter, LfULG Dresden
- Christoph Wetzler, Ringenhain
- Alexander Wirp, VNG AG
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Dieter Wolf, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Dominik Wondrusch, UFZ Department Ökologische Chemie, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig; TU Bergakademie Freiberg
- Iris Wunderlich, TU Bergakademie Freiberg
- Huogin Xiong, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Päd. Lesya Zalenska, TU Bergakademie Freiberg

Herausgeber:	Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. 1921 als Gesellschaft der Freunde der Bergakademie gegründet, 1990 Neugründung Technische Universität Bergakademie Freiberg	Geschäftsstelle:	Nonnengasse 22, 09599 Freiberg
Vorsitzender:	Prof. e. h. Dr.-Ing. Klaus-Ewald Holst	Telefon:	03731 39-2559, 39-2661
Geschäftsführer:	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar	Fax:	03731 39-2554
Stellv. Vorsitzender:	Prof. i. R. Dr. rer. nat. habil. Christian Oelsner	E-Mail:	freunde@zuv.tu-freiberg.de
Redaktionsleitung:	Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer	Internet:	http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html
Redaktionskollegium:	Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Dr. Manfred Bayer, Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, Dr.-Ing. Klaus Irmer, Dr. Herbert Kaden	Jahresbeitrag:	30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder
Gestaltung/Satz:	Brita Gelius	Für Nichtmitglieder:	7,00 EUR pro Heft
Druck:	druckspecht offsetdruck & service gmbh	Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung von Herausgeber und Redaktion wieder. Keine Haftung für unverlangt eingesandte Manuskripte. Die Autoren stellen die Beiträge honorarfrei zur Verfügung. Auszugsweiser Nachdruck von Beiträgen bei Angabe von Verfasser und Quelle gestattet.	
Auflage:	1.400	Männliche/weibliche Form: Aus Gründen der Vereinfachung und besseren Lesbarkeit ist in den Beiträgen gelegentlich nur die männliche oder die weibliche Form verwendet worden.	
Die Zeitschrift wird an Mitglieder des Vereins kostenlos abgegeben.		Wir bitten, fehlende Doppelnennungen zu entschuldigen.	
Postanschrift Verein:	Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. 09596 Freiberg, Akademiestraße 6		

## BEITRITTSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich meinen Beitritt zum Verein "Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V." als

**Persönliches Mitglied** \*)

**Firmenmitglied** \*)

\*) zutreffendes bitte ankreuzen

---

Name	Vorname	Geburtsdatum	Titel/Fachgebiet
------	---------	--------------	------------------

---

Telefon	Fax	E-Mail
---------	-----	--------

Private Adresse:

---

Straße	PLZ/Ort
--------	---------

Firma:

---

Name	Straße	PLZ/Ort
------	--------	---------

---

Telefon	Fax	E-Mail
---------	-----	--------

Kontaktperson:

---

Ich wähle als Beitragszahlungsverfahren:

Jährliche Überweisung selbst

Einzugsverfahren (*Formular wird Ihnen zugesandt.*)

Datum, Unterschrift:

*Postalische Beitrittserklärung bitte an: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.,  
Akademiestraße 6, 09599 Freiberg.*

*Elektronische Beitrittserklärung: Ich/wir erkläre(n) meinen/unseren Beitritt elektronisch ohne  
Unterschrift. E-Mail des Vereins: freunde@zuv.tu-freiberg.de*

Postanschrift: Akademiestraße 6, 09599 Freiberg  
E-Mail: freunde@zuv.tu-freiberg.de  
Internet: <http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html>  
Telefon, Fax: +49(0)3731/39 25 59, +49(0)3731/39 25 54  
Geschäftsstelle: Freiberg, Nonnengasse 22, 1. Etage, Zimmer: 1.12

Vorsitzender: Prof. e. h. Dr.-Ing. Klaus-Ewald Holst

Geschäftsführer: Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar

Schatzmeister: Prof. Dr. Horst Brezinski

Schriftführer: Prof. Dr. Volker Köckritz

Bankverbindung: Sparkasse Mittelsachsen  
BLZ: 870 520 00, Kontonummer: 311 501 4430  
(IBAN: DE 55870520003115014430, BIC: WELADED1FGX)

Mitgliedsbeitrag: Persönliche Mitglieder: 30,00 €/Jahr, Firmenmitglieder: 250,00 €/Jahr,  
Studenten: beitragsfrei

Die Beitragszahlung erfolgt bevorzugt im Lastschrifteinzugsverfahren oder durch Überweisung bis spätestens im Monat Juni des Jahres.