



Zum Geleit

ACAMONTA

Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

19. Jahrgang 2012

Editorial

Die globalen Herausforderungen für zukunftsorientiertes wirtschaftliches, ökologisches und soziales Handeln – Klimawandel, Rohstoffmangel, Wasserknappheit, Verlust an Biodiversität und Bodendegradation – verlangen in den nächsten beiden Dekaden integrale Lösungsansätze, die von einer exzellenten Forschung wirkungsvoll unterstützt werden. Es gilt dabei, vornehmlich solche Entwicklungen auf den Weg zu bringen, die dem für die Menschheit existenzentscheidenden Prinzip der Nachhaltigkeit verpflichtet sind. Die mit Bedacht prominent platzierten Ausführungen von U. Simonis und S. Jähn in dieser Ausgabe unserer Zeitschrift apostrophieren – auch emotional – den gesellschaftspolitisch richtungweisenden, mahnenden Aufruf zum engagierten Eintreten für die Bewahrung des Lebens auf unserem „blauen Planeten“. Forschung für Nachhaltigkeit als Leitmotiv für die im vorderen Heftteil zu lesenden Beiträge benennt das grundlegende, *systemische* Verständnis, das besonders dort walten sollte, wo es darauf ankommt, innovativen Technologiekonzepten und -anwendungen zum Durchbruch zu verhelfen – High-Tech-Strategien, die sich am Imperativ des verantwortbaren Umgangs mit den für die Menschheit essenziellen Ressourcen messen können. Es muss gelingen, jene Pfade qualitativen Wachstums aufzuzeigen, die Wohlstand mit einem Bruchteil des derzeit „normalen“ Ressourceninputs und entsprechend reduzierten Emissionen ermöglichen und damit eine auf Dauer verlässliche Energie- und Rohstoffversorgung bei weitgehender Schonung der erschließbaren natürlichen Ressourcen – m.a.W.: eine markante Erhöhung der sog. Energie- und Rohstoffproduktivität. Eine strenge Ausrichtung auf eine auch *global* nachhaltige Entwicklung eröffnet, intelligent gestaltete Rahmenbedingungen für die einschlägigen Leitmärkte vorausgesetzt, große Chancen für die Weltwirtschaft, getragen von einer immer intensiveren Vernetzung mit der Wissenschaft.

Unsere TU mit dem Profil einer Ressourcenuniversität fokussiert sich mit diesem Leitgedanken auf die Aktionsfelder der Rohstoffgewinnung im Kontext mit verbesserten Geotechnologien, mit deutlich erhöhter Energie- und Materialeffizienz bei bestmöglichem Schutz der Umwelt. Sie setzt auf trans- und interdisziplinäre Forschungskonzepte, die auch international schlüssiger vernetzt werden – im engen Verbund mit einer darauf ausgerichteten Lehre (Rektor B. Meyer). Bei der breiten Entfaltung ihrer Kompetenz für rohstoffstrategisches, auf Ressourceneffizienz zielendes Vorausdenken im Geiste des bereits 1713 von Oberberghauptmann Hannß Carl von Carlowitz formulierten Nachhaltigkeitsbegriffs erfährt unsere Alma mater willkommene, wirkungsvolle Unterstützung durch die führenden Persönlichkeiten und Gremien der Universitätsstadt Freiberg (OB B.-E. Schramm).

Die wissenschaftlichen Geo-Aktivitäten der Bergakademie stehen in fruchtbarer Wechselbeziehung mit den Forderungen der Industrie wie auch mit den Zielen, die die Bundesregierung

über spezielle Förderprogramme zur langfristigen Sicherung der Rohstoffversorgung anvisiert (Steinbach, Ratschbacher).

Die komplementär dazu notwendige Intensivierung des Recyclings von Materialien – insbesondere solcher, deren Rohstoffbasis als strategisch kritisch gelten muss, gewinnt erheblich an Gewicht (Hagelüken, Palitzsch, Bertau). Sie findet deshalb immer stärker betonte Berücksichtigung in den Freiburger Forschungsprojekten zur Erhöhung der Material- und Energieeffizienz. Die anerkannte Kompetenz der Forschungsprofilinie Werkstoffe und Materialien kommt überzeugend in den mit Erfolg akquirierten Großprojekten (darunter zwei SFB, das ADDE) zum Tragen und in den von Repräsentanten der Fakultät für Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie für unser Heft verfassten Beiträgen zum Ausdruck (Stelter, Biermann, Kawalla, Zenker, Lehmann, Krüger, Joseph). Sie spiegelt sich – ebenfalls interdisziplinär – auch in praktischen Anwendungen wider, wie etwa in der Fahrzeugsicherheitstechnik (Kröger) oder in der Entwicklung neuer Halbleitermaterialien. Die Universität besitzt auf diesem Feld eine vorzügliche, teilweise unikal zu nennende Ausstattung mit modernen Großgeräten zur Werkstoffherzeugung und -charakterisierung. Ein hohes Leistungsniveau, erwachsen aus einer langen, hauseigenen Tradition, hat z. B. die vielseitige Anwendung von Röntgenbeugungstechniken für die Strukturanalyse von Materialien (Rafaja et al., Oettel et al.).

Der fundamentalen Bedeutung des Nachhaltigkeitsgarantie für das Leben künftiger Generationen verpflichtet, verbreitert und vertieft unsere Universität ihre Forschungsaktivitäten zum Monitoring und zum Schutz der Umwelt, darunter in Projekten zum Studium der Biodiversität anhand von Nachhaltigkeitssindikatoren (Achtziger), zur Wasseraufbereitung (Repke), zur Entwicklung und Realisation mikrobiologisch determinierter Prozesslinien zum Schadstoffabbau (Hüttl), zur Rohstoffgewinnung und zum Recycling einschließlich der Nutzung von Genom-Untersuchungen in Prozessen der Geotechnologie und der sogenannten weißen Biotechnologie. Eine hohe wirtschafts- und umweltpolitische Relevanz (und Brisanz!) haben die schon langjährig betriebenen Forschungen zu Verschlussbauwerken für Untertagedeponien und Endlager für radioaktive Abfälle (Kudla). Wirtschaftlich ebenfalls sehr bedeutsam ist die Bilanzierung von Emissionsrechten (Rogler).

2012 war ein Jubiläumsjahr für die Würdigung der Leistungen eines genialen Gelehrten unserer Universität: August Wilhelm Lampadius', des Pioniers der Gaslichterzeugung auf dem europäischen Kontinent, erfolgreichen Eisenmetallurgen und Chemikers (Zschoke, Kretzschmar, Steyer). Allen Autoren gilt unser herzlicher Dank.

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

Die Bedeutung einer sicheren Rohstoffversorgung wächst.
Vorwort des Vereinsvorsitzenden Klaus-Dieter Barbknecht. . . . 4
Die TU Bergakademie Freiberg gratuliert Erika Krüger
zum Sächsischen Verdienstorden und zur Ehrenmedaille 4

Aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technik

Freiberg und die Nachhaltigkeit. Rückblicke, Augenblicke –
Einblicke, Ausblicke (B.-E. Schramm) 5
Das Prinzip der Nachhaltigkeit an der
TU Bergakademie Freiberg (B. Meyer) 10
Die Freiburger Weltkonferenz zur nachhaltigen Nutzung der
Rohstoffressourcen der Erde – ein Carlowitz-Erbe
(B. Meyer, A. Wulkow, T. Mayer, G. Roewer). 12
Eindrücke aus dem Orbit – Der blaue Planet Erde (S. Jähn) 16
Ökologischer Strukturwandel und Green New Deal –
Verschiedene Wege zur Nachhaltigkeit (U. E. Simonis) 19
Die Aktivitäten der Deutschen Rohstoffagentur (DERA)
(V. Steinbach, P. Buchholz) 26
Recycling von Platin-Gruppen-Metallen – ein Rollenmodell
für weitere Technologiemetalle? (C. Hagelüken) 30
Innovative Recyclingstrategien aus Sachsen
(W. Palitzsch, U. Loser) 36
Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an der
TU Bergakademie Freiberg (H. Biermann, U. Mörters) 38
Sonderforschungsbereich 799 41

Entwicklung eines membranbasierten nachhaltigen
Aufbereitungsverfahrens für saure Grubenwässer
(P. Steinberger, R. Haseneder, J.-U. Repke) 73
Ressourcenfabrik in Aktion – Kontinentalkollision an der Spitze
Indiens (Afghanistan, Tadschikistan) (L. Ratschbacher) 77
Forschung zum Einsatz von Bitumen und Asphalt bei
geotechnischen Verschlussbauwerken für
Untertagedeponien und Endlagern für radioaktive Abfälle
(U. Glaubach, W. Kudla) 81
Wie kann man Nachhaltigkeit messen? Der bundesdeutsche
Nachhaltigkeitsindikator für Artenvielfalt und
Landschaftsqualität als Beispiel (R. Achtziger) 86
Monitoring mikrobiologischer Prozesse mittels Kalorimetrie
(N. Frank, J. Harmel, A. Lißner, T. Weling, M. Winkelmann,
R. Hüttl) 90
Förderbescheid für Genomforscher an der TU Bergakademie Freiberg
(S. Schmitt) 93
Sorberent Enhanced Reforming – Ein alternativer Weg
zur Wasserstoffproduktion aus Erdgas (C. Sprung) 94
Forschung für die Energiewende BioRedKat untersucht
Biokraftstoffe (S. Voß) 95
Bilanzierung von Emissionsrechten in Deutschland –
eine Analyse ausgewählter Geschäftsberichte (S. Rogler) 96
Möglichkeiten und Grenzen der wertpapiergestützten
Mittelstandsfinanzierung (A. Horsch, J. Kleinow) 97



Das Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe – Ressourcen-
effiziente Materialerzeugung (M. Stelter, H. Bombach,
O. Pätzold, G. Morgenstern, E. Niederschlag) 41
Steuerung von Eigenschaften in Magnesiumbändern durch
neuartige Umformtechnologien (C. Schmidt, R. Kawalla) . . . 46
Der Elektronenstrahl zeigt Wirkung
(R. Zenker, A. Buchwalder) 48
Neue Universalumformpresse am Institut für Metallformung
(R. Kawalla, G. Lehmann) 51
Institut für Werkstofftechnik – Hochgeschwindigkeitsprüflabor
(L. Krüger, S. Wolf, D. Ehinger) 52
Thermomechanische Ermüdung – eine komplexe Beanspru-
chung (M. Hoffmann, R. Kolmorgen, H. Biermann) 54
Nanobaukasten für die sensorische Atemanalyse
(M. Falk, R. Dittrich, Y. Joseph) 57
Keramik unter Strom – Resistive Datenspeicher (M. Franke) . . . 60
Virtuelles Institut MEMRIOX (T. Moebus, S. Rentrop,
H. Stöcker, B. Abendroth, D. C. Meyer) 61
100 Jahre Röntgenbeugung – Aktuelle Entwicklungen in
der Strukturforschung mit Röntgenstrahlen
(D. Rafaja, H. Stöcker, D. C. Meyer, R. Kleeberg) 63
Anpassung aktiver Fahrzeugcrashstrukturen an mögliche
Unfallsituationen (W. Geißler, A. Kreyßig, M. Kröger) 67
Phosphatrecycling (V. G. Greb, P. Fröhlich, M. Bertau) 70

Aus dem Vereinsleben

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2011 100
Wesentliche Aktivitäten des Vereins im laufenden Jahr 2012 . . . 101
Wiedersehen, Erinnern, Neuentdecken (J. Schulze-Rehagel) . . 103
Bernhard von Cotta-Preis 2011:
Robotertechnologie aus Freiberg: Eine Erfolgsgeschichte
(H. B. Amor) 104
Vorkonditionierte „all-at-once“-Verfahren für große,
schwach besetzte Parameterschätzprobleme (J. Weißflog) . . 105
200 Jahre Gastechnik in Deutschland, seit W. A. Lampadius
1812 in Freiberg (H.-J. Kretzschmar) 106
Vor 200 Jahren brannte Gaslicht in Freiberg (K. Zschoke) . . . 108
W. A. Lampadius und die Freiburger Eisenhüttenkunde
zu Beginn des 19. Jahrhunderts (H.-L. Steyer) 112
In die Welt hinaus (S. Roewer) 115
Forschungsaufenthalt in Copiapó, Chile
(L. Brückner und M. Ueckert) 117
Teilnahme am European Geothermal PhD Day 2012
in Pisa (T. Grab) 118
Future Petroleum Engineers Forum 2012, Peking (M. Farack) . 119
16th International Heat Pipe Conference (IHPC) 2012
Lyon, France (T. Weickert) 119
Geländearbeit und Probenahme im Sultanat Oman
(M. Häring) 120

Zur American Conference of Information Systems
in Seattle, USA (**M. Pospiech**) 121
ACHEMA 2012 – Die Studenten der Verfahrenstechnik
sind dabei (**S. Pohl**) 121
Berg- und Hüttenleute Freiberg e. V. 122

Universität aktuell

Entscheidungen, Initiativen, Projekte – Auszug aus dem
Rektoratsbericht der TU Bergakademie Freiberg 2011. 123
Bergakademie punktet beim Deutschlandstipendium. 127
Profilorientierte Wirtschaftswissenschaften: Energie- und
Ressourcenwirtschaft (**A. Horsch, J. Kleinow**) 127
Fraunhofer und TU Bergakademie weihen in Freiberg
neues Technikum ein. 128
Wozu noch ein E-Learning-Projekt? Zum Einsatz Neuer Medien
an Hochschulen und zum Aufbau einer Koordinationsstelle
E-Learning an der TU Bergakademie Freiberg (**A. Bergert**) . 129
Wohnst du noch oder lebst du schon? So wohnt es sich
als Student in Freiberg (**B. Fermer**). 134
Kein großer Ärger mit Bologna – Übergang zwischen Bachelor
und Master funktioniert (**S. Dreikorn**) 134
Studieren im fernen Osten? Warum ostdeutsche Hochschulen
die besseren sind (**B. Fermer**). 134
Als Studienbotschafter auf Messen – Studienwerbung ist
auch Studierendensache (**B. Fermer**) 138

„Die Teilnahme ist frei für jedermann“ – 20 Jahre
Studium generale an der TU Bergakademie Freiberg
(**U. Schöbel, R. Biakowski**) 157
Absolventen der Bergakademie in der Praxis erfolgreich
(**D. Griebel**) 158
Ausstellung Deutsche Minerale eröffnet 161
Sammlung, Forschung und Lehre, Ausstellung (**G. Heide**). 161
Chilenisches Technologie- und Ausbildungszentrum wird
nach Freiberger Absolventen benannt (**B. Seidel**). 164

Historie

Ignacio und Casimiro Domeyko (**B. Seidel**) 165
„Metropolis“ als Geburtstagsgeschenk – 60 Jahre
Studentenkino (**T. Schmalz**) 167
Wieder ans Licht gebracht – Burg und Dominikanerkloster
zu Freiberg (**D. Gräf, T. Westphalen**) 168
Leben versteinertes Welten – Paläontologische Illustrationen
(**F. Spindler**) 170
Bergbaugeschichte in Filz – Christa Fischer aus Freiberg
gestaltet Bergwerksanlagen (**C.-M. Höppner**) 171
Johann Sebastian Bach und der Ursula-Erbstollen, Teil I
(**E. Spree**) 171
Der Drei-Brüder-Schacht: Vergangenheit, Gegenwart –
Zukunft? (**B. Seidel**) 175
Glück auf! – der Berge uralt Zauberwort (**E. Menzel**). 179



Dettler, Müller / TU Bergakademie Freiberg

Freiberger Physiker erhält renommierten Max-von-Laue-Preis. . 138
Anbindung an das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY
in Hamburg (**Matthias Zschornak**) 139
Neu an der Bergakademie: Psychologische Beratungsstelle
(**C. Butler Manning**) 140
Go out? Zur Entwicklung des Bereichs Auslandsstudium
an der TU Bergakademie Freiberg (**I. Lange**) 140
Drei Jahre Hochschulpartnerschaft Freiberg/Irak
(**M. Junghans, T. Mayer**) 143
Durchs wilde Kurdistan – ein Erfahrungsbericht (**A. Seither**) . . 145
Strategische Rohstoffe – Risikovorsorge. Das 4. Symposium
Freiberger Innovationen 2012 (**J. Matschullat,**
M. Bertau, J. Gutzmer, P. Kausch) 146
Freiberger Forschungsforum:
63. Berg- und Hüttenmännischer Tag. 148
Mission (Im)possible? Die Energiewende als Auftaktthema
der Freiberger Zukunftsgespräche
(**S. Gloaguen, A. Hanebuth**) 149
Dem neuen Berggeschrey in Sachsen verpflichtet. Interview
mit dem Freiberger Oberberghauptmann Bernhard Cramer . . 150
Was für ein Erlebnis! Als Nummer 441 beim historischen
Freiberger Festumzug dabei (**C.-M. Höppner**) 154
20 Jahre Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts-
und Technikgeschichte (IWTG) (**H. Albrecht**) 155

Zur Geschichte der Röntgenografie an der TU Bergakademie,
Teil 1 (**H. Oettel**) 180
175. Geburtstag von Carl Heinrich Adolf Ledebur
(**G. Grabow**) 187
Modellgeschichten, Teil 1: Das wiedererstandene Modell
einer Bessemer-Birne (**F. Jentsch**) 188
100 Jahre nichtrostender Stahl (**H.-J. Spies**) 189
Chronik 2013 (**R. Volkmer, N. Pohl**) 193

Personalia

Zum 60. Geburtstag von Prof. Bernd Meyer, Rektor
der TU Bergakademie Freiberg (**Red., B.-E. Schramm**) . . . 194
Wolf-Dieter Jacobi neues Mitglied des Freiberger Hochschulrats . 195
Geburtstage unserer Vereinsmitglieder 196
Prof. Dieter Janke 76-jährig verstorben 198
Prof. Hans Hofmann (31. Mai – 21. Juli 2012) 198
Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder 198

Buchbesprechungen

Herbert Pffor: Freiberg – Stadt auf silbernem Boden. 199
Joachim Link: Rendezvous mit Freiberg 199
Autorenverzeichnis 200
Impressum 200

Die Bedeutung einer sicheren Rohstoffversorgung wächst

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Themen Rohstoffsicherheit, Ressourcen, Energieversorgung beschäftigen unsere Politiker, Unternehmen, Institutionen und Forschungseinrichtungen nach wie vor in hohem Maße. Die zunehmende Bedeutung einer sicheren Rohstoffversorgung für die wirtschaftliche Entwicklung spiegelt sich auch in zahlreichen politischen und privatwirtschaftlichen Initiativen wider – selbst aus der Medienlandschaft sind diese Themen nicht mehr wegzudenken und erreichen die Verbraucher sogar per Talkshow. Es gibt mittlerweile zahlreiche Ausbildungsformen, in deren Rahmen Fachkenntnisse auf diesen Feldern erworben werden können.

Der Beschaffungsmarkt hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten gravierend verändert. Das Wachstum der Schwellenländer und der sich damit stetig verbessernde Zugang vieler Menschen zu Mobilität und Elektrizität lassen den Rohstoffbedarf ständig steigen. Aufgrund dieser stürmisch wachsenden Nachfrage wird es einen harten Konkurrenzkampf um die Ressourcen geben. Darauf zu reagieren, ist besonders für Deutschland eine große Herausforderung, denn es ist bei vielen strategischen Rohstoffen, die für die Industrieproduktion erforderlich sind, von Importen abhängig. Der Auf- und Ausbau bilateraler Rohstoffpartnerschaften wird weiterhin eine zentrale Rolle spielen. Dies belegen einschlägige Initiativen der deutschen Wirtschaft. Neben der Rohstoffallianz der deutschen Industrie möchte ich das von der TU Bergakademie mitgegründete Deutsch-Russische Rohstoff-Forum (DRRF), das sich intensiv für eine bessere Positionierung deutscher Unternehmen bei der Rohstoffsicherung einsetzt, hervorheben. Unter dem Titel „Kooperation und Innovation“ fand im Frühjahr dieses Jahres die 5. Deutsch-Russische Rohstoff-Konferenz statt. 300 Vertreter aus Wirtschaft, Politik und Wissenschaft aus Deutschland und der Russischen Föderation diskutierten über die Gestaltung der bilateralen unternehmerischen Zusammenarbeit und die gemeinsame wissenschaftlich-technische Tätigkeit in den Bereichen Ressourceneffizienz, Recycling und Spezialrohstoffe. Im Rahmen der Konferenz schlossen die TU Bergakademie Freiberg und die Region Omsk (Westsibirien) eine Kooperationsvereinbarung zur gemeinsamen Erforschung innovativer Technologien zur ganzheitlichen Verarbeitung von Rohstoffen sowie bei der Ausbildung von Fach- und Führungskräften.

Die erfolgreiche internationale Entwicklung im Rahmen des DRRF demonstriert, wie wichtig und effektiv es ist, Wissenschaft und Wirtschaft miteinander zu verzahnen, um Lösungen für aktuelle und zukünftige Herausforderungen zu erarbeiten. Hierin sind die Wissenschaftler von morgen umfassend einzubeziehen! Vom festen Willen, dieses frühzeitig Realität werden zu lassen, zeugen auch die vom Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg sowie vom DRRF gestifteten Preise (Bernhard-von-Cotta bzw. Georgius-Agricola-Preis). Hervorheben möchte ich auch die gemeinsame Initiative der TU Bergakademie Freiberg und des Staatlichen Bergbauinstituts St. Petersburg zur Gründung eines Weltforums für Nachhaltigkeit. Vertreter aus über 50 Ressourcenuniversitäten unterzeichneten in Freiberg aus Anlass des 20. Jahrestages der Rio-Umweltkonferenz eine Deklaration zur nachhaltigen Rohstoffsicherung. Ein Hauptthema ist auch hierin die Ausbildung von Fach- und Führungskräften im Rohstoffbereich. Die TU Bergakademie setzt sich für eine hochqualifizierte Ausbildung und Weiterbildung von Fach- und Führungskräften im Rohstoffbereich ein. Die Förderung junger Menschen auf diesem Gebiet sollte der deutschen Wirtschaft und Wissenschaft ein primäres Anliegen sein. Sie ist die beste Antwort auf unsere Zukunftsfragen. Ich blicke mit der Zuversicht in die Zukunft, dass die TU Bergakademie langfristig Erfolg haben und sich auch international als „Universität der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft“ etablieren wird. Der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg wird diese dabei weiterhin unterstützen. Glückauf!

Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, Vorsitzender des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg



Die TU Bergakademie Freiberg gratuliert Erika Krüger zum Sächsischen Verdienstorden und zur Ehrenmedaille

Am 1. März überreichte der sächsische Ministerpräsident Stanislaw Tillich Erika Krüger in der Staatskanzlei in Dresden den Sächsischen Verdienstorden. Mit dieser Auszeichnung ehrt der Freistaat Sachsen Menschen, die sich im politischen, wirtschaftlichen, kulturellen, sozialen, gesellschaftlichen oder ehrenamtlichen Bereich in herausragendem Maße engagiert haben. Mit dem Sächsischen Verdienstorden wird damit in diesem Jahr eine Frau gewürdigt, die in den letzten Jahren Großes für die Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg geleistet hat. „Freiberg und die Universität haben Erika Krüger in ihr Herz geschlossen, sie setzt sich mit allen Kräften für die Bergakademie ein und ist Botschafterin für unsere Universität weit über die Grenzen Sachsens hinaus“, sagte Rektor Prof. Bernd Meyer.

Im Jahr 2006 stiftete der gebürtige Freiburger Peter Krüger unter der ausdrücklichen Zustimmung seiner Frau Erika der TU Bergakademie Freiberg Teile seines Immobilienvermögens und gründete die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung in Erinnerung an seinen Vater. Diese Stiftung gilt als eine der größten privaten Einzelstiftungen an einer deutschen Universität. Nach dem Tod Peter Krügers im Jahr 2007 hat Erika Krüger den Stiftungsvorsitz übernommen und leistet seit-

her eine engagierte Arbeit. Zweck der Stiftung ist die Förderung der praxis- und anwenderbezogenen Wissenschaften und die Forschung an der TU Bergakademie Freiberg. Ein weiterer Stiftungszweck ist der Aufbau und das Betreiben einer Geowissenschaftlichen Sammlung im Krüger-Haus. Mit eigenen privaten Mitteln hat Erika Krüger das Amtshaus des Schlosses Freudenstein in Freiberg saniert, um dieses zur Heimstätte einer weltweit bedeutenden mineralogischen Privatsammlung werden zu lassen. Den Sanierungsprozess begleitete Erika Krüger im engen Kontakt zu den Planern, Architekten und Baufirmen und realisierte eigene, persönliche Akzente. Mit der Sanierung des Schlosses und der Eröffnung der terra mineralia erhielt die Universitätsstadt Freiberg als wissenschaftliches und kulturelles Zentrum einen neuen Anziehungspunkt, der weit über die Stadtgrenzen hinaus ausstrahlt.

Am 5. Oktober – anlässlich des Festakts zur Einweihung des Krügerhauses – verlieh Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm Erika Krüger die Ehrenmedaille der Stadt Freiberg für ihre Verdienste um den Universitätsstandort.

Die Angehörigen der Universität und die Mitglieder des VFF gratulieren der Stifterin herzlich zu den beiden Ehrungen!

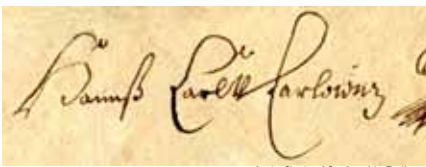


Freiberg und die Nachhaltigkeit

Rückblicke, Augenblicke – Einblicke, Ausblicke

Bernd-Erwin Schramm

Hannß Carl von Carlowitz war Oberberghauptmann in Freiberg und mit seinem Werk „Sylvicultura oeconomica, oder haußwirthliche Nachricht, und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht“ von 1713 gilt er als Schöpfer des Nachhaltigkeitsbegriffs.



Antje Ciecior / Stadtarchiv Freiberg

Unterschrift von Carlowitz

Sein Ansatz inspirierte auch Alexander von Humboldt, Absolvent der Bergakademie, der mit seinen Forschungen zur Pflanzengeografie Grundlagen für den Ökologiebegriff schuf. Freiberg als Wiege der Nachhaltigkeit: eine komfortable Ausgangslage für den Oberbürgermeister und ein schönes Gefühl, wenn „Nachdenken über Nachhaltigkeit“ angesagt ist. Denn Geschichte hat nach Golo Mann immer zwei Komponenten: „das, was geschehen ist, und den, der das Geschehene von seinem Orte in der Zeit sieht und zu verstehen sucht. Nicht nur korrigieren neue sachliche Erkenntnisse die alten; der Erkennende selber wandelt sich.“ Eine Kommission der Vereinten Nationen unter Leitung der norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland definierte 1987 den Begriff Nachhaltigkeit für unsere Zeit: „Den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“. Im Ergebnis der UN-Konferenz in Rio de Janeiro 1992 sollte das Schlussdokument in diesem Sinne auf lokaler, regionaler,

staatlicher und überstaatlicher Ebene als Aktionsprogramm Agenda 21 umgesetzt werden. Deutschland hat 2002 seine erste Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen, und Kommunen haben daraus unter dem Motto „Global denken – lokal handeln“ ihre individuelle Agenda 21 abgeleitet, denn es gibt keine allgemein gültigen Patentrezepte, um die Herausforderungen für nachhaltige Entwicklung im lokalen Maßstab zu meistern. Nachhaltigkeit betrifft als Querschnittsthema alle Lebensbereiche, wie Gouvernance/Verwaltung, Klima/Ressourcen, Mobilität/Infrastruktur, Wirtschaft/Arbeit, Bildung/Integration sowie Lebensqualität und Stadtstruktur.

Hier soll der Blickwinkel im geschichtlichen Kontext vor allem auf der Managementperspektive und auf den strategischen Aspekten, wie zukunftsfähigem Verwaltungshandeln oder generationengerechter Haushaltsführung, liegen. Die Vielfalt nachhaltiger Entwicklung machen dabei ausgewählte Beispiele nachhaltiger Stadtgestaltung, Identität stiftender Kultur sowie der zukunftsfähige Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort deutlich.¹

Vor rund 850 Jahren entstanden in der Region des späteren Sachsens Strukturen, die für die künftige Entwicklung über Jahrhunderte hinweg bestimmend waren. Dort lag der Anfang Sachsens mit seinen besonderen mentalen und kulturellen Prägungen, und damals gelang auch der Sprung zur europäischen Innovationsregion. In der Stadtwerdung Freibergs bündelten sich dabei die entscheidenden Elemente dieses großen Umschwungs: Kolonisation, Silber und Stadt. Freiberg steht deshalb wie kein



Stadtverwaltung Freiberg

Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm mit Amtskette

anderer Ort hierzulande für den großen zivilisatorischen Aufschwung am Beginn sächsischer Geschichte, und seine Entwicklung ist seitdem untrennbar von den Beziehungen zwischen Stadt und Montanwesen geprägt.² Diese Verbindung hat das Gesicht der Stadt, die kommunalen Geschehnisse, das Leben der Menschen und die natürliche Umwelt über Jahrhunderte hinweg unverwechselbar gestaltet. Bereits der Stadtgründungsprozess ist sehr eng mit der Gewinnung silberhaltiger Erze verknüpft, und insbesondere aus dem Bergbau und dem Hüttenwesen erwachsen Leistungen, Erfindungen und Entdeckungen, wie sie in Qualität und Quantität nur wenige andere Städte aufzuweisen haben.

Vor 850 Jahren, zu Beginn der 2. Hälfte des 12. Jahrhunderts, ließ Markgraf Otto von Meißen im heutigen Freiberg Land für die Siedlungen Christiansdorf, Tuttendorf und Berthelsdorf Wald roden und übertrug sie dem Kloster Altzella. Als auf Christiansdorfer Flur 1168 silber-

haltiges Erz entdeckt wurde, holte sich Otto, später der Reiche genannt, diese Dörfer zurück, um selbst Bergbau betreiben zu können. Er setzte damit eine Entwicklung in Gang, die Freiberg bereits nach wenigen Jahrzehnten zur größten Stadt der Mark Meißen machte und den Wohlstand der ganzen Region begründete. Ungeachtet des heutigen Stellenwerts unserer Stadt in der sächsischen Wirtschaft, Wissenschaft und Kultur gab und gibt es aber Augenblicke der Geschichte, in denen individuelle oder Partikularinteressen strategisch sinnvolle Entscheidungen zur nachhaltigen Entwicklung der ganzen Region auch verhindert haben. Heute gehört Tuttendorf zu Halsbrücke und Berthelsdorf zu Weißenborn. Diese Gemeinden waren gemeinsam mit Muldenhütten/Hilbersdorf Jahrhunderte lang klassische Industrievororte unserer Stadt. Halsbrücke ist heute – durch eine Rehaklinik in Hetzdorf nach der Eingeb-

eben auch im Freiburger Land immer wieder genutzte Zeit und verschwendete Zeit. Dabei geht es bei möglichen Gemeindegemeinschaften nicht nur einfach um Größe oder gar Eitelkeiten. Es geht für uns alle um einen kommunalen Standortwettbewerb im großen Stil. Der Ausgang dieses Wettbewerbs wird langfristig über Wohl und Wehe aller Bürger im Freiburger Land entscheiden. Wir haben mit dem großen Potenzial des Wirtschafts-, Wissenschafts- und Kulturstandorts Freiberg und des Freiburger Landes auch zwischen Leipzig, Dresden und Chemnitz noch eine Chance. Wir müssten sie im Sinne nachhaltiger Entwicklung nur noch nutzen! Solche Einflussmöglichkeiten auf die eigene Entwicklung waren im Lauf der Zeit nicht immer gegeben.

Im 13. Jahrhundert war Freiberg wirtschaftlicher Mittelpunkt und zugleich die bevölkerungsreichste Stadt der Mark

Jahrhundert erlebte die Stadt Freiberg in der Rolle als Nebenresidenz in Sachsen einen Höhepunkt ihrer Geschichte. Mit dem Konfessionswechsel von August dem Starken zum Ende des 17. Jahrhunderts änderten sich allerdings die Grundlagen seiner weiteren Entwicklung, denn das Mutterland der Reformation wurde nun katholisch regiert. Der Dom mit der Begräbniskapelle der Wettiner war als Grablege nicht mehr gefragt, und die Dresdner Herrscher verloren das Interesse an unserer Stadt. Aufgeklärte, fortschrittliche Beamte von Landesregierungen aller Zeiten hatten aber schon immer aus gutem Grund großes Interesse an Freiberg als Zentrum des sächsischen Montanwesens.³

Die landesherrliche Gründung der Bergakademie als erste Spezialhochschule ihrer Art erfolgte im 18. Jahrhundert in einer Zeit der Krise des sächsischen Bergbaus und des sächsischen Staates.



Freiberger Stadtplan von 1743

Antje Ciecior / Stadtarchiv Freiberg

meindung von Niederschöna – offiziell sogar ein Kurort in Sachsen, obwohl es traditionell seit 400 Jahren ein Hüttenstandort ist. Weißenborn ist in einer Verwaltungsgemeinschaft mit Lichtenberg, nur Muldenhütten ist inzwischen doch bei Freiberg, allerdings ohne die Hilbersdorfer Bürger, die nun zu Bobritzsch gehören. Dabei stünde doch gerade den ehemaligen Ratsdörfern oder besser den Orten des früheren Freiburger Bergbaureviers – einschließlich Oberschöna und Brand-Erbisdorf – der Name „Vorort“ auch zu eigenem „Nutzt und Frommen“ gut zu Gesicht.

Die Besiedlung unserer Region und die Entwicklung der Stadt Freiberg vom Silber zum Silizium war und ist eine Erfolgsgeschichte; aber es gab und gibt

Meißen. Stadt- und Bergverfassung waren eine beispielgebende Einheit, und bürgerliche Autonomie hatte einen hohen Stand. Nach einer Krise im Bergbau des 14. Jahrhunderts verlor Freiberg wegen der Abwanderung von Kapital im 15. Jahrhundert seine führende Wirtschaftsposition in Sachsen an Leipzig. Doch im 16. Jahrhundert war Herzog Heinrich der Fromme der Auffassung: „Wenn Leipzig mein wäre, wollt ich es (er meint den Ertrag) in Freiberg verzehren“. Heinrich der Fromme, der zwei Jahre das albertinische Sachsen regierte, hatte natürlich nicht nur einen guten Geschmack, denn sein langjähriger Vorgänger im Amt des Regenten, Georg von Sachsen, sagte einmal: „Leipzig trägt im Jahr dreimal, Freiberg jedoch viermal Frucht“. Im 16.

Dazu passt auch, dass die Bergakademie 1765 im Zeichen der Aufklärung ins Leben gerufen wurde. Nach Kant war das schließlich der Ausgang des Menschen aus seiner selbstverschuldeten Unmündigkeit, und die Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen wissenschaftlich zu begründen und vorhandene Ressourcen besser zu nutzen, stand damals schon aus gutem Grund auf der Tagesordnung. Als am 21. November 1765 der sächsische Prinzregent schriftlich seine Zustimmung gab, begann in Deutschland eine Erfolgsgeschichte für die Entwicklung des höheren Bildungswesens im technischen Bereich, und als älteste Montanuniversität der Welt kann die Bergakademie heute auf gewachsene Kernkompetenzen im Profil einer

Ressourcenuniversität aufbauen. Die Beziehungen von Dresden und Freiberg haben eben immer schon eine besondere Rolle gespielt. Ein Oberberghauptmann als Vorsteher des Sächsischen Oberbergamtes Freiberg ist dafür schließlich auch heute noch ein lebender Beweis. Es ist an der Zeit, erneut Maßstäbe zu setzen, sodass Freiberg als nationales Rohstoffkompetenzzentrum mit Unterstützung der sächsischen Landesregierung Anerkennung findet.

In kaum einer anderen Stadt oder Region sind die Sparten der Rohstoffwirtschaft und -wissenschaft seit Jahrzehnten so vollständig beieinander, so eng vernetzt und so in der Stadt und im Geist ihrer Bürger integriert wie in Freiberg. Auch das Profil unserer Ressourcenuniversität spricht schließlich „nachhaltig“ für sich: Geo-Material-Energie-Umwelt. Wenn es das neudeutsche Wort „Cluster“ für räumliche Ballung, für ein Netzwerk

Kultur und für Innovationen, die unsere Region attraktiv und leistungsfähig machen. Mit dem Deutschen Brennstoffinstitut DBI Bergakademie als Standort der Kohleforschung werden in Freiberg für die Lösung zukunftsweisender Fragen der Ressourcenforschung und Energieversorgung wichtige Beiträge geleistet. Und die Entscheidung, das Deutsche Ressourcentechnologieinstitut mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf in Freiberg anzusiedeln, war folgerichtig, da so die Arbeit mit erfahrenen Partnern auf eine noch breitere Basis gestellt wird, um dem Potenzial und einzigartigen Profil des Universitätsstandorts Freiberg zu entsprechen und um damit Stärken auszubauen.

Der Erzbergbau war die Grundlage der Entwicklung unserer Stadt, und das den Herzschlag bestimmende Element dabei war und ist unsere Bergakademie, die seit langem auch als wichtiger Im-

und spannt den Bogen vom Münzsilber zum Glanz von Siliziumscheiben und Solarmodulen, zum Gallium, Indium oder Lithium in der Gegenwart. Mit dieser Rohstoffkompetenz gab es immer wieder Optionen einer zukunftsorientierten Entwicklung der Stadt und mit den gegenwärtigen Initiativen sogar für das ganze Land. Ist es doch erst wenige Jahre her, dass in Deutschland die Branchen und Institutionen der Rohstoffwirtschaft nur „nachhaltig belächelt“ und als Auslaufmodelle gehandelt wurden. Man wollte es tatsächlich nicht mehr wahrhaben, dass Rohstoffe eine tragende Rolle spielen, wenn es national und auch international um nachhaltiges Wirtschaften geht. Jetzt, wo es „IN“ ist, über Rohstoffe zu sprechen und viele vom Saulus zum Paulus werden, ist es aber gut, sich an das Wissen unserer Vorfahren zu erinnern: Bergbau braucht langen Atem. Zur Ausbeute gehört immer auch Zubeu. Und



Botschaft der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft: Freiberg ist keine Stadt nur für eine Nacht – denn in Freiberg gehen Wissenschaft, Wirtschaft und Stadt seit jeher nachhaltig in einer fruchtbaren Beziehung Hand in Hand.



Ministerpräsident Stanislaw Tillich, Bundesforschungsministerin Prof. Annette Schavan und der Präsident der Helmholtz Gemeinschaft, Prof. Jürgen Mlynek, tragen sich anlässlich der Gründung des Helmholtz-Instituts Freiberg Ende August 2011 auf der Reichen Zeche ins Ehrenbuch der Universitätsstadt ein, während Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm den Ehrungstext verliest.

von ähnlichen Institutionen und Unternehmen der Wissenschaft, Forschung und Technologie zur Gewinnung, Veredlung und zum Recyceln von Rohstoffen nicht bereits gäbe, dann hätten wir es für die einmalige Konzentration rohstoffrelevanter Akteure in Freiberg einfach erfinden müssen. Und deshalb gibt es derzeit wohl keinen anderen Ort in Deutschland, an dem Ressourceneffizienz in Bezug auf strategische Rohstoffe so nachhaltig thematisiert und so intensiv diskutiert wird wie in Freiberg. Und in den wechselvollen Zyklen der Rohstoffwirtschaft gab es immer wieder segensreiche Impulse für neue Gewerbe, für Wissenschaft,

pulsgeber für die regionale Wirtschaft großen Einfluss auf die Ansiedlung von Unternehmen hat. Deshalb trägt Freiberg die Bergakademie nicht nur im silbernen Herzen, sondern seit 15 Jahren als Universität auch offiziell und stolz im Namen: Universitätsstadt Freiberg. Ohne Rohstoffwirtschaft und Rohstoffwissenschaft könnte Freiberg nicht auf 850 Jahre erfolgreiche Entwicklung zurückblicken. Deshalb wirbt auch ein Herz aus Silber für unser Jubiläum in diesem Jahr. Es ist ein Symbol des Bergbaus und des Hüttenwesens, ein verbindendes Sinnbild des Fortschritts und der Zukunft, die wir in dieser Tradition gestalten,

eine tiefe Bekehrung oder innere Erneuerung kann nicht bei allen Akteuren immer automatisch vorausgesetzt werden. Es ist aber sicher ein gutes Zeichen für Freiberg, dass unsere Altstadt maßgeblich auch von Gebäuden der Renaissance geprägt ist. Diese Zeit stand schließlich dafür, dass alte Werte und Ideen wieder zum Durchbruch gelangten.

In der Mitte ihrer Geschichte – im 16. Jahrhundert – erlebte die Stadt Freiberg auch wirtschaftlich einen Höhepunkt ihrer Entwicklung. Bürgermeister Rölting berichtete 1593 an die kurfürstlichen Räte in Dresden: „*Es haben die löblichen lieben Alten dieser Lande die Bergwerke*

des Landes Herz ... genannt und wegen der reichen guten Münze haben sich alle Gewerbe im Lande gewaltig gebessert ...“. Das kann man gegenwärtig so nicht unbedingt behaupten. Umso interessanter ist die aktuelle Sonderausstellung „Freibergs Silber – Schweiß und Gier, Macht und Zier“ als Reise durch die Zeit, in der die Stadt, die Region und ganz Sachsen vor allem durch das Silber geprägt wurden. Der Schweiß der Berg- und Hüttenleute war jahrhundertlang vor allem ein Begleiter von Not. Die maßgebende Gier fand sich eher im Dunstkreis der Macht, und die damit verbundene Zier können wir heute noch vielfach bewundern. Der Titel provoziert ganz aktuell in anderer Konstellation Assoziationen zur Gegenwart, die unter dem Aspekt Nachhaltigkeit auch wesentlich für Freiberg sind: Europas Euro – Gier und Schweiß, Zier und Macht. Für den Zustand des Euro stand zweifellos die Gier ursächlich an

Zeit, denn die Rahmenbedingungen für Investitionen werden in absehbarer Zeit nicht besser. So sieht das auch die sächsische Landesregierung. Angesichts rückläufiger Solidarpaktmittelzuweisungen des Bundes – die jährlich um 200 Millionen Euro abnehmen – sowie des absehbaren Verlusts von EU-Fördermitteln ab 2014 müsse „jetzt oder nie“ investiert werden. Auch deshalb würden „keine weiteren Rücklagen mehr gebildet“.⁴

Das philosophische Gleichnis, nach dem ein Esel zwischen zwei Heuhaufen steht und verhungert, weil er sich nicht entscheiden kann, welchen er zuerst fressen soll, haben wir damit ganz sicher im Sinne von Nachhaltigkeit interpretiert. Denn „Nachhaltigkeit ist, wie die Verantwortung auch, offenbar ein Begriff der Rezeptivität und der Reflexion. Wir sind nicht allein, wir kommen und gehen, und die gerade leben dürfen, bauen die Brücken zwischen denen, die gehen und denen, die

gesamtdeutsche Wissenschaftsstruktur einzubinden und mit der Bergakademie als einmaliger Ressourcenuniversität den Forschungsstandort Freiberg neu zu profilieren. Aus der durch Bergbau und Hüttenwesen geprägten Freiburger Montanregion entwickelte sich ein Standort, an dem weltstandbestimmende Verfahren und Ergebnisse von geologischer Erkundung, über Recycling und Umwelttechnik, neue Materialien und deren Verarbeitung sowie erneuerbaren Energien bis hin zur Erhöhung der Energieeffizienz entwickelt und produziert werden.

Aber auch kommunalpolitisch wurden durch Investition in Gewerbegebiete dafür die Grundlagen geschaffen. Die Wirtschaft ist in einem Branchenmix in großer Breite sehr gut aufgestellt. Wir haben Weltmarktführer und eine vielfältige Zuliefererstruktur, aber vor allem durch die enge Verbindung von Wissenschaft und Wirtschaft, Forschung und Techno-



Das Saxonia Areal 1989 (links) und 2012

erster Stelle, und Schweiß entsteht gegenwärtig nicht so sehr wegen der Anstrengung, sondern aus Angst, wie es mit der Währung in Europa weitergeht. Was die Zier betrifft, werden künftige Generationen darüber befinden, was aus unserer Zeit unter Zier zu verbuchen ist. Mit der Macht ist es ohnehin nicht mehr so weit her und vor allem nicht so einfach. Aber für generationengerechte Haushaltsführung lautet eine alte Weisheit: Spare in der Zeit, dann hast du in der Not. Das hat die Stadt Freiberg getan. Unter dem Eindruck von Finanz- und Wirtschaftskrise, Währungsdiskussionen und unkalkulierbaren branchenbezogenen Konjunkturschwankungen haben wir uns aber sicherheitshalber gesagt: Investiere in der Not, dann nimmt es dir niemand in der

kommen werden. So wird Nachhaltigkeit zu einem vertieften wahrhaftigen Begriff, der nicht bloßes merkantiles Kalkül ist.“⁵

In der Neuzeit ab 1990 war es für Wirtschaft und Wissenschaft ein vor allem zu Beginn oft schmerzhafter, aber letztlich erfolgreicher Prozess der Neuorientierung und Umwälzung durch Umstrukturierung, Privatisierung, Neuansiedlung, Existenzgründung und große Investitionen. Erfolgreich, weil in Freiberg kompetente und erfahrene Fachkräfte, Ingenieure und Wissenschaftler mit großem Engagement auf der Grundlage von Traditionen, vorhandenem Know-how und großer Veränderungsbereitschaft einen modernen Industriestandort schaffen wollten. Erfolgreich, weil es gelang, die Freiburger Forschungslandschaft in eine

logie ist unsere Stadt ein Innovationsstandort von besonderer Ausstrahlung. Von Unternehmen der Halbleiterindustrie über Maschinenbau, Gießereitechnik und Feinmechanik, Herstellung von Kondensatoren und Bauelementen, Ausrüstung und Bau von Papiermaschinen, Herstellung von Motorkühlsystemen und Startern für Airbags bis hin zu bedeutenden Unternehmen der Lebensmittelindustrie werden hier Maßstäbe gesetzt. Die Vielfalt der Produkte aus Freiberg ist so bunt wie ein Feuerwerk, das natürlich auch aus Freiberg kommt.

Freiberg hat wie kaum eine andere vergleichbare sächsische Stadt eine Fülle vollendeter Denkmale europäischen Ranges. Der reichhaltige Bestand an kulturellen Werten ist identitätsstiftend

für die Bürger und eine Verlockung für Auswärtige, die uns hilft, unsere weltfene und leistungsfähige Stadt im Herzen Sachsens öffentlichkeitswirksam zu präsentieren. Die vom Deutschen Städtetag herausgegebenen Empfehlungen für eine nachhaltige Tourismuspolitik der Städte lesen sich dabei wie eine Beschreibung dessen, was wir in Freiberg seit geraumer Zeit tun, oder womit wir zumindest auf gutem Wege sind.⁶

Eine funktionierende Verkehrsinfrastruktur steht danach an erster Stelle, die Vitalisierung der städtischen Zentren ist ein Hauptziel stadtpolitischen Handelns. Die Pflege der Baukultur ist bei der Stadtbilderneuerung ein wesentliches Element, das wir nutzen, um die Stadt als ökonomisches System funktionsfähig zu erhalten und gleichzeitig als lebenswertes und touristisch attraktives Umfeld für die Bewohner zu gestalten. Klimaschutz steht auf der Tagesordnung, ist auch in

Ereignistourismus gibt es durch regelmäßige Veranstaltungen, wie Bergstadtfest und Weihnachtsmarkt, langfristig schon gute Erfahrungen, und die 800-Jahr-Feier 1986, der erste Tag der Sachsen 1992 sowie die Veranstaltungen zu „850 Jahre Freiberg“ im Jubiläumsjahr 2012 sind gute Beispiele dafür, dass solche Feste in unserer Stadt gemeinschaftsstiftend und gemeinschaftserhaltend sind und darüber hinaus als nicht zu unterschätzende Vorteile im kommunalen Standortwettbewerb auch einen repräsentativen Aspekt haben, der die Stadt in besonderer Weise auch überregional unverwechselbar macht.

Heute ist Freiberg – von seiner Geschichte geprägt – ein moderner und vielseitiger Wirtschafts-, Wissenschafts- und Kulturstandort mit großen Traditionen in allen Bereichen. Und wir haben eine einzigartige historische Altstadt, die als nahezu geschlossenes Ensemble



wicklung durch Veränderung in unserer Stadt. Es steht für Nachhaltigkeit und für das Wesen der Freiburger, die sich seit jeher erfolgreich den Herausforderungen der Geschichte stellen, während an unserer TU Bergakademie an der Lösung akuter Fragen der Menschheit gearbeitet wird.

Die Universitätsstadt Freiberg nutzt ihre Ressourcen und wahrt ihre Chancen für die nächste Generation. Besucher und Bürger erfahren, was es heißt, in die Silberstadt kommen und Gold finden. Wenn das nicht nachhaltig ist?



(Links): Blick auf die Freiburger Altstadt vom Turm der Petrikirche. (Rechts): Studenten verlassen das Rathaus nach bestandem „Diploma Fribergensis“, einem Studiengang der besonderen Art mit originellen Aufgaben, um sich Freiberg als Wahlheimat auf Zeit schnell näherzubringen. Eine Gemeinschaftsaktion von Stadt, Universität, Studentenwerk und Mittelsächsischem Theater und ein schöner Beleg für das Selbstverständnis der Universitätsstadt.

Freiberg ein Thema, aber vor allem für städtische Ballungsräume wesentlich. Der Kulturtourismus hat natürlich für unsere Stadt eine erhebliche arbeitsmarkt- und stadtentwicklungspolitische Bedeutung. Ein Erhalt der in Freiberg gelebten kulturellen Identität der Bürger mit ihrer Stadt und deren Geschichte ist als Alleinstellungsmerkmal Grundlage dauerhaften Erfolgs. Die Finanzierung der Tourismusförderung und der Vermarktung haben in Freiberg vor allem diesem Anliegen zu entsprechen, wobei künftig den Potenzialen von Wirtschaft und Wissenschaft noch stärker im Geschäftsreiseturismus (Kongresse, Tagungen) entsprochen werden muss. Im

einmalig in Sachsen ist. „Was du ererbt hast von den Vätern, erwirb es, um es zu besitzen. Was man nicht nützt, ist eine schwere Last.“ Goethe wäre stolz auf die Freiburgerinnen und Freiburger, über die Art, wie sie mit diesem Erbe aus mehr als acht Jahrhunderten umgegangen sind. Aber nicht nur das: Seit 850 Jahren ist und bleibt Freiberg ein maßgebender Teil der Innovationsregion Sachsen!

Einzigartig an Freiberg ist – begründet in seiner Geschichte – das Selbstverständnis dieser Stadt: Zukunft aus Tradition. Das Herz aus Silber, das den Freibergern immer wieder mal bis zum Hals schlägt, aber nie in die Hose rutscht, ist Ausdruck beständiger Ent-

Titelbild

Schreibweise des Wortes „Freiberg“ im Wandel der Zeit. Collage: Stadtverwaltung Freiberg, Archiv

Quellen

- 1 Autorenkoll.: Städte für ein nachhaltiges Deutschland. Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), 2011.
- 2 André Thieme: Vortrag Geschichtsstunde in Freiberg am 11. Januar 2012.
- 3 Autorenkoll.: Vom Silber zum Silizium. Universitätsstadt Freiberg 2012.
- 4 Ministerpräsident Tillich und Finanzminister Unland in „Freie Presse“ am 11.07.2012.
- 5 Jörg Coburger: Predigt im Dom zu Freiberg am 24. Juni 2012.
- 6 Deutscher Städtetag: Positionspapier zum Städtetourismus 2012.

Das Prinzip der Nachhaltigkeit an der TU Bergakademie Freiberg

Bernd Meyer

Der Begriff der Nachhaltigkeit kehrt angesichts knapper Ressourcen und komplizierter Gewinnung der Rohstoffe in den Sprachgebrauch der Politik und der Gesellschaft zurück. So verkündete zum Beispiel der Generalsekretär der Vereinten Nationen, Ban Ki-moon, Mitte März dieses Jahres, als er den Bericht des High-Level-Panels „Globale Nachhaltigkeit“ vorstellte, dass neben den nationalen Regierungen auch die Zivilgesellschaft, der private Sektor und die wissenschaftliche Gemeinschaft einbezogen werden müssten, um eine nachhaltige Welt zu bilden. Nur auf dieser Grundlage könne der Wohlstand der Menschheit gesichert werden, ohne den Planeten für kommende Generationen zu zerstören.

Tatsächlich ist das Prinzip der Nachhaltigkeit für den Erhalt des gemeinschaftlichen Wohls unentbehrlich. Der Begriff darf in dieser neuen Diskussion aber nicht zu einer leeren Worthülse verkommen. Möglicherweise sollten wir zunächst einen Schritt zurücktreten, um das Wort wirklich verstehen zu können. Der Schriftsteller Karl Kraus beschrieb den Versuch, einem Begriff intellektuell auf die Spur zu kommen, mit dem Satz: „Je näher man ein Wort ansieht, desto ferner sieht es zurück.“ Er meinte damit, dass es Begriffe gibt, die zwar klar zu sein scheinen, wenn wir sie verwenden, die aber unklar werden, wenn wir versuchen, sie zu definieren. Wir müssen deswegen der Herkunft der politisch-ethischen Substanz von „Sustainable Development – nachhaltige Entwicklung“ nachspüren, um quantifizierbares Potenzial herausarbeiten zu können. Vielleicht trennt sich dann die Spreu vom Weizen.

Es ist unzweifelhaft das Verdienst des Journalisten und Autors Ulrich Grober, die Herkunft des Begriffs Nachhaltigkeit umfassend dargestellt zu haben – zum Beispiel sehr eindrucksvoll in seinem Buch „Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs“ aus dem Jahr 2010. Das Prinzip der

Nachhaltigkeit geht auf den sächsischen Oberberghauptmann Carl von Carlowitz zurück, der Anfang des 18. Jahrhunderts das Wiederaufforsten gefällter Baumbestände zu einem Grundprinzip der Forstwirtschaft machte und deswegen als Vater des Nachhaltigkeitsbegriffs in Deutschland gilt. Beschrieben hatte Carlowitz die Idee 1713 in seinem Werk „Sylvicultura Economica – Anweisung zur wilden Baumzucht“.

Die politisch-ethische Aufladung des Begriffs hat jedoch mit dem Bericht des Club of Rome von 1972 „Grenzen des Wachstums“ und dem Brundtland-Report von 1982 einer „globalen Suchbewegung“ (Grober) Vorschub geleistet. Hier beginnt die Kritik: Nachhaltigkeit ist kein Heilswort! Carlowitz setzte ein Wort der Allgemeinsprache für das gesellschaftliche Projekt des Holzerhaltens ein. Die Vorgabe war, durch eine systematische Waldbewirtschaftung das Land in seinem „Esse“, also seinem Wesen zu bewahren, ein System der Regulierungen, um die kommenden Generationen nicht zu gefährden. Die Vermeidung eines Kollapses – das war der Kern.

Nachhaltigkeit spielt eine zentrale Rolle im Profil der TU Bergakademie Freiberg – eine Tatsache, die auch andere relevante Akteure in diesem Bereich anerkennen. So plant zum Beispiel der Rat für nachhaltige Entwicklung der Bundesregierung zum 300. Jubiläum der Prägung des modernen Nachhaltigkeitsbegriffs, die Carl-von-Carlowitz-Vorlesung in Freiberg zu veranstalten. Als einzige Ressourcenuniversität Deutschlands, die für sich den Status einer national und europaweit führenden Universität auf dem Feld der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft beansprucht, sind wir deshalb gut beraten, den Begriff der Nachhaltigkeit besonders beim Umgang mit Rohstoffen näher zu betrachten. Im Hochschulentwicklungsplan 2020 haben wir Nachhaltigkeit wie folgt verankert:

„Die strategische Ausrichtung der TU Bergakademie Freiberg begründet sich auf ihrem Leitbild. Eckpunkte sind drei strategische Werte: der Wert ‚Nachhaltigkeit‘ für das Ressourcenprofil, der Wert ‚Ausstrahlung‘ für die Anziehungskraft des Ressourcenprofils und der Wert ‚Innovation‘ für die Wertschöpfung. Dieses Wertedreieck umfasst den Leitgedanken der Nachhaltigkeit beim Umgang mit dem ‚System Erde‘, die Faszination der Verbindung von ‚glänzenden Mineralen und geschliffenen Ideen‘ und die Verpflichtung der Ressourcenuni-



Forschung für nachhaltige Entwicklung am Institut für Mineralogie: Doktorand Robert Möckel betreibt die Kristallzüchtung von Seltenen Erden. Seltene Erdmetalle werden in vielen Schlüsseltechnologien eingesetzt und gelten als „Strategische Rohstoffe“. Ihr Wert auf dem Weltmarkt steigt beständig an. Die Forschung für ihre Erkundung, Erschließung und Aufbereitung nimmt an der Bergakademie einen breiten Raum ein.

versität zur Innovation – von der Theorie bis zur technischen Erprobung.“

Hier ist er also, der zentrale Wert unserer Universität: der „Leitgedanke der nachhaltigen Entwicklung beim Umgang mit dem System Erde“. Die Mission, die sich daraus ableitet, lautet dementsprechend: „Die TU Bergakademie Freiberg lehrt und forscht für die umweltverträgliche Versorgung der Gesellschaft mit Ressourcen, die für ein globales Wirtschaftswachstum notwendig sind. Somit legt sie die Grundlage für soziale Gerechtigkeit in der Gesellschaft – in der jetzigen Generation wie auch in den kommenden.“

Im Jahr 2011 haben wir die Professorinnen und Professoren der Bergakademie befragt, welche Rolle sie dem Aspekt der Nachhaltigkeit im Dreiklang Soziales, Ökologie und Ökonomie in Lehre und Forschung beimessen. Die Antworten ergeben vereinfacht Folgendes: Erstens ist zwischen Grundlagen und Anwendung zu differenzieren, und zweitens ergeben sich in der Anwendung klare thematische Schwerpunkte pro Nachhaltigkeit.

Zu den Grundlagen: Ohne wirtschaftliche, ökologische oder soziale Zweckbindung und darum in der wissenschaftlichen Breite als am vordringlichsten bewertet werden die universitäre Grundausbildung und die Grundlagenforschung. Dagegen werden bei der anwendungsbezogenen Lehre Defizite in der Integration des Leitgedankens der nachhaltigen Entwicklung gesehen. Hier ist das bisherige Grundprinzip der Freiburger Lehre als forschungszentrierte Ausbildung ausbaubedürftig. Zwar wird

Wolfgang Thieme / TU Bergakademie Freiberg

durch die enge Verbindung zu Wirtschaft und Industrie über das Grundlagenwissen hinausgehend Praxiswissen und ebenso durch Auslandsangebote interkulturelles Wissen vermittelt, auf diese Weise werden unsere Studenten zu eigenverantwortlichem Entscheiden und Handeln, das dem Nachhaltigkeitsprinzip verpflichtet ist, befähigt, dennoch müssen wir als Ressourcenuniversität hier neue Wege gehen.

Im Juni dieses Jahres gründeten wir zusammen mit der St. Petersburger Bergbauuniversität und 59 weiteren internationalen Universitäten das Weltforum für Nachhaltigkeit der Ressourcenuniversitäten in Freiberg. Im Kern geht es darum, den Leitgedanken der nachhaltigen Entwicklung standardmäßig in die universitäre Ausbildung weltweit zu implementieren. Die unverantwortliche Inkaufnahme von Risiken bei der Rohstoffgewinnung führt zu Umweltschäden mit teils dramatischen Auswirkungen. Als weltweit älteste montanwissenschaftliche Universität sind wir aufgefordert, durch Ausbildung gegenzusteuern. Unser Ziel ist es, ein neues Rohstoffbewusstsein in der globalen Gesellschaft zu verankern.

Bei der Befragung haben sich außerdem im Bereich der Anwendung zentrale Nachhaltigkeitsziele herauskristallisiert:

- die signifikante Verbesserung der Ressourcen- und Energieeffizienz über die gesamte Rohstoff-Wertschöpfungskette und damit einhergehend die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit;
- die signifikante Verringerung des Drucks auf die Ressourcen, insbesondere durch Material- und Energiesubstitution, durch Substitution nicht-erneuerbarer durch erneuerbare Rohstoffe und durch virtuelle Unterstützung;
- die signifikante Verbesserung der Umweltschutzmaßnahmen sowie der Arbeits- und Produktionssicherheit bei Abbau, Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen und Energieträgern entlang der gesamten Rohstoff-Wertschöpfungskette;
- die Kreislaufwirtschaft und das Recycling von Wertstoffen, Abfällen und natürlichen Flächen;
- die Vernetzung der Innovation über die Wertschöpfungskette sowie über den Prozess von der Theorie bis zur Demonstration im großtechnisch übertragbaren Maßstab.

Unsere aktuellen Forschungsschwerpunkte können dies noch weiter ver-

deutlichen: Die Wissenschaftler der TU Bergakademie Freiberg arbeiten über die theoretischen Grundlagen bis zur Anwendung an neuen Photovoltaik- und Halbleitermaterialien, neuen Magnesium-, Eisen- und Nichteisen-Werkstoffen, neuen Hochtemperatur-Keramik/Metall-Kombinationen, neuen Super-Hartstoffen und Beschichtungen, an der kohlendioxidarmen Kohlechemie, an neuen Funktionsmaterialien und -katalysatoren, an neuen Methoden der Lithium-Gewinnung, an neuen Analyse- und Synthesemethoden, an fortschrittlichsten Methoden der Modellierung, Simulation und Virtualisierung sowie an vielen weiteren zukunftsweisenden Technologien. Diese Forschungsprojekte tragen dazu bei, den Rohstoffverbrauch zu senken und negative Umweltauswirkungen in Grenzen zu halten. Etwa zwei Drittel unserer Wissenschaftler vom Doktoranden bis zum Professor arbeiten an Themen der nachhaltigen Entwicklung.

Es fällt aber auf, dass an unserer Universität die übergreifende Quantifizierung der Nachhaltigkeit in ihren drei Dimensionen noch nicht Gegenstand der Lehre und Forschung ist. Der weltgrößte Chemiekonzern BASF ist hier mit seiner quantitativen SocioEcoEfficiency Analysis SEEBALANCE Vorreiter: Mit diesem Instrument lassen sich die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft – abbilden, indem die Umweltbelastung, die Kosten und die sozialen Auswirkungen von Produkten und Herstellverfahren bewertet werden. Dadurch wird nachhaltige Entwicklung im Unternehmen mess- und steuerbar. Auch der Rat für nachhaltige Entwicklung hat in seiner Publikation „Wie Deutschland zum Rohstoffland wird“ klare Regeln zum Ressourceneinsatz aufgestellt:

- Die Produktverantwortung, also die Verantwortung des Unternehmers, seine Produkte so zu gestalten, dass bei der Herstellung und beim Gebrauch möglichst wenig Abfälle entstehen, muss strikt umgesetzt und zur Rohstoffverantwortung ausgebaut werden. Der Hersteller ist verpflichtet, so zu produzieren, dass qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe wiedergewonnen werden können.
- Rohstoffe müssen, um nachhaltige Nutzung zu erzielen, gerade im Bereich der nicht-erneuerbaren Naturgüter, wie der fossilen Energieträger, geschont werden. Sie „dürfen auf Dauer nur in dem

Umfang genutzt werden, wie ihre Funktionen nicht durch andere Materialien oder durch andere Energieträger ersetzt werden können.“

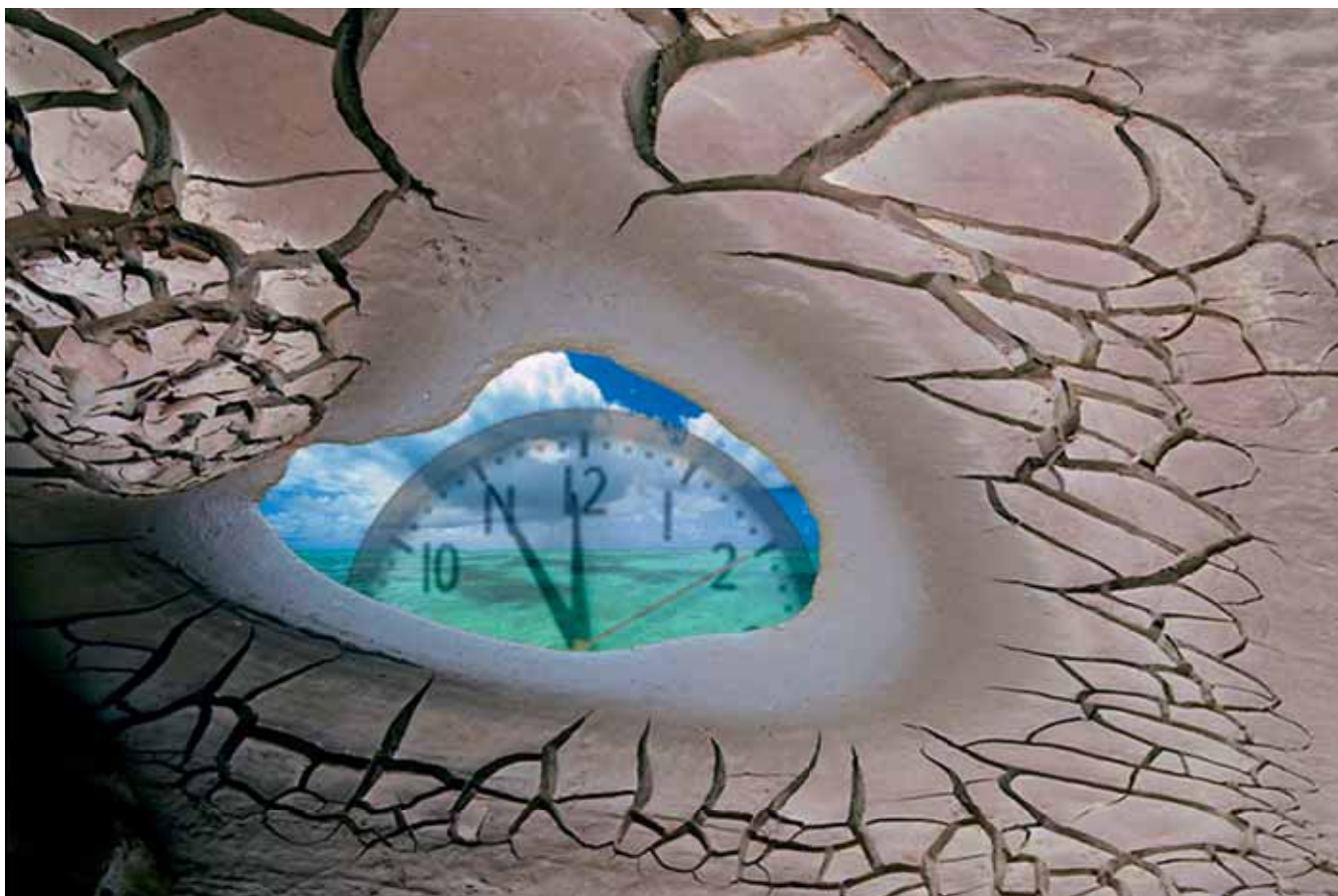
• „Energie- und Ressourcenverbrauch [...] müssen vom Wirtschaftswachstum entkoppelt werden. Zugleich ist anzustreben, dass der wachstumsbedingte Anstieg der Nachfrage nach Energie, Ressourcen und Verkehrsleistungen durch Effizienzgewinne mehr als kompensiert wird.“

• Neue Konzepte müssen entwickelt werden, um die Wertschöpfungskette von Produkten nachverfolgen zu können. Die Zertifizierung der Rohstoffe ermöglicht Aussagen zur Einhaltung von sozialen und ökologischen Mindeststandards bei der Rohstoffgewinnung. Wenn solche Kriterien bei Investitionsentscheidungen berücksichtigt werden, kann die Nachfrage nach Sekundärrohstoffen gesteigert werden.

Das Ziel dieser Regeln ist die hundertprozentige Kreislaufwirtschaft. Das Zukunftsthema der TU Bergakademie Freiberg wird deshalb das Recycling sein. Es ist uns nun also gelungen, die politisch-ethische Dimension des Begriffs zu verlassen und zu tatsächlich fassbaren, sogar quantifizierbaren Nachhaltigkeitsregeln zu kommen.

Abschließend gilt es zu sagen, dass der Leitgedanke des nachhaltigen Wirtschaftens in der Montan- und Grundstoffindustrie für die Bergakademie keine neue Entdeckung ist. So findet sich vor und seit ihrer Gründung eine Vielzahl von Leistungen, auf die wir unsere heutigen Nachhaltigkeitsbemühungen aufbauen können. Dies beginnt bereits bei der Herausbildung der montanistischen Wissenschaftsdisziplinen durch Henkel, Werner, Lampadius, Reich, Richter, Winkler, Weißbach, Ledebur und Kegel. Für die Umweltforschung können exemplarisch die wissenschaftlichen Arbeiten zu Umweltschäden durch Hüttenrauch im 20. Jahrhundert genannt werden. In diesem Sinne richteten sich die Wissenschaftsdisziplinen der Bergakademie bis heute immer wieder unter den oben genannten Gesichtspunkten der Effizienz und der Kreislaufwirtschaft an der Rohstoff-Wertschöpfungskette aus.

Zum Abschluss möchte ich noch einmal zu Karl Kraus zurückkehren, um sein Zitat an unsere Überlegungen anzupassen: „Je näher man das Wort Nachhaltigkeit ansieht, desto ferner sieht es zurück und desto genauer müssen wir es bestimmen, um seine volle Wirkung zu entfalten.“



Es ist fünf vor zwölf

Die Freiburger Weltkonferenz zur nachhaltigen Nutzung der Rohstoffressourcen der Erde – ein Carlowitz-Erbe

Bernd Meyer, Annett Wulkow, Torsten Mayer, Gerhard Roewer

Die TU Bergakademie Freiberg als älteste montanwissenschaftliche Universität der Welt und die nicht minder traditionsreiche St. Petersburger Bergbauuniversität initiierten gemeinsam im Juni 2012 die Gründung eines Weltforums der Ressourcenuniversitäten für Nachhaltigkeit in Freiberg. Als nationale Ressourcenuniversität in Deutschland sieht sich die TU Bergakademie Freiberg in der besonderen Verantwortung, die Leitidee der Nachhaltigkeit auch im Rohstoffbereich zu verankern. Diese Gründung ist konzipiert als ein weltweit erster Schritt der international führenden Ressourcenuniversitäten, der zu gehen ist, um zusammen Verantwortung für die dringend anstehende Wende im rohstoffstrategischen Denken und Handeln auf der Basis eines gemeinsam zu vertretenden Bildungsverständnisses – Nachhaltigkeit beginnt im Kopf – zu übernehmen. Die Rohstoffwende muss die (bislang noch

nicht durchweg respektierte) Gleichrangigkeit der Nachhaltigkeitskriterien Vermeidung, Effizienz, Substitution und Recycling gegenüber dem zumeist noch dominanten Kriterium Ökonomie zur Grundlage haben und auch die erneuerbaren Energien in den Bilanzkreis einbeziehen. Neue transdisziplinäre und international vernetzte Ansätze in Wissenschaft und Ausbildung sind gefordert, um die dringend erforderliche Rohstoffwende einzuleiten. Im Vordergrund steht die Rohstoffeffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Lagerstätte, der Gewinnung bis zum Recycling, die Substitution seltener durch besser verfügbare oder nachwachsende Stoffe, die Bereitstellung virtueller statt realer Produkte und die Einkopplung regenerativer Energien in den Stoffkreislauf. Im Zuge der Energiewende – von den fossilen und nuklearen Energien hin zur Sonnen- und Windenergie – zeichnet

sich am Horizont die emissionsneutrale Schließung von Stoffkreisläufen ab. Breit verteilte Wertstoffe müssen aufkonzentriert und theoretisch einer vollständigen Wiedernutzung zugeführt werden. Die Wissenschaft steht in diesem Feld vor neuen, großen Herausforderungen. Mit dem Weltforum der Ressourcenuniversitäten wird eine Plattform geschaffen, diese zu meistern und neue Wege in Lehre und Forschung zu beschreiten.

Die Gründung des Weltforums im Juni 2012 stand im Zeichen von „20 Jahre Konferenz für Umwelt und Entwicklung“ in Rio de Janeiro (Rio-Konferenz).

Die hochrangige Bedeutung dieser Initiative der TU Bergakademie Freiberg kommt in der Übernahme der Schirmherrschaft für die Gründungsveranstaltung durch die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Annette Schavan, zum Ausdruck. Das Weltforum reiht sich somit prominent in das Wis-

senschaftsjahr 2012 des BMBF – Zukunftsprojekt Erde – ein. Zu den Initiatoren des Weltforums der Ressourcenuniversitäten zählen auch die Mitglieder der 2006 gegründeten International University of Resources: die AGH Krakow, die Montanuniversität Leoben und die Bergbauuniversität Dnipropetrowsk/Ukraine. Bei der Gründungsveranstaltung in Freiberg waren Vertreter aus insgesamt 58 Ressourcenuniversitäten aus 39 Ländern anwesend. Sie diskutierten darüber, wie soziale, ökonomische und ökologische Aspekte unter der Leitidee der Nachhaltigkeit in die Ausbildung von Rohstoffexperten integriert werden können, und erarbeiteten eine Deklaration, die von allen Konferenzteilnehmern unterzeichnet wurde.

Ein Blick zurück in die Geschichte der Bergakademie zeigt, dass die heute aktuellen Pfeiler des Nachhaltigkeitskonzepts – Vermeidung, Effizienz, Substitution und Recycling – in Lehre und Forschung hier in Freiberg schon frühzeitig eine wichtige Rolle gespielt haben. Alexander von Humboldt, berühmtester Student der Bergakademie, kann als ein Wegbereiter der Nachhaltigkeit gelten. Zu jener Zeit, als Clemens Winkler, der Entdecker des Germaniums, hier forschte und lehrte, war zwar der Schutz der Umwelt noch kein generelles gesellschaftliches Thema, aber Winkler beschäftigte sich schon mit Auswirkungen der Industrialisierung, die die im 19. Jahrhundert hinzugewonnene Lebensqualität wieder zunichtemachen drohten. Zu seinen Forschungs-

gegenständen gehörte insbesondere die Rauchgasentschwefelung mit dem Ziel der Schaffung eines geschlossenen Stoffkreislaufs für die Schwefelsäureproduktion.

Nachhaltigkeit – der zentrale Wert von Forschung und Lehre an der TU Bergakademie Freiberg

Bereits heute ist an der TU Bergakademie Freiberg die Idee der Nachhaltigkeit intensiv in Lehre und Forschung integriert, wie ihre Verankerung im Leitbild der Universität zeigt. Hier wird mit dem Fokus auf die umweltverträgliche Erschließung der Ressourcen für die Gesellschaft, die für ein globales Wirtschaftswachstum notwendig sind, gelehrt und geforscht. So wirkt unsere Universität am Ausbau der Grundlagen für die soziale Gerechtigkeit in der Gesellschaft mit – in der heutigen Generation wie auch in den kommenden. Die Professoren und Mitarbeiter aller Fachbereiche fühlen sich dem Prinzip der Nachhaltigkeit verpflichtet. So erklärte Prof. Carsten Drebenstedt: „Die Professur Bergbau-Tagebau versteht unter Nachhaltigkeit im Bergbau in allererster Linie verantwortungsbewusstes Handeln der Unternehmen, das die Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt“. Sie setzt deshalb auf:

- maximale Nutzung der Wertkomponenten einer Lagerstätte (Haupt-, Neben- und Begleitrohstoffe),
- Nutzung der Wertstoffe in den Rückständen der Rohstoffaufbereitung

- und -verarbeitung,
- umweltschonende Abbautechnologien
- schnelle und werterhaltende Wiedernutzbarmachung der in Anspruch genommenen Flächen,
- Gewährleistung der öffentlichen und betrieblichen Sicherheit in allen Prozessstufen des Bergbaus.

Auch an der Fakultät Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik durchzieht die Leitidee der Nachhaltigkeit die Lehr- und Forschungsaktivitäten. Dr. Heiner Gutte (Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen) erläuterte dies am Beispiel der Aktivitäten zur Schaffung und Optimierung komplexer Kohlenstoffkreisläufe: Der Ausstieg aus der Kernenergie und die Reduzierung von CO₂-Emissionen erfordern neue Lösungen bei der Nutzung fossiler und nachwachsender Kohlenstoffträger in der Stoff- und Energiewirtschaft. Dabei geht es um die Substitution fossiler Kohlenstoffträger, um die Schaffung geschlossener Kohlenstoffkreisläufe, den Einsatz nachwachsender Rohstoffe und schließlich um die Nutzung und Speicherung von Überschussstrom aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Für natürliche kohlenstoffhaltige Rohstoffe setzt dies eine ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette – Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung und Veredelung bis hin zum Produkt, inklusive Rückführung der kohlenstoffhaltigen Produkte bzw. Abfälle – voraus. Durch die Bereitstellung neuer Kohlenstoffprodukte und Kohlenstoff-Substitute soll eine ausgegli-



Die Teilnehmer des Weltforums zur Gründungsveranstaltung im Juni 2012 in der Alten Mensa in Freiberg

chene Kohlenstoffbilanz erreicht werden.

Zu den Schwerpunktfeldern für Innovationen zählen der Einsatz von biogenen Rohstoffen als alternative Kohlenstoffquelle und die Etablierung einer neuen CO₂-emissionsarmen Kohlechemie zur Gewinnung von Roh- und Feinchemikalien über neue synthese gasbasierte Prozesse. Das Erreichen dieser Ziele setzt interdisziplinäre Kooperationen zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik voraus.

Die Verantwortung der Ressourcenuniversitäten für die Rohstoffversorgung

Mineralische und fossile Rohstoffe ermöglichen die Annehmlichkeiten des täglichen Lebens und die Erfüllung unserer Grundbedürfnisse, wie Wohnen (Bau- und Energierohstoffe), Ernährung (Düngemittelrohstoffe), Mobilität (Basismetalle) und Kommunikation (Elektronikmetalle). Hinzu kommen die bisher nicht nachhaltig betriebene Erschließung der Ressource Wasser aus dem Untergrund (Übernutzung), die mangelhafte Aufbereitung von Brauchwasser, die Bedrohung von Biodiversität, Landschaften, ozeanischen Gewässern sowie eine unsachgemäße Bewirtschaftung der Böden. Ergänzend zur Nutzung der Primärrohstoffe muss die Wiedernutzung von Sekundärrohstoffen (Recycling) stärker in den Blick genommen werden. Recyclingprozesse können die noch unvollständigen Stoffkreisläufe in nachhaltiger Weise schließen und somit helfen, die Gewinnung von Rohstoffen aus der Erdkruste auf die jeweils notwendigen minimalen Mengen zu beschränken. Ressourcenuniversitäten stehen damit in der besonderen Verantwortung dafür, die Leitidee der nachhaltigen Entwicklung in den Rohstoffbereich zu implementieren sowie mit ihrem Wissensschatz und ihren Kompetenzen zur Sicherung der Versorgung der Menschheit mit Rohstoffen beizutragen.

Der Rohstoffmarkt ist durch eine stetig steigende Nachfrage gekennzeichnet, die aus dem Wachsen der Weltbevölkerung, der Globalisierung und Industrialisierung – in Verknüpfung mit einer Erhöhung des Lebensstandards – resultiert. Erfolgreiche Umsetzungen von Strategien zur Reduzierung des Rohstoffverbrauchs oder zur Verstärkung des Recyclingsektors werden mittelfristig die primäre Rohstoffgewinnung nicht vollständig ersetzen, jedoch neue Ansätze



Exkursion der Teilnehmer des Weltforums in das Braunkohletagebauegebiet bei Leipzig

Lutz Weidner / TU Bergakademie Freiberg

zur Einschränkung der extensiven Ausbeutung der Erdkruste erbringen können. Aufgrund des global weiter steigenden Bedarfs müssen Rohstoffe aus zunehmend komplexeren und ärmeren Lagerstätten und unter immer extremen Bedingungen abgebaut werden. Dabei sind Eingriffe in die Natur und in urbane Gebiete nicht auszuschließen, aber möglichst zu minimieren. Die Risiken und Gefährdungen für Umwelt und Gesellschaft könnten nichtsdestotrotz weiter zunehmen.

Die Montanwissenschaften stehen vor der großen Herausforderung, die – dem Wirtschaftswachstum entsprechend – komplizierter werdende Rohstoffversorgung auch künftig preiswert, umweltschonend, sozialverträglich und sicher zu gestalten. Dies schließt auch die Beherrschung, Minimierung bzw. den Ausschluss negativer Folgen der Rohstoffwirtschaft für die Umwelt ein. Deshalb ist die Weiterentwicklung der Leitidee einer nachhaltigen und verantwortungsbewusst geführten Ressourcenwirtschaft eine aktuelle und dringende Aufgabe.

Die Ressourcenuniversitäten stellen fest, dass Rohstoffprozesse trotz aller Bemühungen mit nachteiligen Eingriffen in bestehende naturräumliche, soziokulturelle, ökologische und ökonomische Systeme und Beziehungen verbunden sein können und negative Folgen für die Schutzgüter Wasser, Luft, Boden,

Mensch und Natur sowie für Kultur- und Sachgüter haben. Trotz des wachsenden Bewusstseins im Sinne der Nachhaltigkeitsidee führt die Nichtbeherrschung der Rohstoffprozesse leider immer noch zu Folgen mit teilweise katastrophalen Auswirkungen, wie beispielsweise zu Leckagen an Tiefseebohrungen, Dammbrüchen an Rückstandshalden, zur Versauerung von Grund- und oberirdischen Gewässern, zu Geländerutschungen, Grubengasexplosionen und Gebirgsschlägen, wie eine Vielzahl von aktueller Vorkommnisse belegen. Solche Ereignisse senken drastisch das öffentliche Ansehen und die Attraktivität der Ressourcenbranche. Die Ursachen für die negativen Folgen des Bergbaus sind komplex. Dazu gehören beispielsweise unzureichendes bzw. fehlerhaftes Wissen, fehlerhaftes Management und eine mangelhafte Kontrolle bzw. auch die billige Inkaufnahme von Nebenwirkungen oder einfach eine fehlgeleitete Motivation. Einige der größten Hemmnisse zur Vermeidung von negativen Bergbaufolgen sind unzureichende gesetzliche Grundlagen, eine mangelhafte Ausbildung sowie ein zu schwach ausgeprägtes Umweltbewusstsein.

Die Ressourcenuniversitäten stellen sich ihrer Verantwortung für die Beseitigung von Defiziten beim Erkennen, bei der Vermeidung und der Sanierung negativer Folgen von Rohstoffprozessen.

Durch die Aus- und Weiterbildung qualifizierter Fach- und Führungskräfte und durch die Festlegung einer klaren Orientierung auf verantwortungsbewusst geführte und nachhaltige Rohstoffprozesse (dies gilt gleichermaßen für primäre und sekundäre Rohstoffe) haben die Ressourcenuniversitäten die Möglichkeit und Verpflichtung, Fehler mittel- und langfristig zu beheben oder erst gar nicht zuzulassen. Um dieser Verantwortung noch besser gerecht zu werden, wurde das Weltforum der Ressourcenuniversitäten für Nachhaltigkeit gegründet.

Ziele und Maßnahmen des Weltforums

Die Mitgliedsuniversitäten des Weltforums sehen es als internationale Aufgabe an, das Prinzip der nachhaltigen Entwicklung in Forschung und Ausbildung entlang der gesamten Rohstoffwertungskette zu implementieren:

1. Sie werden das Thema Rohstoffprozesse verstärkt in die Öffentlichkeit tragen, die Gesellschaft für dieses Thema und die tragende Rolle der Ressourcenuniversitäten sensibilisieren und für eine wissenschaftsbasierte, neutrale Meinungsbildung eintreten. Sie setzen sich gemeinsam dafür ein, dass sich ein neues Rohstoffbewusstsein in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft etabliert.
2. Sie werden die Ausbildung im Ressourcenbereich international auf einen einheitlichen Qualitätsstandard bringen und dabei das Prinzip der Nachhaltigkeit als zentralen Bestandteil der Ausbildungsinhalte etablieren. Bei den Studierenden soll ein hohes Verantwortungsbewusstsein gegenüber dem System Erde für ihren zukünftigen Beruf geweckt werden. Die Ausbildungsstandards sollen nach Inhalt und Umfang festgelegt und von unabhängigen Gutachtern kontrolliert und bewertet werden. In der Ausbildung soll stets die enge Verbindung von Theorie und Praxis sichergestellt sein. Kernthemen sind Prozessverständnis und Modellierung, technische und Managementlösungen zum schonenden Umgang mit knappen Ressourcen wie Wasser, Böden, Luft, Energie und Werkstoffen, aber auch Natur, Landschaft und Landschaftsschutz sowie die menschliche Gesundheit. Dabei sollen Themenkreise wie die besten verfügbaren Technologien (BAT), Erfolgsmethoden (best

practice), die Ökobilanzierung (LCA), Schlüsselindikatoren und die führenden Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitsschutz-Standards sowie bewährte rechtliche Regelungen für nachhaltige Rohstoffprozesse integriert werden. Bei der Betrachtung einzelner Rohstoffprozesse ist stets deren Wechselwirkung mit der Gesamtprozesskette sowie mit der Umwelt zu beachten. Die mit den Rohstoffprozessen verbundene Nutzung von Schutzgütern muss transparent und unabhängig diskutiert werden. Es ist daher zu vermeiden, dass sich die jeweiligen Disziplinen quasi unabhängig voneinander entwickeln.

3. Die Nachhaltigkeit ist als Leitgedanke der Unternehmensführung zu etablieren; Fach- und Führungskräfte müssen für verantwortliches Handeln sensibilisiert werden. Das Verursacherprinzip muss für die Beseitigung negativer Folgen der Rohstoffprozesse gelten. In diesem Kontext ist es notwendig, das Wissen zu vermehren, international bereitzustellen, anzugleichen und zu vernetzen.
4. Die wissenschaftliche Forschung ist als Grundlage einer hohen Ausbildungsqualität voranzutreiben.
5. Die relevanten Lehrinhalte werden im Internet frei verfügbar gemacht.
6. Die Mobilität von Studierenden und Lehrenden ist zu fördern, um den Austausch von Wissen, Lehrinhalten und -methoden zu intensivieren.
7. Es ist ein dauerhaftes internationales Netzwerk aufzubauen.

Umsetzung

Zur Umsetzung dieser Ziele werden zunächst drei Arbeitsgruppen gebildet, die sich den Themenkreisen Verantwortung der Universitäten, Lehre und Internationale Vernetzung widmen. In der Arbeitsgruppe Verantwortung der Universitäten sollen unter anderem über die Möglichkeiten eines Paradigmenwechsels und über eine nichtnachhaltige Entwicklung diskutiert sowie Leitlinien für die grenzüberschreitende Ressourcennutzung erarbeitet werden. Weiterhin beschäftigt sich die Arbeitsgruppe mit der Entwicklung eines generellen Lehr- und Forschungsplans. Sie wird Vorschläge für Qualitätskontrollen in Lehre und Forschung machen sowie ein Konzept zur Stärkung des Rohstoffbewusstseins in der Gesellschaft erstellen.

Zu den Aufgaben der Arbeitsgrup-

pe Lehre zählen: Analyse vorhandener Studienprogramme zu den Rohstoffprozessen im Hinblick auf den Nachhaltigkeitsaspekt, Definition von Mindestanforderungen an Lehrinhalte und an den Stoffumfang für ressourcenbezogene Studiengänge, Entwicklung von präzisen und nicht überladenen Lehrplänen, von geeigneten Lehrmethoden zur Unterstützung des Aufbaus von Kapazitäten – auch zur Stärkung von unternehmerischen Qualitäten, Erarbeitung von Lehrmaterial und Integration von Vorbild-Methoden (Best-Practice) der Nachhaltigkeitslehre in Aus- und Weiterbildungsprogrammen, Förderung der Mobilität von Studenten (Exkursionen, Auslandsteilstudium etc.) und Dozenten zum Austausch und zur Ergänzung und Qualifizierung von Lehrinhalten, Erarbeitung neuer nationaler und internationaler Studienprogramme mit dem Schwerpunkt nachhaltige Rohstoffprozesse, Kreierung von Werkzeugen zur Qualitätssicherung in der Lehre sowie zur Akkreditierung und Zertifizierung von Lehrprogrammen, Erarbeitung von Ausbildungsschwerpunkten für eine nachhaltige Entwicklung – nutzbar auch für das Fernstudium sowie Erarbeitung von interdisziplinären und transdisziplinären Lehrmethoden unter Einbeziehung von Sozial-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Naturwissenschaften.

Die für die internationale Vernetzung zuständige Arbeitsgruppe wird zunächst Grundsatzdokumente für ein ständiges Weltforum der Ressourcenuniversitäten pro Nachhaltigkeit (WFURS) erarbeiten. Weiterhin wird sie Standards für die Mitgliedschaft im WFURS erstellen sowie Ideen und Vorschläge zur Finanzierung des WFURS diskutieren. Weitere Aufgaben sind: die Erarbeitung eines Konzepts für den regelmäßigen Informationsaustausch und die Organisation von Fachtagungen, der Aufbau einer Internetplattform zur Bereitstellung der neuesten Informationen und von Lehrinhalten, die Erstellung eines Markenlogos und von Informations- und Werbematerialien.

Das Weltforum der Ressourcenuniversitäten wird durch ein Führungsgremium mit Mitgliedern aus allen Kontinenten (Executive Committee) geleitet. Das erste Treffen des Executive Committee fand am 25. Oktober 2012 im Bundesbildungsministerium in Berlin statt. Die nächste Konferenz soll im November 2013 an der Bergbauuniversität in St. Petersburg abgehalten werden.



© NASA, 1999

Eindrücke aus dem Orbit – der blaue Planet Erde

von Sigmund Jähn

Wolken und Sonnenlicht, Aufnahme von der STS-96-Mission, Space Shuttle Discovery

Mein Raumflug liegt nun schon mehr als drei Jahrzehnte zurück. Aus unseren Mädchen von damals sind Mütter geworden. Die älteren Enkel stehen schon selbst ihren Mann. Für die jüngeren ist der Raumflug ihres Großvaters weit weg. Dennoch wünsche ich mir, dass sie sich dafür interessieren, wie das damals so war. Raumfahrt bleibt auch für die Zukunft ein aktuelles Thema.

Mich hat die bemannte Raumfahrt seit jenem Ereignis im August/September 1978 nicht losgelassen. Mit Freude und innerer Anteilnahme habe ich auch nach 1990 in „unserem“ Sternenstädtchen bei Moskau und im kasachischen Baikonur die Raumflüge weiterer deutscher und europäischer Raumfahrer unterstützen und verfolgen können. Jeder von uns erlebte das außergewöhnliche Abenteuer eines Flugs um die Erde in kosmischer Höhe auf seine Weise; doch wir sind uns wohl alle einig in der Bewunderung der Schönheit und gleichzeitig auch der Sorge um unseren blauen Heimatplaneten.

Das Wort vom Schweiß, den die Götter vor den Erfolg gesetzt haben, ist auch für einen Raumflug passend. Ich will gar nicht so sehr von dem Schweiß reden, den man bereits auf der Erde beim Üben an den verschiedensten Simulatoren, beim Überlebenstraining oder beim Reagieren auf mögliche Ausfallsituationen im engen Raumanzug verliert. Hohe Achtung habe ich in diesem Zusammenhang besonders vor den Menschen, die, meist gegen den Strom der Zeit, die theoretischen und praktischen Grundlagen der Raumfahrt geschaffen haben; ebenso vor den Erfindern und Konstrukteuren, die sich an den Ideen und Berechnungen der großen Theoretiker begeisterten und die heutige Erforschung und Nutzung des außerirdischen Raumes möglich machen. Freilich geschah dies – wie so oft bei technischen Entwicklungen – über die Ziele und das Geld der Militärs. In Deutschland war es der im damaligen Siebenbürgen geborene Hermann Oberth, der 1922 – etwas später als Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski in Russland, aber unabhängig

von diesem – mit seinem Werk „Die Rakete zu den Planetenräumen“ die wissenschaftlichen Grundlagen für die Konstruktion von Flüssigkeitsraketen schuf. In den 20er- und 30er-Jahren des vorigen Jahrhunderts entstanden an mehreren Orten Vereine und Gruppen, die sich der Idee des Raumflugs verschrieben. Die Begegnung mit Hermann Oberth, der im Jahre 1982 im Alter von 88 Jahren nach Moskau reiste, um gemeinsam mit Raumfahrern und Raumfahrtspionieren aus der ganzen Welt den 25. Jahrestag des Starts des ersten künstlichen Erdsatelliten Sputnik 1 zu begehen, hat mich sehr beeindruckt. Die Erlebnisse meines Raumflugs mit Waleri Bykowski im Jahr 1978 waren damals noch relativ frisch, doch bekamen sie durch die Begegnung mit Hermann Oberth eine nachhaltige Prägung. Ich hatte das Glück, diesem außergewöhnlichen Menschen, Wissenschaftler und Erfinder, für den die Raumfahrt von Anfang an auch eine philoso-

phische Komponente hatte, später noch mehrmals zu begegnen.

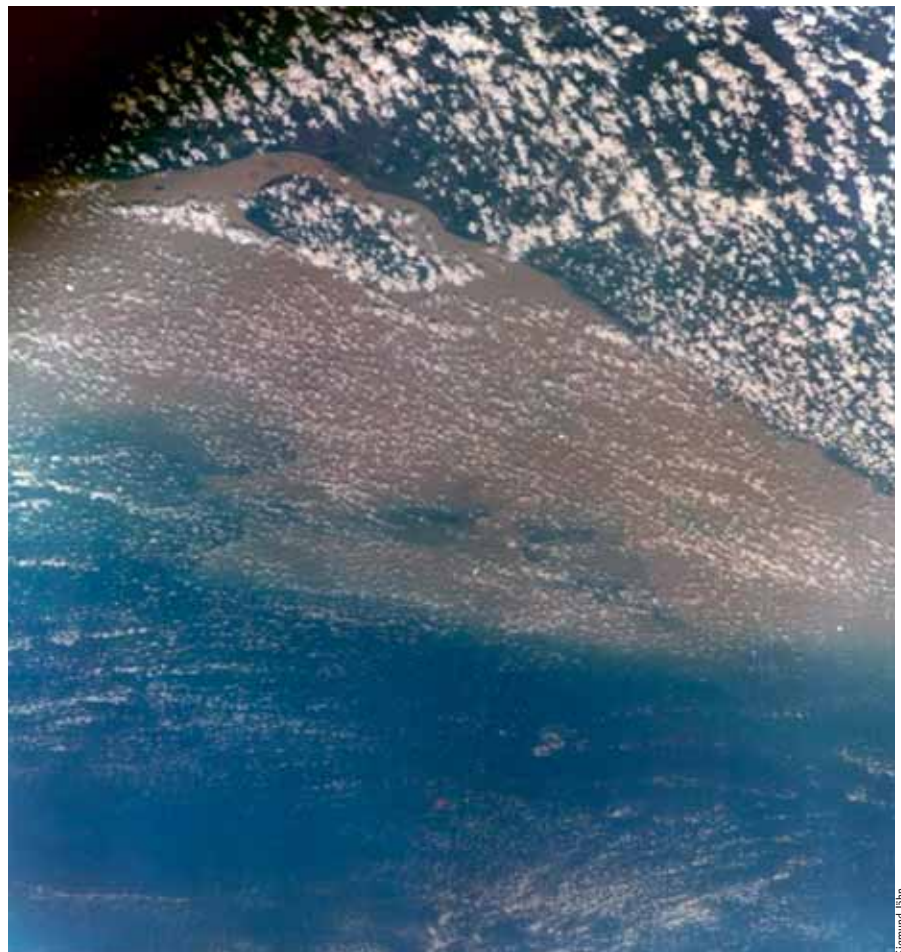
Wenn ich an besonders in Erinnerung gebliebene Eindrücke meines Raumflugs zurückdenke, so sind das der Start an der Spitze einer Rakete, die Annäherung und Kopplung unseres Raumschiffs an eine Raumstation, in der zwei mir gut bekannte Männer seit mehr als 70 Tagen unsere Expedition erwarteten, das über langanmutende Minuten ungesteuerte Zurückfallen auf die Erde mit der kleinen Landekapsel und unsere recht ruppige Landung in der kasachischen Steppe. Das, was mich am meisten überwältigte, war natürlich das unvergessliche Erlebnis, unseren blauen Planeten von der Seite zu sehen. Ich war mir darüber im Klaren, dass während des Flugs in der Raumstation in erster Linie das wissenschaftliche Programm abgearbeitet werden musste. Gern hätte ich noch mehr Zeit damit verbracht, einfach aus den Bordfenstern zu schauen und den Blick auf die dünne Lufthülle und den wie abgeschnitten erscheinenden Übergang in den schwarzen Himmel des Weltraums auf mich wirken zu lassen. Eigentlich ist eine Raumstation unter anderem auch ein idealer Platz, um über Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Wunders Leben auf der Erde zu philosophieren. Ich denke daran, dass man sich im Zeitraum von 24 Stunden theoretisch sechzehn sagenhaft schöne Sonnenaufgänge und Sonnenuntergänge anschauen könnte. Praktisch erlaubte das die Tageseinteilung natürlich nicht. Heute ist mir manchmal so, als habe ich manche Eindrücke und Gedanken über diesen außergewöhnlichen „Arbeitsplatz Weltraum“ und unseren wunderschönen Planeten erst später verarbeitet, als ich längst wieder auf der Erde war und von vielen Menschen nach meinen Erlebnissen und Eindrücken gefragt wurde.

Vor unserem eigenen Start mit einer 300 Tonnen schweren Sojus-Rakete am 26. August 1978 hatte man uns locker von einem Fehlstart erzählt, den es mit Sojus 18 gegeben hatte. Die dritte Stufe der Rakete versagte, und der Raumflug war schon beendet, bevor er richtig begonnen hatte. Die Sache ging aber gut aus: Nach einer außerordentlich hohen physischen Belastung bei der Trennung der Raumkapsel von der havarierten Rakete in fast kosmischer Höhe endete der Flug der beiden Männer an einem Steilhang im Altai-Gebirge. Die Kapsel verfang sich zum Glück an einem Baum, und die Kosmonauten konnten sich selbstständig

aus ihr befreien. Schließlich gelang es der Besatzung eines Suchhubschraubers, die Männer aufzunehmen. Wie bei den allermeisten Starts ging auch bei uns alles bestens. Waleri Bykowski erinnerte mich – unsere Rakete hatte bereits eine gewaltige Höhe erreicht – in einem bestimmten Moment indirekt an diese Geschichte, indem er sagte: „Wenn die Rakete jetzt havariert, fallen wir in China runter.“ Wir lachten beide. Der in diesem theoretischen Fall in Frage kommende Abschnitt war auf unserer Startgrafik vermerkt. Er dauerte aber nur wenige Sekunden und war deshalb bemerkenswert, weil das politische Verhältnis zwischen der Sowjetunion und China in jenen Jahren sehr angespannt war. Bald hatte auch die zweite Stufe ihre Arbeit getan, sie fiel ab und die dritte ging auf Leistung. Sie musste uns auf eine sog. Montagebahn von mindestens 230 Kilometern Höhe im Apogäum bringen und dazu auf die erste kosmische Geschwindigkeit beschleunigen, also etwa auf 28.000 km/h. Anderenfalls hätte immer noch die Gefahr bestanden, unverrichteter Dinge auf die Erde zurückzufallen. Auf diesem Startabschnitt bekam ich

aber schon ein fast euphorisches Gefühl. Ich hatte keine Zweifel – wir würden eine sichere Umlaufbahn um unsere Erde erreichen. Und da kam er auch schon – der erwartete helle metallische Knall, der davon zeugte, dass unser Raumschiff von der Rakete getrennt war. In diesem Moment erst begann auch die Borduhr zu ticken, und die Energieversorgung hatte sich auf das Raumschiff umgeschaltet.

Für ein paar Sekunden kam mir dann doch alles unwirklich vor. Die Geräte in meinem Gesichtsfeld schienen nicht mehr – so wie es sich gehörte – vor mir, sondern unter mir zu liegen. Ich hatte das Gefühl, als hinge ich über den Geräten. Wie erwartet, befanden wir uns auf der Nachtseite der Erde, aber irgendwo schienen seltsam leuchtende Wolken zu sein. Eine unangenehme Situation. Dabei hatte ich in diesem Moment als Bordingenieur eine wichtige Aufgabe zu erfüllen. Es ging darum, mit Hilfe eines einfachen Visiers und einer Vorlage in einem bestimmten Sternbild zu erkennen, ob dessen tatsächliche Projektion zum Blickwinkel der berechneten entsprach. Auf diese einfache Weise ließ sich bestimmen, ob die Eigendrehung des Raumschiffs nach



Ein Teil der Amazonas­mündung, aufgenommen mit einer PENTACON six, Objektiv 180 mm

der Trennung von der Rakete von den kleinen Lageregelungstriebwerken automatisch abgebremst worden war. Ich nahm mich so stark zusammen wie ich es nur konnte – und tatsächlich rutschte das Gerätebrett scheinbar dahin, wohin es in meinem Blickwinkel auch gehörte. Das Raumschiff flog stabil. Und meine Lageillusion war auch beseitigt.

Nach achtzehn selbstständigen Erdumkreisungen, die mit Systemtests, Bahnmanövern, auch Schlafversuchen im recht engen Raumschiff ausgefüllt waren, stand uns die Kopplung an die wesentlich größere Station bevor. Wir zogen unsere Skaphander genannten Anzüge wieder an, die uns, wie auch bei Start und Landung, vor einer eventuellen Undichtigkeit während dieses Manövers schützen sollten. Damals wie heute ist das Zusammenkoppeln von Raumfahrzeugen ein sehr komplizierter und verantwortungsvoller Prozess. Bei einer Geschwindigkeit von 28.000 km/h in Bezug auf die Erde muss die Kopplung sanft, bei einer Relativgeschwindigkeit von 0,2 bis 0,5 m/s der Raumfahrzeuge zueinander erfolgen. In diesem Prozess verändern sich Entfernung, Relativgeschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit, Seitenrichtung ständig. An dieser Stelle war es meine Aufgabe, den automatisch gesteuerten Annäherungsprozess nach Grafiken fortlaufend zu prognostizieren, um dem Kommandanten das sofortige Eingreifen bei Abweichungen in der Funktion der automatischen Systeme zu erleichtern. Wir schwitzten beide und waren glücklich, als wir – unter Nachtbedingungen – das Einklicken der Kopplungsstange des Raumschiffes in den Kegel der Raumstation hörten und die entsprechenden Geräteanzeigen verfolgen konnten. Es dauerte seine Zeit, bevor wir auf beiden Seiten die Schleusendeckel öffnen konnten. Die beiden Männer in der Station,

Wladimir Kowaljonok aus Weißrussland und Alexander Iwantschenkow, der aus der Nähe von Moskau stammte, begrüßten uns nach russischer Sitte mit Brot und Salz. Freilich hatten sie das Salz – weil sie es in der Schwerelosigkeit nicht festbinden konnten – durch zwei Würfelzuckerstücke ersetzt. Der Aufnahme unseres gemeinsamen Experimentalprogramms in der Schwerelosigkeit stand nichts mehr im Wege.

Für mich war es völlig normal, dass wir als Vertreter verschiedener Nationen an einem gemeinsamen Programm arbeiteten, Funkkontakt mit dem Flugleitzentrum in Moskau hatten, aber auch mit Berlin verbunden werden konnten. Wünschenswert fand ich damals die Möglichkeit der direkten Kontaktaufnahme mit Wissenschaftlern in deren Laboratorien auf der Erde. So hätte man sich über die konkreten Bedingungen und Experimentabläufe austauschen können. Das blieb dann späteren Expeditionen vorbehalten. Während der ersten Expedition von Thomas Reiter konnte ich aus dem Flugleitzentrum bei Moskau einen solchen Kontakt zwischen der Raumstation MIR und dem Labor eines Experimentators in Holland organisieren. Darüber habe ich mich sehr gefreut. Heute ist das ein selbstverständlicher Vorgang.

Die gemeinschaftliche Arbeit an Bord einer Raumstation hatte für mich auch noch einen anderen Aspekt. Unsere Besatzung bestand aus Angehörigen einer Generation, deren Väter sich noch in einem mörderischen Krieg gegenübergestanden hatten. Ich war froh darüber, dass dieser Hintergrund bei uns keine Rolle spielte. Heute, wo die Internationale Raumstation ISS ihre Bahn am Himmel zieht, ist die Zusammenarbeit von Vertretern vieler Nationen auf dem Gebiet der Raumfahrt eine Selbstverständlichkeit. Die Internationalisierung



Oben: Kassettenwechsel bei der Multispektralkamera MKF-6 von Carl Zeiss Jena. Mitte: Experiment „Audio“: S. Jahn führt bei A. Iwantschenkow Gehörschwellenmessungen durch. Unten: Bei einer Kindersendung mit Sandmännchen

von Arbeitsprozessen ist freilich nicht nur für die Raumfahrt typisch. Aber hier ist sie besonders sinnfällig. Und sie führt uns auch die ganze Problematik des gesellschaftlichen Entwicklungsstands der Menschheit vor Augen: Auf wissenschaftlich-technischem Gebiet haben wir es weit gebracht. Wir können die Erde mit Raumfahrzeugen umfliegen, den Mond und benachbarte Planeten erreichen, arbeiten an Voraussetzungen für bemannte Flüge zum Mars. Das ist die eine Seite. Doch moralisch-ethisch leben wir wohl noch wie in der Steinzeit. Wir schlagen uns weiterhin gegenseitig die Schädel ein – freilich mit den modernsten Waffen als Errungenschaften von Wissenschaft und Technik. Was bleibt, ist die Hoffnung, dass die Raumfahrt in Zukunft einer wahrhaft humanistischen Entwicklung der menschlichen Gesellschaft dienlich sein möge.



Einer von 16 täglichen Sonnenuntergängen

Ökologischer Strukturwandel und Green New Deal

Verschiedene Wege zur Nachhaltigkeit

Udo E. Simonis¹

Wenn Begriffe und Konzepte wie „wirtschaftlicher“ und „gesellschaftlicher Strukturwandel“, „Weltwirtschaftspolitik“ und „New Deal“ etabliert werden konnten, sollte es auch möglich sein, äquivalente ökologische Begriffe und Konzepte zu begründen. Schon wären wir beim „Ökologischen Strukturwandel“ und beim „Green New Deal“. Doch wie steht es um die Interpretation dieser Begriffe und die Möglichkeiten der ökologischen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft?

Zur Genese des Begriffs Ökologischer Strukturwandel

Die Geschichte des Begriffs „Ökologischer Strukturwandel“ ist noch nicht geschrieben. Er steht aber, das ist gewiss,

Weise interpretiert, die Gesellschaft als ein Subsystem neben anderen (miss-) verstanden, nicht aber als Subsystem des globalen ökologischen Systems. Die Natur, das war nur etwas für Naturwissenschaftler.

• Ökonomen hatten zwar die Strukturfrage erkannt und in ihre Makromodelle eingebaut; wirtschaftlicher Strukturwandel reduzierte sich dabei jedoch zumeist auf die Veränderung der Anteile von drei (oder vier) Sektoren am Bruttoinlandsprodukt (BIP). Diesem „sektoralen Strukturwandel“ wurde viel Aufmerksamkeit gewidmet. Die Wirtschaftswissenschaft – der Mainstream, um genauer zu sein – aber blieb weiterhin blind gegenüber der Ökologie;

Initialzündung zur Erweiterung der wissenschaftlichen Perspektive. Doch es war nicht einer, es waren mehrere Zündfunken, die überspringen mussten. Im Nachhinein betrachtet sehe ich deren vier: (1) eine Wiedergeburt, (2) eine finale Vermutung, (3) eine fundamentale Hypothese und (4) einen methodischen Durchbruch, die sich jeweils mit den Namen einzelner WissenschaftlerInnen verbinden lassen.

Eine Wiedergeburt

Ernst Haeckel hatte (1866) die Ökologie als biologische Fachdisziplin begründet – als Lehre vom Haushalt der Natur. Unter natürlichen Bedingungen entwickelt sich durch die Beziehun-



Außen: Ernst Haeckel, Kunstformen der Natur (1899/1904), innen: Ökosysteme im Great Barrier Reef, Australien, 2012

für den Grundkonflikt zwischen Ökonomie und Ökologie, für die Umweltkrise des industriewirtschaftlichen Entwicklungsmodells wie auch für die Suche nach Lebensqualität (vgl. Simonis & Simonis 1976). Wissenschaftshistorisch kamen mehrere Umstände zusammen, die seine Begründung möglich und unumgänglich machten:

• Soziologen hatten den Begriff des gesellschaftlichen Wandels jahrzehntelang in funktionaler und struktureller

so lange, bis es zu gravierenden Grenzüberschreitungen kam, im materiellen wie im methodischen Sinne des Wortes.

• Politologen hatten neben dem konstatierten „Marktversagen“ in der Wirtschaft den Verdacht des „strukturellen Politikversagens“ formuliert. Selbst wenn Korrekturnotwendigkeiten erkannt sind und mit konkreten Politikkonzepten gebannt werden sollen, ist der Erfolg nicht garantiert – die Implementation kann scheitern.

In dieser Gemengelage der allgemeinen methodischen Verunsicherung und nicht mehr zu negierender Schäden an der Natur bedurfte es nur noch einer

gen der Organismen untereinander ein funktionelles Wirkungsgefüge in der Lebensgemeinschaft und mit ihrem Lebensraum – dem Ökosystem. In reifen Ökosystemen findet man überwiegend Populationen von Arten, die ihr Populationswachstum an das spezielle Ressourcenangebot anpassen. Dadurch entsteht ein ökologisches Gleichgewicht, das sich auch an andere externe Faktoren und Störungen anpasst (Resilienz). Die Begriffserweiterung und Anwendung der Haeckelschen Ökologie hat sich als äußerst fruchtbar erwiesen, zumal Mensch und Natur heute in viel höherem Maße als früher aufeinander einwirken, aber

¹ Prof. Dr. Dr. h. c. Udo E. Simonis, Wissenschaftszentrum Berlin (WZB), Reichpietschufer 50, 10785 Berlin. E-Mail: simonis@wzb.eu

auch, weil ökologische Prinzipien des Naturhaushalts auf Kulturlandschaften, Wirtschaftsräume und die Gesellschaft übertragen werden können.

Eine finale Vermutung

Rachel Carson, Biologin und Schriftstellerin, hatte (1962) eine erstaunliche Beobachtung über die ökologischen Effekte von Insektiziden, chlorierten Kohlenwasserstoffen und organischen Phosphorverbindungen gemacht und zu einem finalen Begriff verdichtet: Ausrottung höherer Lebewesen – der *Stumme Frühling*. Dieses Buch hat Laien wie Wissenschaftler sensibilisiert. Es war nicht amüsant, aber überraschend und wirkte so nützlich und sozial belehrend.

Eine fundamentale Hypothese

In den Sozialwissenschaften wurde es zu Ende der 1960er, Anfang der 1970er Jahre spannend – besonders mit den Arbeiten von Kenneth E. Boulding, Herman E. Daly und Nicholas Georgescu-Roegen. Boulding hatte (1966) ein starkes Bild geprägt: „Spaceship Earth“ – das Modell einer Ökonomie, die auf knappen Ressourcen, begrenzten Assimilationskapazitäten und fragilen Trägersystemen beruht. Ressourcenschonung, Umweltschutz und Resilienz des Ökosystems kamen in den Blick. Daly brachte (1973) ein Buch über *steady-state economics* heraus, in dem er von der präanalytischen Vision ausging, dass die Wirtschaft in ihren physischen Dimensionen ein offenes Subsystem eines endlichen, nicht wachsenden und materiell geschlossenen Gesamtsystems ist – des Ökosystems Erde. Es dauerte zweieinhalb Jahrzehnte (1999), bis sein Buch auch ins Deutsche übersetzt wurde. Georgescu-Roegen erging es noch schlechter. Sein fundamentales Werk *The Entropy Law and the Economic Process* (1971) ist von den Ökonomen bis heute nicht hinreichend gewürdigt und auch nie ins Deutsche übersetzt worden. Die Meinungen darüber gehen auseinander: Die einen sagen, wachstumsfixierte Ökonomen müssten den 2. Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiegesetz) negieren, weil sonst ihr Theoriegebäude ins Wanken geriete. Andere sagen, Thermodynamiker verstünden zu wenig von den Gesetzmäßigkeiten der Ökonomie.

Aus kommunikativen Gründen (aber wohl auch aus Gründen der individuellen Profilierung) sind später andere Metaphern in die Diskussion gebracht worden, die ähnliche Botschaften öko-

logisch orientierter Ökonomie senden, wie „Ko-Evolution“, „Öko-Design“, „Öko-Effizienz“ oder „Null-Emission“.

Ein methodischer Durchbruch

Der Club of Rome hatte kurz nach seiner Gründung (1968) eine Forschergruppe am Massachusetts Institute of Technology (MIT) beauftragt, mit Hilfe der von Jay W. Forrester entwickelten „Systems Dynamics“ Antworten auf die Frage des globalen Zusammenhangs von Bevölkerungswachstum, Ressourcenverbrauch und Umweltverschmutzung zu finden (Forrester 1971). Auf der Grundlage eines hochkomplexen Computerprogramms (*Weltmodell World 3*) legten Donella und Dennis Meadows und Mitarbeiter (1972) dem Club ihre Studie *The Limits to Growth* vor, die rasch zu einem Welt-Bestseller wurde und leidenschaftliche Diskussionen in Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft auslöste. Anders als vielfach unterstellt, enthielt dieses Buch aber keine Prognose und beschrieb auch keine vorherbestimmte Zukunft. Es präsentierte vielmehr zwölf (!) Zukunftsszenarien im Sinne unterschiedlicher Optionen für die Menschheit. In Szenario 1 („Standardlauf“) und Szenario 12 („Aktive Politik“) sind die beiden extremen Entwicklungstrends der Modellparameter wiedergegeben. Das Buch schloss mit drei summarischen Folgerungen:

- a) Wenn die derzeitige Zunahme von Weltbevölkerung, Industrialisierung, Umweltverschmutzung und Ausbeutung natürlicher Ressourcen anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe des 21. Jahrhunderts erreicht und überschritten.
- b) Es ist möglich, diese Trends zu ändern und einen ökologisch-ökonomischen Gleichgewichtszustand herbeizuführen.
- c) Je eher sich die Menschheit entschließt, diesen Zustand anzustreben und je rascher sie damit beginnt, umso größer die Chancen, ihn auch zu erreichen.

Während die erste Meadows-Studie (1972) die Grenzen des Wachstums primär in der Ressourcenfunktion der Natur sah, stellte die zweite Studie (1992) deren Senkenfunktion in den Fokus, mit den Grenzüberschreitungen, die dabei erfolgen – was sich deutlich im englischen Titel des Buches (*Beyond the Limits*), nicht jedoch im deutschen Titel (*Die neuen Grenzen des Wachstums*) ankündigte. Die dritte Studie (2006) pointierte die Diskussion auf die Grenzüberschreitungen mit dem Begriff Overshoot.

Empirische Forschung zum ökologischen Strukturwandel

Irreversible Schäden, Überschreiten von Grenzen, ökosystemare Instabilitäten – so kann man die Anlässe der empirischen Forschung zum ökologischen Strukturwandel von Wirtschaft und Gesellschaft charakterisieren. Es geht dabei um positive *und* normative Forschung, um Analysen von Trends und Möglichkeiten der Trendumkehr. Diese Forschung ist umfangreich, hat vielfältige Facetten und unterschiedliche Ausprägungen erfahren (vgl. Simonis 1980/1994; Mol & Sonnenfeld 2000; Siebenhüner 2001). Bilder und Metaphern spielen dabei eine wichtige Rolle (vgl. Isenmann 2003). Systematisch sind die umweltpolitischen Instrumente katalogisiert worden, die der Förderung des ökologischen Strukturwandels dienen (Huppel & Simonis 2009): verbietende, vorschreibende und animierende Instrumente, informative, strukturelle und prozedurale Instrumente – differenziert nach Akteursrelationen, Zielobjekten und operationalen Ebenen.

Ökologischer Strukturwandel der Volkswirtschaft

Der Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum, Strukturwandel der Wirtschaft und Belastung bzw. Entlastung der Umwelt lässt sich theoretisch relativ leicht postulieren; der empirische Nachweis dieses Zusammenhangs ist dagegen eher schwierig (Jänicke et al. 1993). Zwei spezielle Fragen standen bei den betreffenden Forschungen im Blickpunkt:

- a) Welche Schadstoffemissionen sind mit dem Wachstum und dem Strukturwandel der Wirtschaft verbunden?
- b) Welche Energie- und Materialverbräuche (Stoffströme) führen zur Belastung oder Entlastung der natürlichen Umwelt?

Beide Fragen, Emissions- wie Stoffstrom-Muster, sind auf Basis starker Hypothesen untersucht worden, der „Environmental Kuznets-Curve“ (EKC) und der „Intensity-of-Use“ (IOU) – analoge Hypothesen, die beide eine inverse U-Form der Beziehung zwischen Ökonomie und Ökologie unterstellen. Das heißt: Die Umweltschäden nehmen im Zeitablauf mit steigendem Einkommen zu, dann aber aufgrund sozioökonomischer Veränderungen wieder ab. Die daraus ableitbare politische Lösung hieße: „Durch mehr Wachstum zum Umweltschutz!“

So einfach sind die Dinge aber nicht, die empirische Evidenz ist vielmehr ge-



mischt. Was die EKC-Hypothese betrifft, sind zwar für einige Emissionsarten entsprechende Kurvenverläufe festgestellt worden, keineswegs aber für alle. In Bezug auf einzelne Verschmutzungsaktivitäten hat es eine Entkopplung vom Wachstum des BIP gegeben (z. B. bei der Schwefeldioxidbelastung), bei anderen aber nicht. Vergleichende Länderstudien kommen dementsprechend zur Unterscheidung in „Vorreiter“, „Nachzügler“ und „Sitzenbleiber“ (Andresen & Agrwala 2002).

Was das Dreisektoren-Modell der Wirtschaft angeht, lassen die empirischen Forschungen einige allgemeine Schlussfolgerungen zu:

- a) Der Trend zur „Dienstleistungsgesellschaft“ ist zum Teil nur Zeichen der Auslagerung produktionsbezogener Dienstleistungen und impliziert keine absolute Verringerung des Einsatzes natürlicher Ressourcen, keine absolute Reduktion der Schadstoffemissionen.
- b) Die Unterschiede in den Emissionskoeffizienten (niedrige im Dienstleistungssektor, hohe im Industriesektor) verringern sich, wenn die durch Vorleistungen verursachten Schadstoffemissionen mit in die Betrachtung einbezogen werden.
- c) Der Dienstleistungssektor expandiert, jedoch unter zunehmender Nutzung von Fläche und mit zusätzlichem Verkehr.
- d) Der Rückgang des Landwirtschaftsanteils am BIP geht mit einer Intensivierung der Anbautechnik und erhöhter chemisch-physikalischer Bodenbelastung einher.

Zwischenfazit: Der autonome wirtschaftliche Strukturwandel ist eine notwendige, aber keine hinreichende Be-

dingung für Umweltentlastung. Aus ökologischen Gründen muss nicht nur eine relative, sondern eine absolute Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und der Schadstoffemissionen bewirkt werden. Wie realitätsnah ist eine solche fundamentale Forderung?

Zur Dimension des Themas absolute Reduzierung von Ressourcenverbrauch und Schadstoffemission zunächst einige Zahlen:

a) Der Materialverbrauch pro Kopf und Jahr liegt in Deutschland (bei weiterhin steigender Tendenz) bei rund 60 Tonnen; die energiebedingten CO₂-Emissionen liegen (bei sinkender Tendenz) bei knapp 10 Tonnen. Die Deutschen (nicht nur sie) tragen einen schweren „Ökologischen Rucksack“, der aus Gründen des Umweltschutzes und der internationalen Gerechtigkeit leichter werden muss.

b) Die laufende Flächenumwandlung in Deutschland ist weiterhin sehr hoch (bei nur leicht sinkender Tendenz). Die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie will ihn von derzeit 87 auf 30 Hektar pro Tag reduzieren. Der „Ökologische Fußabdruck“ soll kleiner werden.

c) Die Autobauer haben keinen genuine Beitrag zur Umweltentlastung geleistet – und der Autos gibt es immer mehr. Der Flottenverbrauch ist nicht wesentlich gesunken, weshalb die EU-Kommission laufend weiter zu reduzierende Emissionswerte verordnet.

d) Es gibt auch keine Entwarnung bei den globalen Trends. In einer Studie über die globale „De-Materialisierung“ (Torras 2003) wurden die Wachstumsraten der Wirtschaft korreliert mit der sektoral differenzierten Materialintensität der Pro-

duktion (niedrig, mittel, hoch) und dem sich ändernden Anteil dieser Sektoren (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen). Ergebnis: Zwischen 1960 und 1998 ist das Weltprodukt (GDP) von 8,8 auf 31 Trillionen US-Dollar gestiegen. Dabei hat der Anteil der Dienstleistungen von 50,3 auf 61,8% zugenommen; der der Landwirtschaft ist von 10,2 auf 4,5%, der der Industrie von 39,7 auf 33,7% zurückgegangen (relative „De-Industrialisierung“). Unter Status-quo-Bedingungen würde sich das Weltprodukt bis 2050 um das 6,1-Fache, der Produktionswert der Landwirtschaft um das 1,9-Fache, der der Dienstleistungen um das 7,3-Fache, jener der Industrie um das 4,4-Fache erhöhen. Je nach Annahme über die Materialintensität der Sektoren (Industrie gleich, größer oder viel größer als die der anderen Sektoren) müsste die Ressourcenproduktivität (Output pro eingesetzter Materialeinheit) jährlich um 3,2 bis 3,6% zunehmen, damit der globale Materialdurchsatz gleich bleiben könnte (schwache bzw. relative De-Materialisierung) – und entsprechend mehr, wenn eine starke bzw. absolute De-Materialisierung Platz greifen soll.

Was sagen uns die Studien zum globalen Wandel (vgl. etwa EEA 2003 ff.; UNEP 1997 ff.; WBGU 1993 ff.; Worldwatch Institute 1990 ff.)? Kurzgefasst dies: Wenn die Weltwirtschaft weiter wie gewohnt wächst und wachsen soll (?), die Stoff- und Energieströme aber aus Gründen der ökosystemaren Stabilität nicht weiter wachsen dürfen, sondern absolut sinken müssen, sind enorme Anstrengungen in Bezug auf die Ressourcenproduktivität erforderlich. Sollte dies als unwahrscheinlich angesehen werden, lautet die Schlussfolgerung: De-Materialisierung und De-Karbonisierung als ökologische Perspektiven – als absolute und nicht nur relative Umweltentlastung – sind nur erreichbar, wenn man von den hohen Wachstumsraten der Weltwirtschaft abrückt und neben der Produktivitätsstrategie (*Effizienz*) anderen Strategien Raum gibt: grundlegenden Änderungen im Lebensstil (*Suffizienz*) und im industriellen Design (*Konsistenz*). Dies sind Transformationsansätze, die in einigen Forschungsfeldern beispielhaft verfolgt worden sind.

Ökologisierung einzelner Sektoren Ökologische Produktion

So hieß ein frühes Projekt (Zimmermann, Hartje & Ryll 1990), das die stra-

tegischen technologischen Alternativen ausloten sollte. Die sich ergebende Handlungsanweisung lautet: Übergang von der nachgeschalteten Umweltschutztechnik zur integrierten Umwelttechnik – von der *end-of-pipe-technology* zur *clean technology*! Vorsorgende Techniken sind nachsorgenden Techniken in ökologischer Hinsicht überlegen, weil sie die Ursachen der Umweltprobleme angehen, nicht die entstandenen Umweltschäden. Schadensvermeidung statt Schadensbehandlung ist das Credo. Es gibt in dieser Frage manche Erfolge, aber auch Patt-Situationen, weil solche Techniken zumeist einen höheren Investitionsaufwand erfordern. Die ursprüngliche Forschungsfrage wurde später erweitert (Wallace 1995; Jänicke 2000): Wie kann welche Art von Umweltpolitik technische Innovationen beschleunigen? „Umweltmanagement“, „Öko-Audit“, „Öko-Controlling“ wurden zu praktischen Verfahren in der Betriebswirtschaft.

Ökologischer Konsum

Das Konsumniveau in den Industrieländern ist nicht weltweit generalisierbar. Doch der Trend zu nicht-nachhaltigem Konsumverhalten ist ungebrochen, trotz vieler Anstrengungen zur Kennzeichnung umweltfreundlicher Produkte wie „Grüner Punkt“ und „Blauer Engel“. Andererseits wurde erkannt, dass die Konsumenten aus einer Vielzahl unterschiedlicher Gruppen bestehen, die sich in ihrem Verhalten stark unterscheiden – was sich auch bei internationalen Vergleichen zeigt. In einer Studie über Konsumstile im Auftrag des Umweltbundesamtes (2001) wurde eine entsprechende Typologie entwickelt, die zehn Konsumtypen umfasst und diese zu vier Zielgruppen bündelt:

- (1) Die Umwelterorientierten, denen die „durchorganisierten Öko-Familien“ und die „Alltags-Kreativen“ zugerechnet werden;
- (2) die Überforderten, denen die „Konsum-Genervten“, die „Jungen Desinteressierten“ und die „Schlecht-Gestellten“ angehören;
- (3) die Traditionellen, mit den „Ländlich-Traditionellen“, den „Aktiven Senioren“ und den „Unauffälligen Familien“;
- (4) die Privilegierten, mit den „Kinderlosen Berufsorientierten“ und den „Statusorientierten Privilegierten“.

Die Schlussfolgerung hieraus lautet: Konsumtypologie und Zielgruppenkonzepte müssen zu Elementen der Um-

weltkommunikation werden; die Vermarktung ökologischer Produkte und die Produktentwicklung sollten sich besser auf die Bedürfnisse und Präferenzen der verschiedenen Zielgruppen einstellen.

Ökologischer Stadtumbau

Die Stadtökologie befasst sich mit den Umweltwirkungen der Urbanisierung, den städtischen Lebensstilen, Ver- und Entsorgungssystemen. Eine zentrale Arbeitshypothese lautet: Die gewachsenen Siedlungsstrukturen stellen wichtige Ursachen der Umweltproblematik dar und sind vielfach nicht zukunftsfähig. Es gilt, sie anzupassen, „Ökologischer Stadtumbau“ ist angesagt (Hahn 1993). Als Handlungswissenschaft entwickelt die Stadtökologie Leitbilder, Modelle, Verfahren und Instrumente, um den Umbau der etablierten Strukturen einleiten bzw. voranbringen zu können. Dieser Umbau betrifft vor allem das städtische Flächen- und Mobilitätsmanagement, die energetische Effizienz der Bausubstanz, die Effektivität der Ver- und Entsorgungssysteme, die Wiederentdeckung des Wassers (Ipsen 1998) – und damit auch das soziale Miteinander in der Stadt.

Ökologischer Landbau

BSE – diese drei Buchstaben hatten in Deutschland innerhalb weniger Tage bewirkt, was der Ernährungsaufklärung in 50 Jahren nicht gelungen war: Die Verbraucher aßen weniger Fleisch! Doch dieser Bewusstseinswandel währte nicht lange. „Klasse statt Masse“ (Renate Künnast) mutierte zu „Klasse und Masse“, Effizienz- und Weltmarktorientierung der Landwirtschaft gewannen wieder die Oberhand (Ratschow 2003). Der ökologische Landbau steht eher am Rande, jedenfalls nicht im Zentrum des politischen Diskurses, und von „Agrarkultur“ sind wir noch weit entfernt. Der Anteil des Ökoanbaus an der landwirtschaftlichen Produktion hat regional sehr unterschiedlich zugenommen, in Brandenburg schneller als in Niedersachsen oder Schleswig-Holstein. Den unbefriedigenden Stand der Ökologisierung des Landbaus verdanken wir allerdings nicht nur kommerziellen Verwertungsinteressen und der EU-Agrarpolitik, sondern auch höchst widersprüchlichen Positionen in der Agrarwissenschaft.

Internationaler Handel und Umwelt

Der Begriff Umwelt (environment) tauchte im Allgemeinen Zoll- und Han-

delsabkommen (GATT) von 1947 nicht auf; nur einige Bestimmungen, insbesondere Art. III und XX, erlaubten handelsbeschränkende Maßnahmen zum Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen sowie zum Erhalt erschöpfbarer natürlicher Ressourcen. In der Präambel der 1994 gegründeten Welthandelsorganisation (WTO) wurde hingegen festgehalten, dass die Nutzung der Weltressourcen im Einklang mit dem Ziel der nachhaltigen Entwicklung (*sustainable development*) geschehen soll. Der Schutz der Umwelt war so auch für den internationalen Handel zum Thema geworden, was angesichts der zunehmenden Globalisierung der Wirtschaft von großer Bedeutung ist. Doch welche inhaltlichen Konsequenzen sich hieraus ergeben, war lange unklar. Der ökologische Reformbedarf des GATT/WTO-Regimes musste erst neu definiert werden (Helm 2000). Wir wissen jetzt, was in Bezug auf die Ökologisierung des internationalen Handels geschehen müsste, wie internationale Handels- und Umweltpolitik integriert werden könnten. Ob und wie diese Erkenntnis die Globalisierungskritik befruchten und die Gestaltung des internationalen Handels verändern wird, ist aber auch nach heftigen Auseinandersetzungen um die G8- bzw. G20-Treffen (in Seattle, Genua, Porto Alegre, Heiligendamm, Seoul) weiterhin offen.

Industrielle Ökologie bzw. Industrieller Metabolismus

„Natur als Ressource“, „Natur als Senke“ – diese beiden Metaphern dominieren die Empirie der Forschung zum Ökologischen Strukturwandel. Lassen sich Ressourcenverbrauch und Wirtschaftswachstum, Schadstoffbelastung und Einkommenszunahme entkoppeln, relativ oder gar absolut? Das ist die eine strategische Frage. Lassen sich die Absorptionskapazitäten der Natur bewahren, die Senken erweitern? Das ist die zweite zentrale Frage. „Natur als Modell“ – die dritte Metapher – hat zu vielfältigen Initiativen geführt, hat die Kunst (Nils-Udo 2002), die Naturphilosophie (Meyer-Abich 1997) wie die Biologie beflügelt (Hannon 1997). Und sie hat auch in den Sozialwissenschaften Fuß gefasst.

Von der Intervention in die Natur und vom Schutz der Natur hin zur Orientierung an der Natur! So könnte man vereinfacht umschreiben, was unter der Rubrik „Industrielle Ökologie“ gedacht



Oliver Stern, Luzern, Stücheli Architekten, Karin Rohländer, Zürich (R)

Ökologischer Stadtumbau: Zwei „Minergie-P-Eco-Bauten“ – das Verwaltungszentrum Uetlihof in Zürich (2009) und ein Geschäftshaus in Esslingen (2010), von der Firma Stücheli Architekten in Zürich projiziert – zeigen Möglichkeiten für eine energetisch höchst effiziente Bausubstanz.

und erforscht wird. Vor rund zehn Jahren entstand hierzu ein Diskurs, ausgehend von einem losen Konzept hin zu einer professionellen Gesellschaft mit einer Zeitschrift (*Journal of Industrial Ecology*), einem Handbuch (Ayres & Ayres 2002) und anderen Ingredienzien, die eine neue Disziplin begründen. Dabei hat die direkte oder nur imaginative Analogie zwischen natürlichen Ökosystemen und industriellen Systemen zur Ableitung neuer theoretischer Konstrukte und praktischer Handlungsanweisungen geführt. Konzepte wie „Material Flow Analysis“, „Product Chain“, „Life Cycle Assessment“, „Cradle to Cradle“ oder „Ecological Footprint Analysis“ wurden entwickelt und getestet. Der Natur mag, wie kritisch eingewandt werden kann, der „moralische Kompass“ fehlen, den man zur Schaffung einer nachhaltigen Wirtschaft und Gesellschaft braucht, doch verdeutlichen diese Ansätze, dass vom Menschen geschaffene industrielle Systeme natürlichen Vorbildern nachempfunden, also auch ökologisch umstrukturiert werden können.

Das Konzept „Industrieller Metabolismus“ lädt wiederum zu vielfältigen Assoziationen ein (vgl. Ayres & Simonis 1994). Der Stoffwechsel der Industriegesellschaft ist überhöht; in Analogie: Sie leidet unter einer Reihe von Stoffwechselkrankheiten, an unvollständigem

Abbau bestimmter Stoffe und fehlender Synthetisierung anderer Stoffe, was zu gravierenden Ausfallerscheinungen führen kann – zu Gicht, Fettsucht, Diabetes mellitus. In den Sprung-, Hand- und Kniegelenken der Industriegesellschaft ist es zu Schmerz verursachenden Ablagerungen gekommen, eine abnorme Ansammlung von Körperfett mit entsprechend vermehrter Körpermasse hat sich eingestellt, und wegen unzureichender Insulinproduktion liegt eine Störung des Kohlenhydrat-, des Fett- und Eiweißstoffwechsels vor, wodurch Schäden an Leber, Nieren, Nerven und Blutgefäßen entstanden sind. Wir sind aber noch auf der Suche nach der adäquaten industriegesellschaftlichen Behandlung dieser Krankheitsbilder. Die Antwort liegt irgendwo im Grundverständnis der Wirtschaft in Analogie zum biologischen Stoffwechsel (vgl. Quesnay 1758/1965).

Bei der Industriellen Ökologie bzw. beim Industriellen Metabolismus geht es also nicht nur um die Verbesserung der Wirkungsgrade der Technologie- und Produktlinien, sondern auch darum, die ökologische Qualität der industriegesellschaftlichen Stoffströme so zu verändern und diese zu reduzieren (!), dass sie sich dem Naturstoffwechsel besser einfügen. Diesen Aspekt der qualitativen Transformation der Stoffströme hat man mit dem Begriff „Konsistenz“ zu fassen versucht

(Huber 1995) – und so bewusst den Diskurskontext mit „Effizienz“ und „Suffizienz“ hergestellt. Effizienz, Suffizienz und Konsistenz, diese drei Strategieelemente des ökologischen Strukturwandels von Wirtschaft und Gesellschaft bedingen einander. Worauf der Schwerpunkt jeweils liegen wird bzw. wie die Integration dieser Strategieelemente gelingen kann, ist zeitlich und räumlich aber offen. Eine solche Ambivalenz zeigt sich auch bei der Diskussion um das zweite zentrale Transformationskonzept, das nun zu behandeln ist.

Zur Genese des Begriffs Green New Deal

Der Begriff New Deal steht historisch für eine Reihe von Reformen in den USA, die mit massiven staatlichen Interventionen die Binnenkonjunktur ankurbeln und Massenarbeitslosigkeit beseitigen sollten. Unter Präsident Hoover war die Arbeitslosigkeit von 3,2 Mio. im Jahr 1930 auf 13,2 Mio. 1933 gestiegen. In kürzester Zeit – von März bis Juni 1933 – unterzeichnete der neue Präsident, Franklin D. Roosevelt, zahlreiche Gesetze zur Regulierung der Märkte, gefolgt von Maßnahmen, die die Wirtschaft stabilisieren bzw. reaktivieren sollten.

Zunächst nahm man sich der Bekämpfung unsolider Banken an, deren Widerstand durch die Anhörung seitens

der „Banking und Currency Commission“ gebrochen wurde, die geschäftliche Schiebereien durchleuchtet und massive Steuerhinterziehungen aufgedeckt hatte. Neben der Banken- und Börsenüberwachung kam es zu weiteren Maßnahmen, wie unter anderem:

- a) Verkürzung der Arbeitszeit und Erhöhung der Löhne,
- b) Mindestlöhne für Industriearbeiter,
- c) Steuersystem mit niedrigen Sätzen für Arme und hohen für Reiche,
- d) Freiwilliger Arbeitsdienst zur Aufforstung und Bodenverbesserung,
- e) Gebäude- und Infrastrukturinvestitionen großen Umfangs,
- f) Einrichtung der „Tennessee Valley Authority“, mit der die öffentliche Hand zum Energieversorger wurde.

Dieser New Deal gilt als markantes Beispiel einer unter staatlicher Regie angewandten Therapie einer multiplen Krise. Konzeptionell war er eine Mischung aus Konjunkturpolitik und Strukturpolitik und eine Wende vom Prinzip der Deregulierung hin zur staatlichen Regulierung der Wirtschaft. Dieser Ansatz hatte Erfolg – und wurde doch auszubremsen versucht. Im Januar 1935 erklärte das Oberste Gericht der USA einen Teil der New Deal-Gesetze für verfassungswidrig; bis Mai 1936 verwarf es elf weitere Gesetze. Die USA waren damit aus einer Wirtschaftskrise in eine Verfassungskrise geraten. Im November 1936 aber wurde Präsident Roosevelt mit großer Mehrheit wiedergewählt. Das Oberste Gericht konnte mit neuen Richtern besetzt werden, und der New Deal fand in der Folgezeit auch auf Seiten der Justiz die notwendige Unterstützung. Der New Deal von damals, ein Vorbild für einen Green New Deal heute? Zweifellos eine interessante Frage.

Der Begriff New Deal ist ein Idiom der englischen Sprache und bedeutet so viel wie Neuverteilung der Karten. Die Karten müssen neu gemischt werden, wenn man eine Krise angehen will. Das klingt schon im Deutschen gut; um wie viel besser im Englischen. „Seal a Deal“ – so der Titel der Rede des UN-Generalsekretärs Ban Ki-moon beim World Business Summit in Kopenhagen 2009, in der er den Klimawandel als die zentrale Herausforderung unserer Zeit geißelte und die Wirtschaft, die Zaunsteher und Skeptiker herausforderte: „Seal the deal to protect our planet. Seal the deal for a cleaner, greener and sustainable global economy!“

Formierung des Green New Deal-Konzepts

Erstmals hatte Thomas L. Friedman im April 2007 in zwei Aufsätzen in der New York Times den Begriff „Green New Deal“ verwendet. Zur weltweiten Verbreitung des Begriffs trug das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) bei, das im Oktober 2008 die Initiative „Global Green New Deal“ startete. Die zentrale Vorstellung ist, mit „grünen“ (sauberen und nachhaltigen) Produkten und Technologien einen durchgreifenden Strukturwandel der Weltwirtschaft zu erreichen, der eine gefährliche Klimaänderung verhindern und die Folgen des Klimawandels eindämmen kann. In einer Kooperation von Worldwatch Institute und Heinrich-Böll-Stiftung erschien im April 2009 hierzu ein Strategiepapier (French et al. 2009). Edward B. Barbier veröffentlichte dann 2010 ein Buch zum Thema, das weltweit große Aufmerksamkeit erzielte (Barbier 2010).

Wer Begriffe frühzeitig besetzt, ist in einer strategisch günstigen Position – so sagt ein Sprichwort. In diesem Falle ist das damit verbundene Konzept allerdings nicht ganz so jung, wie manche meinen. Man wird ja sogleich an viele frühere Studien erinnert, die den konfliktreichen Spannungsbogen von Ökonomie und Ökologie ausgeleuchtet haben und von denen oben die Rede war. Was also ist das Besondere an der Fokussierung auf einen Green New Deal?

Barbier formuliert das Konzept auf Basis einer bildhaft-rhetorischen Frage: Wollen wir die Überwindung der derzeitigen Krise aus der Wiederbelebung der bestehenden „braunen“ Weltwirtschaft (*brown economy*) heraus starten, oder wollen wir die globale Wiederbelebung in Richtung einer „grünen“ Ökonomie (*green economy*) voranbringen, die ökologische Schäden zu vermeiden sucht? Die richtige Mischung politischer Entscheidungen und Rahmenbedingungen könne, so sagt er, zugleich zu Wiederbelebung (*recovery*) und zu Nachhaltigkeit (*sustainability*) führen. Er sieht das adäquate Paket aus Politik, Investitionen und Anreizmechanismen in der Verfolgung dreier Ziele – a) Wiederbelebung der Weltwirtschaft, Schaffung von Arbeitsplätzen und Schutz gefährdeter sozialer Gruppen; b) Reduzierung der Kohlenstoffabhängigkeit, der Umweltdegradation und der Wasserknappheit; c) Beförderung der UN-Millenniumsziele zur Beendigung der extremen Armut – und widmet seine Aufmerksamkeit den

nationalen und internationalen Möglichkeiten der Schaffung einer kohlenstoffarmen Ökonomie (*reducing carbon dependency*) und dem Schutz der Ökologie (*reducing ecological scarcity*).

Diese Überlegungen zu einem Green New Deal könnten, so verdienstvoll und zeitgemäß sie auch sein mögen, dennoch am Widerstreit der Interessen scheitern. Nicht nur, dass dieser Deal global ist und sein muss. Es besteht auch die Gefahr des nur vermeintlichen Konsens: Man gibt vor, dafür zu sein und ist doch insgeheim nur am Fortbestand des Gewohnten interessiert. Es gilt daher zwei Positionen zu beachten und zu beobachten:

- a) den „Marktradikalismus“ zur Meisterung der Umweltproblematik;
- b) das „Greenwashing“, die Versuche zur Reinwaschung der weiterhin schmutzigen Wirtschaft.

Man sollte also nicht davon ausgehen, dass ein Green New Deal ohne weiteres mehrheitsfähig und auf Erfolgskurs ist. Andererseits sind Mechanismen in Gang gesetzt, die ihn zumindest begünstigen – allen voran die internationale Klimapolitik. Die UN-Konferenz 2012 („Rio + 20“) hat keinen Durchbruch zu einer effektiven Politik der Eingrenzung des Klimawandels (*mitigation*) und der Anpassung an den Klimawandel (*adaptation*) gebracht, doch die Wissenschaft hat ihre Bringschuld erbracht mit:

- a) den Szenarien des Klimawandels, über die politisch entschieden werden kann (IPCC-Bericht);
- b) der Ermittlung der Kosten, die mit dem Klimawandel und dessen Bekämpfung verbunden sind (Stern-Report);
- c) dem Budgetansatz (WBGU-Gutachten), der ein Konzept für einen Global Green New Deal liefert.

Der IPCC-Bericht (2007) und der Stern-Report (2006) sind allseits bekannt, daher sollen die abschließenden Betrachtungen dem WBGU-Sondergutachten (2009) gelten.

Innovatives Konzept eines Global Green New Deal

Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) geht davon aus, dass die weitere globale Erwärmung auf 2 °Celsius begrenzt werden muss, um verheerende Folgen des Klimawandels zu vermeiden. Dieses Ziel kann mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht werden, wenn die zusätzlichen globalen CO₂-Emissionen bis 2050 die Marke von 750 Mrd. Tonnen nicht überschrei-

ten. Etabliert man im Rahmen eines solchen Globalbudgets das Prinzip der individuellen Klimagerechtigkeit, räumt man also jedem Menschen auf der Erde gleiche Emissionsrechte ein und verteilt diese gemäß der Bevölkerungszahl auf die einzelnen Staaten, ergeben sich daraus die nationalen Emissionsbudgets. Auf Grundlage dieser (gerade noch erlaubten) nationalen Emissionsmengen müssten Maßnahmen für eine klimaverträgliche Wirtschaftsweise und einen klimaschonenden Lebensstil entwickelt und umgesetzt werden.

Gegenwärtig werden jährlich rund 30 Mrd. Tonnen CO₂ emittiert. Würde sich dieses Emissionsniveau zukünftig fortsetzen, wäre das Globalbudget in 25 Jahren aufgebraucht. Was Deutschland angeht, würde das Budget für die Jahre bis 2050 rund 9 Mrd. Tonnen betragen und in den nächsten 10 bis 12 Jahren aufgebraucht sein. Das US-Budget würde nur noch sechs Jahre reichen, das von China 24 Jahre, während dasjenige von Indien immerhin 88 Jahre reichen würde.

Mit einem internationalen Emissionshandelssystem können Defizit- und Überschussländer miteinander verknüpft werden: In dem Umfang, wie Industrieländer die notwendige Verringerung ihrer Emissionen nicht schaffen, müssen sie Emissionsrechte von Entwicklungsländern hinzukaufen. Damit wären die Anreize für eine ökologische Transformation dort gesetzt, wo sie am stärksten sind – im Portemonnaie des Bürgers, in der Betriebsbilanz und im Staatshaushalt.

Fazit: Der Budgetansatz des WBGU macht deutlich, dass die Weltwirtschaft in Bezug auf das 2°-Ziel der Klimapolitik auf dem Weg in die CO₂-Insolvenz ist. Eine „Weiter-so-Politik“ ist keine Option mehr. De-Karbonisierung und De-Materialisierung sind zu zentralen Aufgaben geworden. Der Fokus der Debatte um einen Global Green New Deal ist ein anderer als der bei der Debatte um den „Ökologischen Strukturwandel“, doch die Botschaft ist im Grunde dieselbe: Eine große Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft steht an!

Literatur

- Andresen, Steinar & Shardul Agrawala. 2002. Leaders, pushers and laggards in the making of the climate regime. *Global Environmental Change* 12: 41-51.
- Ayres, Robert U. & Leslie W. Ayres (Eds.). 2002. *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham: Edward Elgar.

- Ayres, Robert U. & Udo E. Simonis (Eds.). 1994. *Industrial Metabolism. Restructuring for Sustainable Development*. Tokyo, New York, Paris: United Nations University Press.
- Ban Ki-moon. 2009. Seal a Deal – for a cleaner, greener and sustainable global economy. In: *JAHRBUCH ÖKOLOGIE 2010*. Stuttgart: Hirzel: 40-44.
- Barbier, Edward B. 2010. *A Global Green New Deal. Rethinking the Economic Recovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Boulding, Kenneth E. 1966. The economics of the coming spaceship earth. In: H. Jarrett (Ed.). *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press: S. 3-14.
- Carson, Rachel .1962/1981. *The Silent Spring*. Greenwich: Fawcett; deutsch: *Der Stumme Frühling*, München: C.H. Beck.
- Daly, Herman E. 1973. *Toward a Steady-State Economy*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Daly, Herman E. 1999. *Wirtschaft jenseits von Wachstum*. Salzburg: Pustet.
- Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages. 1994. *Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen*. Bonn: Economica.
- European Environment Agency (EEA). 2003 ff. *Europe's Environment*. Copenhagen: EEA (bisher drei Berichte).
- Forrester, Jay W. 1971. *World Dynamics*. Cambridge/Mass.: Wright-Allen Press.
- French, Hilary, Michael Renner & Gary Gardner. 2009. *Auf dem Weg zu einem Green New Deal*. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- Friedman, Thomas L. 2008. *A Green New Deal. Joined-up policies to solve the triple crunch of the credit crisis, climate change and high oil prices*. New York.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge/Mass.: Harvard University Press.
- Haeckel, Ernst. 1866. *Allg. Entwicklungsgeschichte der Organismen*. Berlin: Reimer.
- Hahn, Ekhart. 1993. *Ökologischer Stadtumbau. Konzeptionelle Grundlegung*. 2. Aufl., Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Hannon, Bruce. 1997. The use of analogy in biology and economics. *Structural Change and Economic Dynamics*. Vol. 8: 471-488.
- Helm, Carsten. 2000. *Economic Theories of International Environmental Cooperation*. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Huber, Joseph. 1995. *Nachhaltige Entwicklung*. Berlin: edition sigma.
- Huppess, Gjal & Udo E. Simonis. 2010. Environmental policy instruments. In: Jan J. Boersma & Lucas Reijnders (Eds.). *Principles of Environmental Sciences*. Dordrecht: Springer: 239-280.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007. Three volumes: The Scientific Basis; Impacts and Vulnerabilities; Mitigation*; Cambridge: Cambridge University Press.
- Ipsen, Detlef et al. 1998. *Wasserkultur. Beiträge zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung*. Berlin: Analytica.
- Isenmann, Ralf. 2003. *Natur als Vorbild. Plädoyer für ein differenziertes und erweitertes Verständnis der Natur in der Ökonomie*. Marburg: Metropolis.
- Jänicke, Martin, Harald Mönch, Manfred Binder et al. 1993. *Umweltentlastung durch industriellen Strukturwandel?* Berlin: edition sigma.
- Jänicke, Martin. 2010. Das Innovationstempo in der Klimapolitik forcieren! In: *JAHR-BUCH ÖKOLOGIE 2011*. Stuttgart: Hirzel: 138-147.
- Meadows, Donella et al. 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books; deutsch: *Die Grenzen des Wachstums*. Stuttgart: DVA.
- Meadows, Donella et al. 1992. *Beyond the Limits*. Post Mills: Chelsea Green Publ.; deutsch: *Die neuen Grenzen des Wachstums*. Stuttgart: DVA.
- Meyer-Abich, Klaus. 1997. *Praktische Naturphilosophie. Erinnerung an einen vergessenen Traum*. München: C.H. Beck.
- Mol, Arthur & David A. Sonnenfeld (Eds.) (2000): *Ecological Modernisation around the World*. London: Frank Cass.
- Nils-Udo. 2002. *Towards Nature*. Tokyo: Kyodo News.
- Quesnay, François. 1758. *Tableau économique*, 3. Aufl. 1759; 1965 ins Deutsche übersetzt und herausgegeben von Marguerite Kuczynski, Berlin: Akademie-Verlag.
- Ratschow, Christiane. 2003. *Agrarumweltpolitik*. Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Siebenhüner, Bernd. 2001. *Homo sustinens. Auf dem Weg zu einem Menschenbild der Nachhaltigkeit*. Marburg: Metropolis.
- Simonis, Heide & Udo E. Simonis. 1976. *Lebensqualität: Zielgewinnung und Zielbestimmung/Quality of Life: Method and Measurement*. Kiel: Institut für Weltwirtschaft.
- Simonis, Udo E. 1988. *Ökologische Orientierungen. Vorträge zur Strukturanpassung von Wirtschaft, Technik und Wissenschaft*. 2. Aufl., Berlin: edition sigma.
- Simonis, Udo E. (Hg.). 1980/1994. *Ökonomie und Ökologie. Auswege aus einem Konflikt*. 7. Aufl., Karlsruhe: C.F. Müller (auch in Japanisch).
- Stern, Nicholas et al. 2006. *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Torras, Mariano. 2003. *Global structural change and its de-materialization implications*. *International Journal of Social Economics* 30, No. 6: 700-719.
- Umweltbundesamt (UBA). 2001. *Nachhaltige Konsummuster. Konturen eines neuen umweltpolitischen Handlungsfeldes*. Berlin: Erich Schmidt.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 1997 ff. *Global Environment Outlook*. London: Earthscan (bisher fünf Berichte).
- Wallace, David. 1995. *Environmental Policy and Industrial Innovations. Strategies in Europe, the USA and Japan*. London: Earthscan.
- Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU). 1993 ff. *Welt im Wandel. Jahresgutachten*. Berlin: Springer (auch in Englisch).
- WBGU. 2009. *Kassensturz für den Weltklimavertrag. Der Budgetansatz. Sondergutachten*. Berlin: WBGU; englisch: *Solving the climate dilemma: The budget approach*, Berlin: WBGU.
- Worldwatch Institute. 1990 ff. *State of the World*. New York: W.W. Norton & Co.
- Zimmermann, Klaus, Volkmar J. Hartje & Andreas Ryll. 1990. *Ökologische Modernisierung der Produktion*. Berlin: edition sigma.

Sicherung der Rohstoffversorgung für die Zukunft des Technologiestandortes Deutschland

Aktivitäten der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) im Kontext der internationalen Rohstoffmärkte

Volker Steinbach¹, Peter Buchholz²

Werden Rohstoffe knapp? Ist die Rohstoffversorgung für unsere Gesellschaft und die deutsche Wirtschaft mit Blick auf die Zukunftsfähigkeit des Technologiestandortes Deutschland gesichert? Können wir auch künftig ungehindert Rohstoffe in ausreichenden Mengen importieren? Unter welchen Bedingungen werden die Rohstoffe in Deutschland, in Europa und weltweit abgebaut? Welchen Beitrag können Recycling und Substitution zur Deckung des Rohstoffbedarfs in Deutschland und im Weltmaßstab leisten? Welche Potenziale können durch den effizienten Einsatz von Rohstoffen eingespart werden? Diese und viele andere Fragen sind in den Brennpunkt der wirtschaftlichen, politischen sowie der öffentlichen Diskussion gerückt.

Die aktuelle weltweite Rohstoffsituation

Drei wesentliche Faktoren sind für die „neue weltweite Rohstoffsituation“ verantwortlich. Zum ersten ist dies das rasante Wirtschaftswachstum der Schwellenländer, allen voran Chinas, das in einem hohen Maße den wachsenden Rohstoffkonsum bewirkt. Während beispielsweise China in den 80er- und 90er-Jahren ein großer Rohstoffexporteur war, ist das Land heute bei vielen Rohstoffen der größte Verbraucher und importiert Rohstoffe in großem Maßstab. Zum zweiten wurde das Rohstoffthema in den 90er-Jahren bis Anfang des 21. Jahrhunderts auf Grund der entspannten Weltrohstoffmärkte unterschätzt, sodass global zu wenig in Exploration, Bergbau, Hüttenprozesse, Recycling, technische Infrastruktur etc. investiert wurde. Zum dritten stehen wir heute vor großen, teilweise fast sprunghaften technologischen Veränderungen, wie dem Ausbau der erneuerbaren Energien, der Elektromobilität oder der modernen Kommunikationstechnologien. Diese neuen Technologien erfordern oftmals völlig neue Rohstoffkomponenten.

1 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
2 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin

Erschwerend kommen Wettbewerbsverzerrungen, z.B. chinesische Exportquoten auf Seltene Erden, die den freien Zugang zu Rohstoffen behindern, sowie hohe Länder- bzw. Firmenkonzentrationen bei der Produktion verschiedener wichtiger Rohstoffe hinzu. Darüber hinaus sind einige dieser Länder politisch instabil, was eine kontinuierliche Rohstoffversorgung erschweren kann (Abb. 1).

Rohstoffsituation Deutschland

Bezogen auf Baurohstoffe, Industriemineralien, Stein- und Kalisalz sowie Braunkohle ist Deutschland ein rohstoffreiches Land. Bei Baurohstoffen und Braunkohle kann der Eigenbedarf vollständig gedeckt werden; bei Braunkohle ist Deutschland sogar der weltweit größte Produzent. Deutschland ist jedoch bei Energierohstoffen zu einem sehr hohen Anteil und bei Metallerzen und Konzentraten zu 100% von Importen abhängig. Deutschland ist zu 100% Nettoimporteur bei Phosphat, Graphit und Magnesit, zu 97% bei Mineralöl, zu 84% bei Erdgas und zu 72% bei Steinkohle. Hohe Importabhängigkeiten bestehen bei zahlreichen Industriemineralien und Metallraffina-Produkten (Abb. 2).

Bei den Recyclingraten der Raffina-Produkte Blei, Kupfer, Aluminium und Zink ist Deutschland weltweit führend und kann dadurch seine Importabhängigkeit reduzieren. Bei anderen Rohstoffen wie Kalisalz, Schwefel, Gips und Anhydrit ist Deutschland sogar Nettoexporteur.

Die in den letzten Jahren begonnenen Explorations- und bergbaulichen Erschließungsarbeiten auf Metalle und Industriemineralien, wie z. B. Kupfer (Kupferschiefer Spremberg), Lithium (Altenberg), Flussspat (Niederschlag) oder Graphit (Kropfmühl), sind aus rohstoffwirtschaftlicher Sicht sehr zu begrüßen und werden auch dazu beitragen, dass das Know-how im Rohstoff- und Bergbausektor in Deutschland wieder steigt.

Im Jahr 2010 betrug das Gesamtrohstoffaufkommen Deutschlands wertmäßig ca. 138 Mrd. €. Davon entfiel über die

Hälfte auf Importe von Energierohstoffen, knapp ein Viertel auf Importe von Metallen und Industriemineralien sowie ein Viertel auf die heimische Produktion aus Primär- und Sekundärrohstoffen (Abb. 3). Dieses Verhältnis von Import, Eigenproduktion und Recycling zeigt deutlich, dass

a) Deutschland in hohem Maße vom weltweiten Rohstoffmarkt abhängig ist und somit faire globale Handels- und Wettbewerbsverhältnisse benötigt,

b) das Eigenpotenzial an Rohstoffen, insbesondere Baurohstoffen, Kali- und Steinsalz sowie Braunkohle, für eine nachhaltige Rohstoffversorgung einen wesentlichen Beitrag leistet und für die Deckung des Rohstoffbedarfs im Bau- und Infrastrukturbereich grundlegend ist und

c) die im weltweiten Vergleich hohen Recyclingkapazitäten weiter genutzt und nach Möglichkeit weiter ausgebaut werden müssen.

Die Rohstoffversorgung ist sozusagen das „Nadelöhr“ für die deutsche Wirtschaft, insbesondere für Schlüssel- und Hightechtechnologien. Besonders in Hinblick auf neue Technologieentwicklungen, vor allem beim Ausbau der erneuerbaren Energien und der Elektromobilität, ist in den nächsten Jahren mit einem steigenden Bedarf an Metallrohstoffen, besonders an sogenannten Hightechrohstoffen, wie Seltene Erden, Lithium, Tantal, Indium, Germanium, Gallium, Tellur etc., zu rechnen.

Geschlossene Stoffkreisläufe, bei denen die Nachfrage vollständig aus Recyclingmaterial gedeckt wird, müssen angestrebt werden, sind jedoch infolge des globalen Anstiegs des Rohstoffbedarfs und des durch den technologischen Fortschritt bedingten Einsatzes immer komplexer werdender Rohstoffverbindungen – nach überwiegender Expertenmeinung – in absehbarer Zukunft nicht erreichbar.

In der rohstoffverarbeitenden Industrie setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass Verknappungen an den Rohstoffmärkten zu Produktionseinschrän-

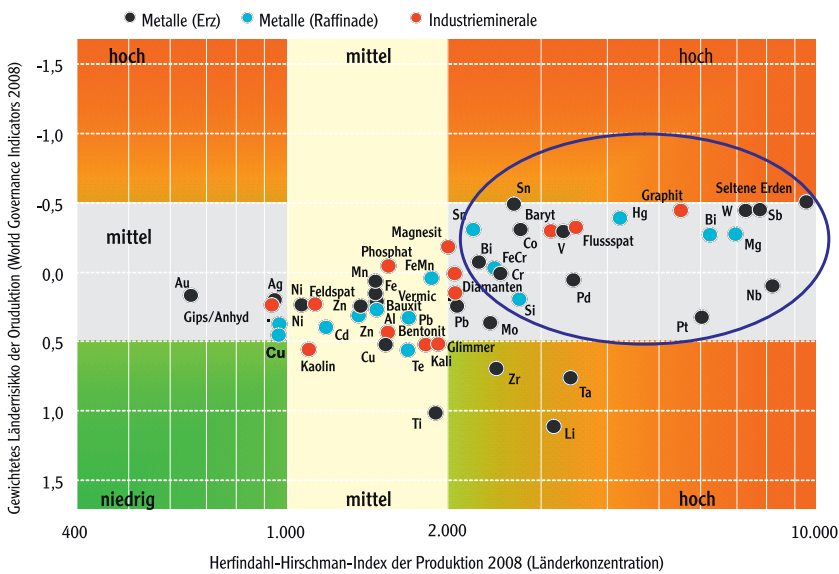


Abb. 1: Strategische Ellipse der kritischen Rohstoffe; Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko der globalen Rohstoffproduktion

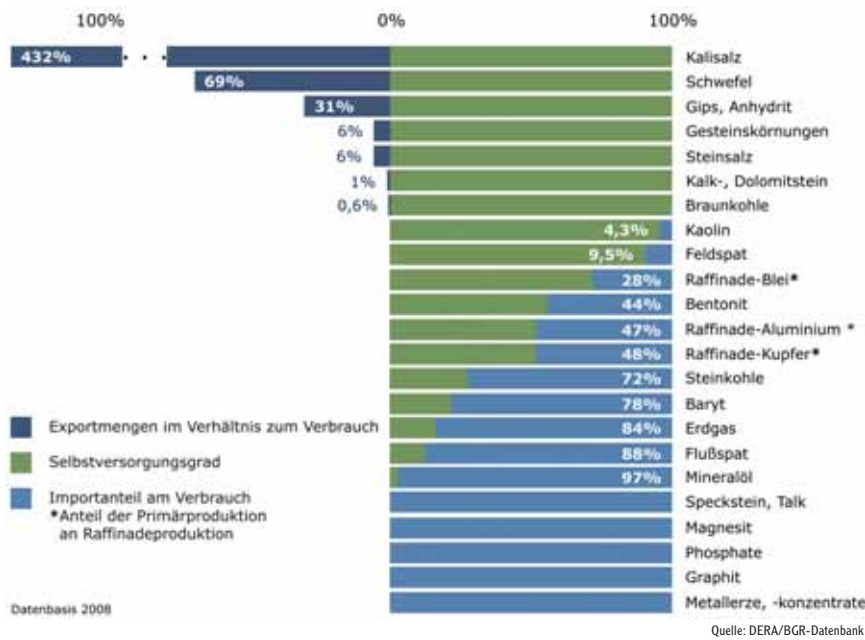


Abb. 2: Heimische Produktion, Importabhängigkeit Deutschlands

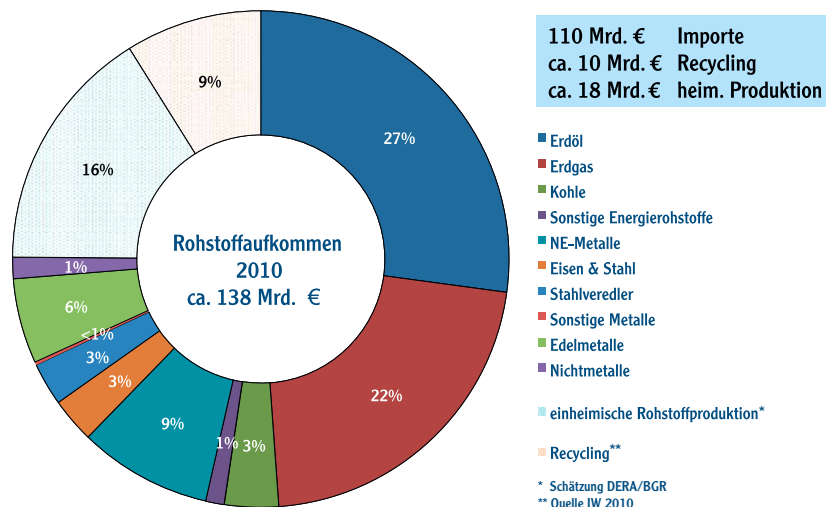


Abb. 3: Rohstoffaufkommen der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2010 (wertmäßig); Rohstoffimporte, heimische Bergbauproduktion und Recycling

kungen führen und Innovationen behindern können. Steigende Rohstoffpreise und Probleme bei der Verfügbarkeit erfordern daher auch ein verstärktes politisches Handeln.

Rohstoffpolitische Maßnahmen der Bundesregierung Deutschland

Basierend auf den „Elementen einer Rohstoffstrategie der Bundesregierung“, die auf dem 2. BDI-Rohstoffgipfel 2007 vorgestellt wurden, hat die Bundesregierung unter Federführung des Wirtschaftsministeriums im Oktober 2010 die „Rohstoffstrategie der Bundesregierung“ vorgelegt. Diese strategischen Überlegungen der Bundesregierung fließen auch maßgeblich in die rohstoffpolitischen Diskussionen der EU ein. Als eine strukturelle Maßnahme im Rahmen der Rohstoffstrategie gründete das Bundeswirtschaftsministerium am 4. Oktober 2010 die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die DERA dient als Transferstelle und fungiert für Politik und Wirtschaft als zentrale Beratungs- und Informationsplattform.

Ordnungspolitisch ist die Rohstoffversorgung grundsätzlich Aufgabe der Unternehmen. Die staatlichen Aktivitäten konzentrieren sich darauf, die politischen, rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen für eine international wettbewerbsfähige Rohstoffversorgung zu setzen. Die flankierenden Maßnahmen betreffen vor allem die Unterstützung der Wirtschaft durch rohstoffpolitische Förderinstrumente, Forschungsförderung sowie die außen- und entwicklungspolitische Begleitung von Rohstoffinteressen im Ausland. Weitere Maßnahmen der Bundesregierung sind das vom Forschungsministerium vorbereitete „Nationale Forschungs- und Entwicklungsprogramm Ressourcentechnologien“, das neugegründete Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie und das vom Bundesumweltministerium derzeit erarbeitete nationale Ressourceneffizienzprogramm.

Aufgaben der Deutschen Rohstoffagentur (DERA)

Das Ziel der DERA ist die Unterstützung der deutschen Wirtschaft bei der Sicherung der Rohstoffversorgung. Durch diese Zielsetzung wird mit der DERA das Aufgabenspektrum der BGR im Rohstoffsektor deutlich erweitert. Bisher hat die

Quelle: DERA/BGR-Datenbank, IW Köln 2010

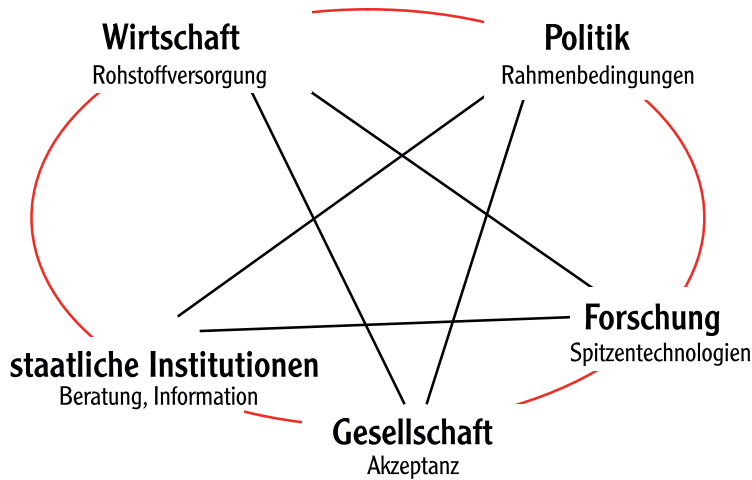


Abb. 4: Rohstoffsicherung für unsere Zukunft, die gesellschaftlichen Akteure

BGR die globalen Rohstoffmärkte vorwiegend hinsichtlich der geologischen Verfügbarkeit der Rohstoffe beobachtet und analysiert sowie in der Rohstoffforschung neue Rohstoffpotenziale untersucht und rohstoffwirtschaftliche Methoden entwickelt. Die DERA hingegen untersucht und bewertet die Rohstoffverfügbarkeit aus Sicht der Unternehmen unter besonderer Berücksichtigung rohstoffwirtschaftlicher, markttechnischer und geopolitischer Aspekte. Dabei werden Preis- und Lieferrisiken sowie Beschaffungs- und Absicherungsstrategien unter Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette in den Fokus gestellt. Mit diesem Aufgabenportfolio wird nicht nur wie bisher die rohstoffexplorierende und rohstoffgewinnende Wirtschaft, sondern in besonderem Maße die für den Technologiestandort Deutschland bedeutende rohstoffverarbeitende Wirtschaft unterstützt.

Die bedarfsgerechte Erschließung unternehmensrelevanter Rohstoffpotenziale, wie Lieferquellen, Investitionsmöglichkeiten in Explorations-, Bergbau- und Aufbereitungsprojekte sowie Rohstoffeffizienz, sind Grundlage für das Rohstoffinformations- und Frühwarnsystem, für die DERA-Rohstoffdialoge mit der Wirtschaft sowie für die Bearbeitung von Unternehmensaufträgen und -anfragen. Dabei werden alle nichterneuerbaren Rohstoffe (Metalle, Industriemineralien, Baurohstoffe und Energierohstoffe) betrachtet, sodass die Rohstoffagentur flexibel und vorausschauend sowohl auf sich verändernde globale wie auch regionale Marktsituationen reagieren kann. Daraus ergeben sich folgende Kernaufgaben:

- Aufbau und Betrieb eines Rohstoffinformations- und Frühwarnsystems,

- Bewertung von Rohstoffpotenzialen sowie möglicher alternativer bzw. neuer Lieferquellen,
- Beratung zu Rohstoffversorgungsrisiken und zu Diversifizierungsstrategien unter Berücksichtigung von geostrategischen Sicherheitsfragen und Umweltaspekten,
- fachliche Unterstützung von „Rohstoffpartnerschaften“ der Bundesregierung und Zusammenarbeit mit entsprechenden Partnerorganisationen im Rohstoffbereich,
- fachliche Betreuung der Rohstoff-Förderprogramme der Bundesregierung,
- Unterstützung der nationalen Rohstoffeffizienzinitiativen sowie Organisation des Wettbewerbs zur Verleihung des Deutschen Rohstoffeffizienzpreises.

Die DERA wird zudem über ihre Netzwerkfunktion rohstoffrelevante Informationen aus nationalen und internationalen Forschungseinrichtungen, Außenhandelskammern und Botschaften, Organisationen von Partnerländern sowie der globalen rohstoffverarbeitenden Industrie bewerten und Studien zu handlungsrelevanten Rohstoffthemen initiieren bzw. durchführen. Die fachliche Bewertung von Rohstoffprojekten erfolgt unter Berücksichtigung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien.

Für die Arbeit der DERA ist es wichtig, das Rohstoffthema auf allen relevanten gesellschaftlichen Ebenen – auf Wirtschaftsveranstaltungen, in der Politik und in der Öffentlichkeit – zu vertreten.

Rohstoffinformations- und Frühwarnsystem

Kernstück der DERA ist das Rohstoffinformations- und Frühwarnsystem. Im internationalen Wettbewerb auf

den Rohstoffmärkten ist Information ein wertvolles Gut, das die Transparenz von Märkten erhöht und im Rahmen der Rohstoffsicherung sachlich fundierte Entscheidungen unterstützt. Im Portfolio des Rohstoffinformationssystems werden vielfältige Informationen aus internationalen Quellen zusammengestellt, fachlich bewertet und aktuell zur Verfügung gestellt. Dazu gehören z. B. Bewertungen zur aktuellen und zukünftigen Marktsituation bei Rohstoffen und Rohstoffgruppen sowie der globalen und regionalen Marktentwicklung anhand von Frühwarnindikatoren. Weiterhin werden rohstoffbezogene Länderinformationen erarbeitet. Die inhaltliche Grundausstattung des Informationssystems wird in Hinblick auf den externen Bedarf kontinuierlich angepasst.

Bewertung von Rohstoffpotenzialen sowie alternativer bzw. neuer Lieferquellen

Die DERA bewertet weltweit Rohstoffprojekte insbesondere hinsichtlich des primären Rohstoffpotenzials (Explorations- und Bergbauprojekte, Projekte der ersten Verarbeitungsstufe), aber auch des sekundären Rohstoffpotenzials. Zahlreiche der sogenannten Hightechrohstoffe, wie z. B. Germanium, Gallium oder Indium, kommen nur als Begleit- und Koppelprodukte beispielsweise des Blei-/Zinkbergbaus oder des Bauxitbergbaus vor, sodass weltweit in vielen Bergbau- und Aufbereitungshalden aus den Rückständen wertvolle Rohstoffe gewonnen werden können. Das Engagement deutscher Unternehmen im Rohstoffbereich nimmt aufgrund der aktuellen Entwicklungen in diesem Sektor kontinuierlich zu. Ein Beispiel hierfür ist die auf Initiative des BDI neugegründete Rohstoffallianz GmbH.

Beratung zu Rohstoffversorgungsrisiken und zu Diversifizierungsstrategien

Kundenspezifische Bewertungen der Rohstoffmärkte, Rohstoff-Risikoanalysen, die Bewertung von produktspezifischen Beschaffungsrisiken und die Flankierung von Maßnahmen zur Rohstoffsicherung und -diversifizierung eröffnen Unternehmen die Chance, sich individuell auf die Marktsituation einzustellen und sich gezielt in Rohstoffprojekten zu engagieren. Dabei werden auch geostrategische Sicherheitsfragen und Umweltaspekte berücksichtigt. Ein wichtiges Instrument ist weiterhin die Durchführung von „maßgeschneiderten“ Industrieworkshops zu ausgewählten Rohstoffgruppen sowie zu

zukünftigen Technologieentwicklungen in der Rohstoffexploration und -gewinnung. Um die zahlreichen kleinen und mittelständischen Unternehmen zu erreichen und den jeweils aktuellen Beratungsbedarf der Firmen zu ermitteln, findet eine enge Kooperation mit den Wirtschaftsverbänden und mit dem DIHK-IHK-Netzwerk statt.

Fachliche Betreuung der Rohstoff-Förderprogramme der Bundesregierung

Die DERA führt die fachliche Flankierung der heutigen und zukünftigen Förderinstrumentarien der Bundesregierung auf den Gebieten der Rohstofferkundung und -gewinnung durch. Die Bundesregierung hat in ihrer Rohstoffstrategie angekündigt, ein der aktuellen Situation angepasstes Rohstoffexplorationsförderprogramm bereitzustellen. Gegenwärtig sind Investitions Garantien, insbesondere die „Garantien für ungebundene Finanzkredite“ (UFK), Instrumentarien, mit denen die Bundesregierung förderungswürdige Rohstoffvorhaben im Ausland unterstützt. Mit den UFK lassen sich Lieferverträge hinsichtlich politischer und wirtschaftlicher Risiken für Länder mit erhöhtem Risiko besser absichern. Bergbauunternehmen erhalten günstige Darlehen, um neue Lagerstätten erschließen oder bestehende Bergbaukapazitäten ausbauen zu können. Im Gegenzug bekommen deutsche Rohstoffverarbeitungsunternehmen langfristige Liefer-

verträge zu sicheren Konditionen. Dieses Instrument ist vor allem für mittelständische Unternehmen ein wichtiges Element der Absicherung bei der Rohstoffversorgung.

Unterstützung der nationalen Rohstoffeffizienzinitiativen sowie Organisation des Wettbewerbs zur Verleihung des Deutschen Rohstoffeffizienzpreises

Die DERA führt die inhaltliche Ausgestaltung und die Organisation des Wettbewerbs zur Verleihung des Deutschen Rohstoffeffizienzpreises für das BMWi seit 2011 durch. Im vergangenen Jahr wurde dieser neu initiierte Preis an vier kleine und mittelständische Unternehmen sowie an ein Forschungsinstitut vergeben. Allein im Jahr 2009 haben deutsche Unternehmen fast 800 Mrd. € für Material, Rohstoffe und Betriebsstoffe ausgegeben. Im produzierenden Gewerbe haben die Materialkosten mit rund 45% den größten Anteil an den Gesamtkosten.

Durch Optimierung des Ressourceneinsatzes wird die Sicherung der Rohstoffversorgung verbessert, ein Anreiz für die Entwicklung und Einführung ressourceneffizienter Technologien geschaffen sowie die Umweltbeeinträchtigung reduziert. Ressourceneffizienz führt zur Einsparung von Kosten, zum Ausbau von Wettbewerbsvorteilen, fördert langfristig den Arbeitsmarkt und hat positive Auswirkungen auf Umwelt und Klima.

Fachliche Unterstützung von „Rohstoffpartnerschaften“ der Bundesregierung und Zusammenarbeit mit entsprechenden Partnerorganisationen im Rohstoffbereich

Die Kooperation mit rohstoffreichen Ländern, insbesondere mit Entwicklungs- und Schwellenländern, basiert auf den langjährigen Erfahrungen der BGR in der technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern und bei der internationalen Forschungskooperation. Darüber hinaus wird die Kooperation zwischen der DERA und dem Netzwerk der Auslandshandelskammern gestärkt, um deutsche Investitionen im Rohstoffsektor ausgewählter rohstoffreicher Länder zu fördern.

Die gemeinsame Durchführung von Leuchtturmprojekten wird für die Integration der Länder in die internationale Rohstoffwirtschaft und die Nachhaltigkeit des Bergbaus wegweisend sein. Die Erarbeitung von Investorenhandbüchern und die Bewertung von neuen bzw. alternativen Rohstoffpotenzialen werden Investitionsentscheidungen deutscher Unternehmen in den betroffenen Ländern unterstützen. Durch solche intensiven und langfristigen Kooperationen wird auch der deutschen Wirtschaft der Zugang zu Rohstoffen in rohstoffreichen Ländern erleichtert.

Leitmotiv der gemeinsamen Projekte, an denen vor allem die Wirtschaft beteiligt werden soll, ist das Ideal einer nachhaltigen Entwicklung.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

UMWELT STUDIEREN ...

UMWELTRELEVANTE STUDIENGÄNGE

- Geoökologie
- Umwelt-Engineering, Maschinenbau
- Verfahrenstechnik
- Chemie
- Angewandte Naturwissenschaft
- Geologie/Mineralogie
- Geoinformatik und Geophysik
- Geotechnik und Bergbau
- Groundwater Management
- Ressourcenwirtschaft
- Wirtschaftsingenieurwesen
- International Management of Resources and Environment



Recycling von Platin-Gruppen-Metallen – ein Rollenmodell für weitere Technologiemetalle?

Christian Hagelüken¹

Zusammenfassung

Durch die hohe technische Recycling-Fähigkeit der Platin-Gruppen-Metalle (PGM) können Recyclingraten von über 95% erreicht werden, sofern PGM-haltige Altmaterialien in modernste Scheideprozesse eingesteuert werden. Zwar bestehen auch hier noch technische Herausforderungen, aber die Haupthindernisse beim PGM-Recycling liegen in der Sicherstellung der Erfassung von relevanten Altprodukten sowie in der technisch-organisatorischen Auslegung der weltweiten Recyclingketten. Wirtschaftliche und legislative Faktoren sind ebenfalls von Bedeutung. In diesem Artikel werden die „sieben Voraussetzungen“ für effektives Recycling und ihre Bedeutung für Europa erörtert; diese gelten – auch über die PGM hinaus – allgemein für das Metallrecycling aus komplexen Produkten. Führend bei den Recycling-Raten sind industrielle Anwendungen, während Konsumgüter wie Automobil und insbesondere Elektronik derzeit noch zurückliegen. Die Ursache hierfür liegt weitgehend jenseits der Recyclingtechnik. Es werden neue Geschäftsmodelle empfohlen, mit denen die Bedeutung edelmetallhaltiger Abfälle als wertvolle Ressource untermauert und die nachhaltige Versorgung mit PGM und anderen kritischen Rohstoffen für die Zukunft sichergestellt werden kann.

1. Einführung

Platin-Gruppen-Metalle (PGM) spielen in der modernen Gesellschaft eine Schlüsselrolle, da sie für Umwelttechnologien und andere Hightech-Anwendungen von großer Bedeutung sind. Wichtige Anwendungen neben den bekannten Bereichen chemische Katalyse und Autoabgaskatalysator umfassen u. a. Informationstechnologie (IT), Unterhaltungselektronik sowie nachhaltige Energieerzeugung in Brennstoffzellen und zukünftig auch die Fotovoltaik (PV) (Tab. 1). Treibende Kraft für die boomende PGM-Nachfrage sind ihre besonderen und teilweise exklusiven chemisch-physikalischen Eigenschaften. Diese machen sie zu Schlüsselbestandteilen in einer Vielzahl von Anwendungen, die eine Rolle beim Aufbau einer nachhaltig wirtschaftenden Gesellschaft spielen können.

Wettbewerb zwischen diesen Anwendungen um den Zugang zu PGM kann den Druck auf Angebot und Preise verschärfen. Ähnliches gilt für eine Reihe weiterer „Technologiemetalle“². Die EU Kommission hat 2010 in einer Studie die für Europa kritischen nichtenergetischen Rohstoffe definiert [1], zu denen auch die PGM gehören³. Als kritisch eingestuft wurden solche Rohstoffe, die für die europäische Wirtschaft von besonderer Bedeutung sind und deren Bereitstellung, durch geologische, geopolitische, technische oder andere Faktoren bedingt, erheblichen Risiken unterliegt.

Ein Weg, ihre ausreichende Verfügbarkeit zu gewährleisten, ist die Ausweitung von Exploration und Gewinnung aus den geologischen Lagerstätten. Bei den PGM liegt bereits eine sehr gute Datenbasis vor [2, 3]. Zusätzliche Möglichkeiten bieten sich durch Effizienzsteigerung in der primären Versorgungskette, wo für PGM schon viel erreicht wurde. Ein erhebliches Potenzial besteht allerdings noch beim Recycling. Durch eine Ausweitung der Recyclinganstrengungen als Kernbestandteil eines nachhaltigen Life Cycle Managements ließe sich die zukünftige Versorgung durch sekundäre (Recycling-)Metalle deutlich steigern und damit der Druck auf Primärangebot und Preise entschärfen.

In Massen Anwendungen genutzte Bestandteile von Konsumgütern wie Computer-Leiterplatten (Motherboards) enthalten ca. 200–250 Gramm pro Tonne (gt^{-1}) Gold und ca. $80\text{ }gt^{-1}$ Palladium; Mobiltelefone enthalten bis zu $350\text{ }gt^{-1}$ Gold und $130\text{ }gt^{-1}$ Palladium; Autoabgaskatalysatoren können $2.000\text{ }gt^{-1}$ PGM und mehr im keramischen Katalysator-Monolith, dem aktiven Teil des Kat-Konverters, enthalten. Dies ist deutlich mehr als der Gold- oder PGM-Gehalt in Primärerzen (im Durchschnitt $<10\text{ }gt^{-1}$). Der hohe Preis der Edelmetalle macht das Recycling von vielen Produkten, in denen diese enthalten sind, aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv. Aufgrund der weit höheren Konzentrationen im Vergleich zum Erzabbau trägt das Recycling aber auch zur Verringerung der Umweltbelastung durch die Metallversorgung bei, insbesondere im Hinblick auf den Energiebedarf (Klimarelevanz). PGM-Anwendungen im Bereich von Schmuck und Münzen weisen die höchsten Metallkonzentrationen auf und werden – sofern überhaupt ein

standteil eines nachhaltigen Life Cycle Managements ließe sich die zukünftige Versorgung durch sekundäre (Recycling-)Metalle deutlich steigern und damit der Druck auf Primärangebot und Preise entschärfen.

2. Recycling von Platin-Gruppen-Metallen

Metalle werden nicht verbraucht, sondern von einer Vorkommensart (z. B. Erz) in eine andere überführt (z. B. Katalysator). Allerdings unterscheiden sich die Metall- und Substanzkombinationen in Produkten häufig von denen in Primärlagerstätten. Dies führt zu neuen technologischen Herausforderungen in Bezug auf ein effizientes Recycling.

In Massen Anwendungen genutzte Bestandteile von Konsumgütern wie Computer-Leiterplatten (Motherboards) enthalten ca. 200–250 Gramm pro Tonne (gt^{-1}) Gold und ca. $80\text{ }gt^{-1}$ Palladium; Mobiltelefone enthalten bis zu $350\text{ }gt^{-1}$ Gold und $130\text{ }gt^{-1}$ Palladium; Autoabgaskatalysatoren können $2.000\text{ }gt^{-1}$ PGM und mehr im keramischen Katalysator-Monolith, dem aktiven Teil des Kat-Konverters, enthalten. Dies ist deutlich mehr als der Gold- oder PGM-Gehalt in Primärerzen (im Durchschnitt $<10\text{ }gt^{-1}$). Der hohe Preis der Edelmetalle macht das Recycling von vielen Produkten, in denen diese enthalten sind, aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv. Aufgrund der weit höheren Konzentrationen im Vergleich zum Erzabbau trägt das Recycling aber auch zur Verringerung der Umweltbelastung durch die Metallversorgung bei, insbesondere im Hinblick auf den Energiebedarf (Klimarelevanz). PGM-Anwendungen im Bereich von Schmuck und Münzen weisen die höchsten Metallkonzentrationen auf und werden – sofern überhaupt ein

- 2 Dieser nicht scharf abgegrenzte Begriff umfasst alle Edelmetalle und viele Sondermetalle, die auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften wichtig für die Funktionalität von Technik sind, in den Produkten in der Regel aber nur in geringen Konzentrationen enthalten sind (auch „Spurenelemente“ oder „Gewürzmetalle“).
- 3 Die weiteren kritischen EU-Rohstoffe sind: Antimon, Beryllium, Gallium, Germanium, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob, Seltene Erden, Tantal, Wolfram sowie die Industriemineralien Flussspat und Graphit.

Anwendungsfeld	Platin	Palladium	Rhodium	Iridium	Ruthenium
Katalyse	•	•	•	•	•
Elektronik	•	•		•	•
Brennstoffzellen	•	•	•		•
Glas, Keramik, Pigmente	•		•		
Medizin- und Dentaltechnik	•	•		•	
Pharmazeutika	•	•			•
Fotovoltaik					•
Superlegierungen					•

Tabelle 1: Wichtige Anwendungsgebiete für PGM

¹ Umicore AG & Co KG, Rodenbacher Chaussee 4, D-63457 Hanau-Wolfgang, Deutschland, E-mail: christian.hagelueken@eu.umicore.com



Abb. 1: Umicores integrierte Metallhütte in Antwerpen, Belgien

„Lebensende“ erreicht wird – praktisch verlustfrei und ohne Umweltauswirkung recycelt.

3. Herausforderungen durch Technik und Markt

Besondere Herausforderungen bestehen vor allem bei komplexen Produkten wie beispielsweise Fahrzeugen und Computern. Effektives Recycling erfordert eine optimierte Recyclingkette, in der verschiedene spezialisierte Akteure miteinander kooperieren müssen. Sie beginnt mit der Erfassung der Altmaterialien, gefolgt von Sortieren/Zerlegen und Aufbereiten von relevanten Bauteilen und schließlich der eigentlichen Rückgewinnung der Metalle. Letzteres erfordert aufwendige und technisch anspruchsvolle metallurgische Großanlagen. Umicore kann in seiner integrierten Metallhütte in Antwerpen, Belgien (Abb. 1), derzeit über die Hauptprozessroute sieben Edelmetalle sowie zehn Basis- und Sondermetalle zurückgewinnen und dem Markt wieder zuführen [4]. Durch Spezialverfahren werden weitere Metalle aus Akkus oder Fotovoltaik-Rückständen gewonnen [5, 6].

In der Recyclingtechnologie gab es bedeutende Fortschritte (Abb. 2), und für neuartige PGM-haltige Produkte wie Prozesskatalysatoren oder Brennstoffzellen werden in der Regel parallel auch geeignete Recyclingverfahren entwickelt [7–10]. Auch wird kontinuierlich an Ver-

besserungen gearbeitet, um die Ausbeute aus solchen Prozessen zu steigern und das Angebot von recycelten Metallen zu erweitern.

Die größten Herausforderungen liegen aber nicht in der Technik, sondern sind eine unzureichende Erfassung von Konsumgütern sowie häufig ineffiziente Abläufe in der Recyclingkette. Die Lebenszyklus-Struktur bei Konsumgütern unterscheidet sich dabei grundlegend von der industrieller PGM-Produkte wie Prozesskatalysatoren. Bei letzteren bleibt das Eigentum an den PGM in der Regel beim industriellen Nutzer, der Produktstandort ist bekannt, und die Verfolgung der Substanz über den gesamten Lebens-

zyklus ist professionell und transparent. Dies wird als Closed-Loop-Recyclingsystem bezeichnet [11].

Im Gegensatz dazu wechselt das Eigentumsrecht bei Konsumgütern häufig. Produkte wie Mobiltelefone und Fahrzeuge wandern weltweit; Hersteller haben keinen Überblick darüber, wo ihre Geräte sich am Ende befinden, und es ist kaum möglich, den Produktfluss zu verfolgen.

Dadurch entsteht ein Open Loop, in dem ein effizientes Recycling nicht gewährleistet werden kann. Selbst wenn ein Produkt die Recyclingkette erreicht, werden hier insbesondere die ersten Schritte nicht immer von seriösen Akteuren durchgeführt.

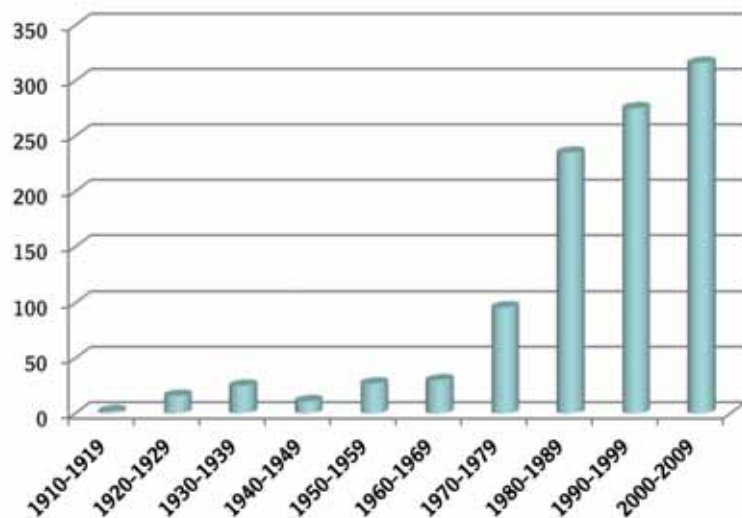


Abb. 2: Anzahl der Patente zum PGM-Recycling der letzten zehn Jahrzehnte

4. Die sieben Voraussetzungen für effektives Recycling

Für ein effektives Recycling von Produkten, Material, namentlich von Metallen, müssen sieben Bedingungen in ihrer Gesamtheit erfüllt sein, die auch über PGM hinaus Gültigkeit haben:

(1) Technische Recycelbarkeit des Materials. Alle Edel- und viele andere Metalle lassen sich z. B. aus einer Leiterplatte recyceln, wenn moderne Prozesse angewendet werden.

(2) Zugänglichkeit des relevanten Bauteils. Ein Autoabgaskatalysator oder ein Computer-(PC)-Motherboard sind leicht zugänglich für die Demontage, aber eine in der Autoelektronik eingesetzte Leiterplatte (z. B. in der Motorsteuerung) ist dies in der Regel nicht. Solange solche Leiterplatten entfernt oder ausgebaut werden, bevor das Fahrzeug in die mechanische Zerkleinerung (Shredder) gelangt, können die darin enthaltenen Edelmetalle leicht recycelt werden. Gelingen sie aber mit dem Fahrzeug in den Shredder, gehen die Edelmetalle weitgehend verloren.

(3) Wirtschaftlichkeit, ob intrinsisch vorhanden oder extern geschaffen. Ein Katalysator oder ein PC-Motherboard haben einen positiven Nettowert. Daher ist ihr Recycling dank des hohen Werts der Edelmetalle schon von sich aus rentabel. Im Gegensatz dazu hat eine ausgebaute, hauchdünn mit PGM beschichtete PC-Festplatte einen negativen Nettowert (die Verarbeitungskosten

übersteigen den Metallwert). Die Gewinnung des Platins und/oder Rutheniums ist hier derzeit nicht rentabel, sofern sie nicht extern bezahlt oder bezuschusst wird.

(4) Sammelerfolg, um sicherzustellen, dass das Produkt für das Recycling verfügbar gemacht wird. Wenn dieser nicht ausreichend gewährleistet ist, bleiben z. B. alte PC oder Mobiltelefone in den Haushalten liegen oder landen über den Restmüll auf der Deponie oder in kommunalen Verbrennungsanlagen. Das wertvolle Metall, das sie enthalten, würde dann aus der Recyclingkette herausfallen.

(5) Einsteuerung und Verbleib in der Recyclingkette bis zum letzten Schritt. Altprodukte wie z. B. PC, Mobiltelefone oder Fahrzeuge mit Katalysatoren werden oft (legal oder illegal) in Länder ohne eine leistungsfähige Recyclinginfrastruktur exportiert. Dies führt in der Regel dazu, dass auch hier (Edel-)Metalle der Recyclingkette verloren gehen.

(6) Technisch-organisatorisch geeignete Auslegung der Recyclingkette. In Europa sind umfassende Recyclingstrukturen vorhanden. Dabei ist es wichtig, dass Altprodukte wie PC oder Mobiltelefone nicht mit anderen minderwertigen Elektroaltgeräten vermengt werden und in einen Shredderprozess geraten, bevor die edelmetallhaltigen Leiterplatten entnommen wurden. Dies gilt auch für PGM-haltige Katalysatoren in Fahrzeugen oder für Brennstoffzellen-Stacks.

(7) Ausreichende Recyclingkapazitäten entlang der gesamten Kette, um ein umfassendes Recycling zu ermöglichen. Wenn die Voraussetzungen 1-6 erfüllt sind, besteht die verbleibende Anforderung darin sicherzustellen, dass ausreichende Kapazitäten für das Recycling des zur Verfügung stehenden Materialvolumens vorhanden sind. Integrierte Metallhütten und Edelmetallscheidebetriebe sind bereit, in Kapazitätserweiterungen zu investieren, sofern eine ausreichende Versorgungssicherheit für die spätere Kapazitätsauslastung besteht. Voraussetzungen 4, 5 und 6 sind somit entscheidend, um rechtzeitige Investitionen in dem tendenziell wachsenden Markt für das (Edel-)Metallrecycling auszulösen.

Altprodukte und Altmaterialien werden in dieser Sequenz der Voraussetzungen verschiedene Stufen erreichen. Je weiter sie kommen, desto leichter wird es sein, geeignete Maßnahmen zu finden, dieses Recyclingpotenzial zu nutzen.

Abb. 3 stellt schematisch den Lebenszyklus für ein typisches PGM-haltiges Produkt dar. Edelmetallverluste können prinzipiell auf allen Stufen des Lebenszyklus auftreten und sind durch die roten Dreiecke gekennzeichnet. Wie in der Legende aufgeführt, sind die Treiber für die Verluste sehr unterschiedlich: Während beim Bergbau, bei der primären/sekundären Metallgewinnung und der Produktherstellung die Verlusthöhe vor allem durch Materialeigenschaften und die Qualität der eingesetzten Technolo-

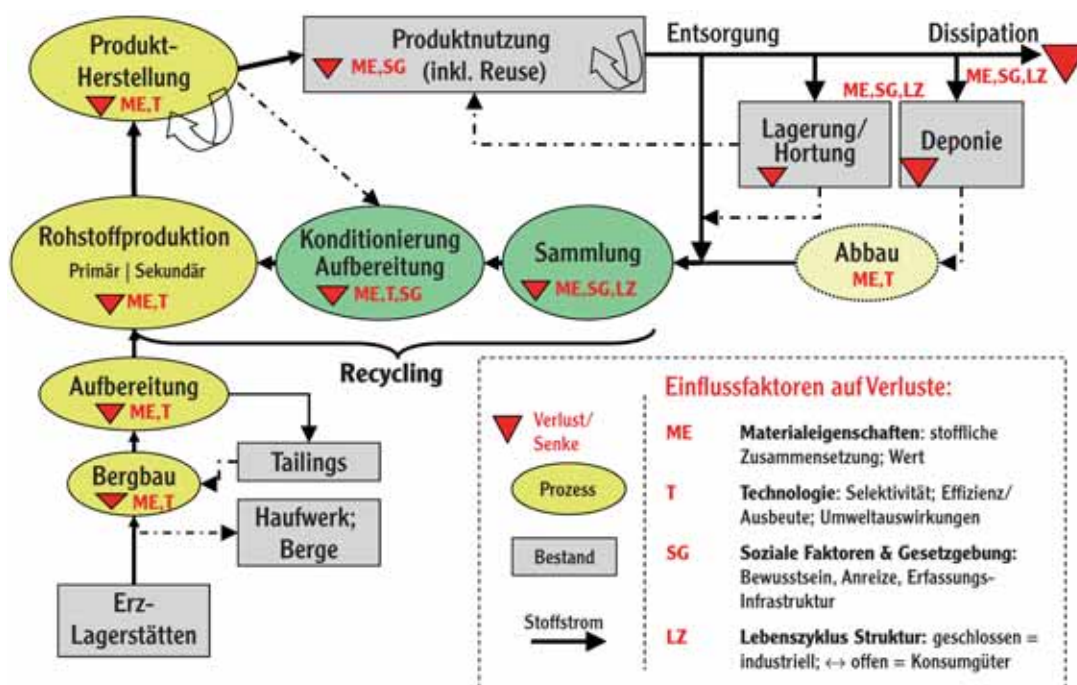


Abb. 3: Schematischer Lebenszyklus für metallhaltige Produkte und Einflussfaktoren für Metallverluste auf den verschiedenen Stufen [12]

gien bedingt wird, treten während der Nutzungs- und Recyclingphase gesetzgeberische Faktoren und das Konsumentenverhalten sowie die Lebenszyklusstruktur (offen vs. geschlossen) in den Vordergrund. Auf jeder Stufe besteht die Chance, über Verbesserungen oder Anreize die Verluste zu minimieren. Aber entsprechend den jeweils dominierenden Hauptverlusttreibern sind die geeigneten Maßnahmen unterschiedlich und den spezifischen Anforderungen anzupassen. Wie zuvor erläutert, sind beim Edelmetallrecycling die technischen Optimierungsmöglichkeiten oft weitgehend ausgereizt; es besteht aber ein großes Potenzial zur Erhöhung der Recyclingraten bei den „weichen“ Faktoren Gesetzgebung, Konsumentenverhalten und Lebenszyklusstruktur bzw. Geschäftsmodell.

5. Fallstudien

Die folgenden Fallstudien veranschaulichen kurz die aktuellen Recyclingraten der PGM-Materialien aus industriellen und automobilen Verwendungen sowie Elektronik-Konsumgütern. Bei den Angaben zu Recyclingraten handelt es sich um weltweite Durchschnittszahlen.

Fallstudie 1: Industrielle Anwendungen

Industrielle Anwendungen wie Prozesskatalysatoren, die in der Fein- oder in der Petrochemie genutzt werden, sowie in der Glasindustrie eingesetzte technische Platin-Bauteile (z. B. Platinrührer, Tiegel, Bushings) sind der aktuelle Maßstab für das PGM-Recycling mit Raten von 80–90% (obwohl in solchen Anwendungen eine Produktlebensdauer von vielen Jahren erreicht werden kann).

In diesem Fall ist das Recycling ausschließlich marktgetrieben und ein integraler Bestandteil des Produktlebenszyklus. Jede der Voraussetzungen 1–7 ist erfüllt, wobei sich die technisch-wirtschaftliche Bedeutung der beteiligten PGM-Materialien für den Gesamtprozess stark unterstützend auswirkt. Die sehr hohen Recyclingraten beschränken die Notwendigkeit der Versorgung mit Primärmetallen in diesen Industrien auf einen Ausgleich der geringen Lebenszyklusverluste und auf die Deckung des durch Marktwachstum und neue Anwendungen entstehenden Zusatzbedarfs.

Vorherrschendes Geschäftsmodell ist der Verbleib des Eigentums an den PGM beim industriellen Nutzer. Das Recycling wird als Dienstleistung an darauf spezia-

lisierte Unternehmen vergeben, und die zurückgewonnenen Metalle gelangen direkt oder in Form neuer Produkte an den Nutzer zurück und stehen für einen neuen Zyklus zur Verfügung. Da alle Abläufe penibel überwacht werden und die Akteure direkt ohne Einschaltung von Zwischenhändlern kooperieren, ist eine hohe Transparenz gewährleistet. Bei der Erstausrüstung kauft der industrielle Nutzer die PGM zu Marktpreisen und bilanziert den Wert entsprechend in seinem Betriebsvermögen; danach werden die Metalle nur noch gewichtlich betrachtet. Durch den auf diese Weise geschlossenen Kreislauf macht sich der Nutzer weitgehend unabhängig von Preisschwankungen der Metalle, lediglich beim Kauf der benötigten Zusatzmengen kommt das Preisrisiko zum Tragen.

Fallstudie 2: Automobile Anwendungen

Recyclingraten für PGM aus Abgaskatalysatoren liegen im Durchschnitt weltweit bei 50–60%. Ein neuer Bericht des United Nations Environment Programme (UNEP) [13] zeigt, dass dies wesentlich mehr ist als bei den meisten anderen Metallen, aber, verglichen mit den Recyclingraten der meisten industriellen PGM-Anwendungen, noch Raum für Verbesserungen besteht. In Europa wird das Automobilrecycling teilweise durch die Gesetzgebung wie die EU-Altautoverordnung (End of Life of Vehicles (ELV)-Directive) [14] beeinflusst; aber der dominierende Treiber ist die Wirtschaftlichkeit. Wie bei allen PGM-Anwendungen ist die technische Recycelbarkeit kein Problem. Bei automobilen Anwendungen ist der PGM-haltige Katalysator jedoch nur ein Subsystem eines größeren Produkts, d. h. des Autos, das als Altauto einem eigenen Marktmechanismus unterliegt.

Europas Abgaskatalysatoren-Recycling scheitert hauptsächlich an Voraussetzung 5 [15]. Viele Altautos werden in Länder außerhalb Europas exportiert, die über keine entsprechende Recyclingkette verfügen. Nur dank der hervorragenden Recycelbarkeit und der wirtschaftlichen Anreize für das Abgaskatalysator-Recycling sind die PGM-Verluste hier nicht noch höher. Eine bessere Durchsetzung der Vorschriften zur grenzüberschreitenden Abfallverbringung, die die Ausfuhr von echten Schrottautos verhindern, könnte die Recyclingraten in Europa anheben. Auch bei Voraussetzung 6 besteht noch Optimierungspo-

tenzial. Hier macht sich der hohe Wert des Altkatalysators negativ bemerkbar, da er vor allem in den ersten Stufen der Recyclingkette auch unseriöse Akteure anzieht [16]. Teilweise fragwürdige Geschäftspraktiken und gewollte Intransparenz führen neben dem wirtschaftlichen Schaden auch zu ineffizienten Abläufen und unnötigen Zwischenschritten, was vermeidbare PGM-Verluste zur Folge hat.

Gelänge es, durch andere Geschäftsmodelle einen geschlossenen Kreislauf ähnlich dem der chemischen Prozesskatalysatoren aufzubauen, ließen sich auch beim Autokatalysator Recyclingraten von über 80% über den gesamten Lebenszyklus erzielen. Dies ist von Bedeutung bei der Einführung neuer Technologien wie der Brennstoffzelle, da hier der Inhalt an PGM pro Fahrzeug deutlich höher als beim Autokatalysator liegen wird. Obwohl technisch anspruchsvoller als das Autokatalysatorrecycling, lassen sich auch hier mit modernen metallurgischen Verfahren sehr hohe Platinausbeuten erzielen. Wenn aber bei einer Marktdurchdringung von Brennstoffzellenfahrzeugen die Altfahrzeuge nicht transparenter und effektiver recycelt werden, als dies heute der Fall ist, werden die dadurch bedingten signifikanten PGM-Verluste zu einem hohen Druck auf PGM-Angebot und -Preise führen und eventuell sogar den weiteren Erfolg der Brennstoffzelle für mobile Anwendungen verhindern.

Fallstudie 3: Elektronische Anwendungen

Zurzeit liegen die Recyclingraten für PGMs in elektronischen Anwendungen bei nur 5–10% [13]. Der Haupttreiber für das Recycling ist hier die Gesetzgebung, z. B. die EU-Elektroaltgeräteverordnung (Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive) [17]. Das in der Elektronik am häufigsten eingesetzte PGM ist Palladium, vor allem in mit Vielschichtkondensatoren bestückten Leiterplatten. Marktmechanismen am Ende des Produktlebenszyklus von PC, Fernsehern, Mobiltelefonen, Automobilelektronik etc. spielen eine wichtige Rolle beim Sammelerfolg und beim Recycling der in ihnen verbauten Leiterplatten. Wie im Fall von Autoabgaskatalysatoren ist Voraussetzung 5 eine große Herausforderung, da viele Elektroaltgeräte aus Europa exportiert werden. Aber auch Voraussetzung 4 ist wichtig, wenn ausgediente Geräte bei Konsumenten in Schubladen lagern oder über die Restmülltonne entsorgt werden. Voraussetzungen 2 und

3, die Zugänglichkeit der PGM-relevanten Bauteile und die Wirtschaftlichkeit des Recyclings, können in einigen Fällen Probleme bereiten, wie auch Voraussetzung 6, d.h. die ungeeignete Abwicklung in der Recyclingkette. Hierbei ist vor allem die oft falsche Schnittstellenauslegung zwischen mechanischer Aufbereitung und der nachgeschalteten metallurgischen Metallrückgewinnung zu nennen. Der Versuch, über das Shreddern und mechanische Sortierschritte zu möglichst hohen Metallkonzentrationen in den Outputfraktionen zu kommen, führt bei hochwertigen Leiterplatten, Mobiltelefonen etc. meist zu einer Verschleppung von Edelmetallen und anderen Spurenelementen in die Kunststoff-, Eisen- oder Aluminiumfraktion, aus der sie dann nicht zurückgewonnen werden können. Verluste aus Abgängen in solche Fraktionen lassen sich deutlich senken, wenn diese direkt einem geeigneten metallurgischen Prozess zugeführt werden[18].

Vorschriften wie die WEEE-EU-Richtlinie helfen, das Recycling von elektrischen und elektronischen Produkten zu fördern, aber der Vollzug der Gesetze ist derzeit schwach ausgeprägt. Mehr Transparenz und eine bessere Überwachung der Altproduktketten würden die Recyclingraten dieser Produkte verbessern.

Vor allem würde eine Verschiebung des Fokus der gegenwärtigen Gesetzgebung – weg von der reinen Massenbetrachtung und mehr in Richtung pragmatischerer Konzepte für die Einführung von Verarbeitungsstandards und eines Zertifizierungssystems entlang der Recyclingkette helfen, die Recyclingraten von PGM und anderen gering konzentrierten kritischen Metallen zu steigern.

Unterschiede bei den Recyclingraten

Der Hauptgrund für die Unterschiedlichkeit der Recyclingraten in diesen drei Fallstudien liegt, wie gezeigt, weniger in der Kontroverse von Markt vs. legislative Treiber, sondern eher darin, welche Stufe ein Produkt in der Abfolge der Voraussetzungen erreicht. Es ist wichtig zu beachten, dass in allen PGM-Anwendungen die technische Recyclierbarkeit kein entscheidendes Problem darstellt, da Raten von deutlich über 95% erreicht werden können, wenn das Produkt oder das PGM-haltige Bauteil darin (z. B. eine Leiterplatte) einem qualitativ hochwertigen (Edel-)Metall-Rückgewinnungsprozess zugeführt werden. Daher können we-

der die PGM-Produkthersteller noch die PGM-Recycler allein die Situation verbessern. Es gilt, einen geeigneten Ansatz für das Gesamtsystem zu finden. Die Ausgestaltung des Produkt-Lebenszyklus und die Interaktionen der Beteiligten innerhalb dieses Systems sind die entscheidenden Punkte.

6. Empfehlungen für die Zukunft

Edelmetallhaltige Altmaterialien können in ihrer Gesamtheit als eine Urban Mine von beträchtlichem Ausmaß angesehen werden. Durch effektives Recycling wird daraus in Ergänzung zum Bergbau eine wichtige PGM-Quelle erschlossen. Um dieses Potenzial voll zu nutzen, ist allerdings in vielen Fällen eine Abkehr vom Status Quo erforderlich; es muss ein grundsätzlicher Wandel stattfinden. Dies gilt – weit über PGM und Edelmetalle hinaus – allgemein für das Recycling von wichtigen und kritischen Materialien.

- **Einstellungen** müssen sich ändern: Weg von der Abfallwirtschaft oder Entsorgung (hier wird schon semantisch die falsche Botschaft transportiert) und hin zum Ressourcenmanagement. Ziel muss es sein, eine weitgehende Erfassung und ein hochprofessionelles Recycling von Altprodukten zu sichern und den Vollzug der Gesetzgebung auch in der Praxis zu gewährleisten. Dies ist besonders dort wichtig, wo wirtschaftliche oder ökologische Treiber für das Recycling derzeit fehlen.

- **Ziele** müssen entsprechend angepasst werden – mit Schwerpunkt auf Qualität und Effizienz der Recyclingprozesse und die Rückgewinnung von Edel- und anderen Technologiemetallen, anstatt nur auf Massenmaterialien wie Kunststoff oder Stahl zu fokussieren. Dies bedingt mittelfristig eine Abkehr von rein massenorientierten Recyclingquoten (bei denen Spurenelemente durch die Maschen fallen). Wenn über besseres Monitoring eine höhere Transparenz der Stoffströme geschaffen und über Zertifizierungssysteme für Recyclinganlagen eine nachweisbar qualitativ hochwertige Prozessabfolge sichergestellt wird, werden sich bessere Recyclingquoten für eine größere Bandbreite von Substanzen quasi automatisch ergeben.

- **Die Recyclingpraxis** muss neuen Anforderungen entsprechen. Hightech-Recycling ist eine Schlüsseltechnologie zur Meisterung der gesellschaftlichen Herausforderungen; es hat eine Be-

deutung, die mit der der erneuerbaren Energieerzeugung und der Umwelttechnologie vergleichbar ist. Die traditionellen Strukturen der „Schrottwirtschaft“ sind nicht mehr zeitgemäß; es muss ein Wandel stattfinden in Bezug auf Firmenstrukturen, Außenwirkung und Akteurskooperation. Industrielle Geschäftsabwicklung, technische Innovation, Geschäftsethik und Transparenz müssen deutlich mehr in den Fokus gelangen, als dies heute oft der Fall ist.

- **Die Vision der Hersteller** muss sich ebenfalls ändern. Anstatt das Recycling als eine lästige, durch den Gesetzgeber auferlegte Pflicht anzusehen, der man möglichst billig nachkommt, sollte es als eine Chance für die Hersteller begriffen werden, sich nachhaltig den Zugriff auf (kritische) Rohstoffe für ihre zukünftige Produktion zu sichern. Denn ohne Recycling kann es bei einigen Schlüsselrohstoffen zu Versorgungsengpässen und Preissprüngen kommen, durch die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit eines Herstellers eingeschränkt werden können.

Um den Recyclingkreislauf auch für Konsumgüter zu schließen, ist eine allmähliche Verlagerung hin zu mehr industriellen Abläufen nötig. Dies bedeutet, dass neue Geschäftsmodelle eingeführt werden müssen, um starke Anreize für die Rückführung der Altprodukte zu bieten. Dies können z. B. ein Pfand auf neue Produkte, Produkt-Servicesysteme wie z. B. Leasing oder auch andere innovative Ansätze sein. Besonders für neue Technologien mit einem signifikanten Bedarf an kritischen Metallen (z. B. Brennstoffzellen, Fotovoltaik) ist die frühzeitige Entwicklung von Closed-Loop-Konzepten wichtig. Hersteller, die erfolgreiche Modelle einführen, können so ihre zukünftige Metallversorgung sichern und sich über ein nachhaltiger funktionierendes Geschäftsmodell langfristig Wettbewerbsvorteile aufbauen.

7. Fazit

Das effiziente Recycling unserer Altprodukte heute ist eine Versicherung für die Zukunft. Effektive Recyclingsysteme leisten einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Metallressourcen und zu ausreichender Versorgung mit PGM sowie anderen wichtigen Metallen für zukünftige Generationen.

Hierdurch werden Metallpreisschwankungen verringert und die Umwelt- und Klimaauswirkungen der Metallproduk-

tion limitiert. Letzteres gilt besonders für den energieintensiven Bergbau auf (Edel-)Metallerze mit niedrigem Metallgehalt.

Die Kombination aus hohem Wert, guter technischer Recycelbarkeit der PGM und den innerhalb der PGM-Industrie gewachsenen Strukturen als Ganzes bewirkt, dass eine führende Position in Bezug auf nachhaltiges Metallmanagement und -recycling erreicht wurde. Spielraum für weitere Verbesserungen ist vor allem bei den PGM-Anwendungen im Konsumgüterbereich gegeben. Hier sind alle Akteure im Produktlebenszyklus gemeinsam in der Verantwortung, wobei eine entsprechende politische Unterstützung durch adäquate gesetzliche Rahmenbedingungen wichtig ist.

Inwieweit kann das PGM-Recycling als ein Rollenmodell für andere Technologiemetalle angesehen werden?

Hier ist interessant, in welchen Bereichen und warum PGM-Recycling sehr gut funktioniert, aber vor allem auch, wo es noch Defizite gibt. Begünstigende Faktoren sind sicherlich der hohe Wert der PGM und die inzwischen hoch entwickelten Recyclingverfahren, mit denen sich PGM auch aus einem komplexen Materialmix fast verlustfrei zurückgewinnen lassen. Gleiches gilt für Gold, ähnliches für Silber und Kupfer, aber die meisten anderen Metalle haben hier ungünstigere Randbedingungen.

Aber wenn – wie in den Fallbeispielen aufgezeigt – trotz dieser günstigen Ausgangslage das PGM-Recycling aus Elektronikprodukten nur sehr unzureichend stattfindet und auch zum Teil bei Autokatalysatoren noch ein deutliches Verbesserungspotenzial besteht, dann hilft dies bei der Identifikation von grundsätzlichen Defiziten, die bei allen Metallen auftreten. Ein Durchbruch muss über die nichttechnischen Faktoren erreicht werden. Im Zentrum stehen Akteursverhalten, Geschäftsmodelle, Logistik, Organisation und Stoffstromtransparenz. Ohne Fortschritte hier bleibt die beste Recyclingtechnologie weitgehend wirkungslos.

Auf der anderen Seite setzen die geschlossenen PGM-Kreisläufe bei den industriellen Anwendungen (Prozesskatalysatoren, Glasindustrie) mit Recyclingraten von über 80% auch bei langjährigen Produktlebensdauern einen Maßstab für das bei anderen Metallen Erreichbare. Der Denkansatz, die in Produkten enthaltenen Metalle für einen neuen

Zyklus zurückzuerhalten, könnte auch für Konsumgüterhersteller interessant sein (als Nutzer von metallhaltigen funktionellen Komponenten, die sie in ihre Produkte einbauen). Über entsprechende Geschäftsmodelle – z. B. Leasing eines Produkts (oder darin enthaltener Schlüsselbauteile wie eines Brennstoffzellenstacks oder der Batterie eines Elektrofahrzeugs) – könnte, wie bei den Katalysatoren in der chemischen Industrie, sogar das Eigentum an den Metallen beibehalten werden, mit entsprechenden Vorteilen für den Hersteller. Auch die hohe Transparenz und die kurzen, hochprofessionellen Akteursketten beim Lebenszyklusmanagement von Prozesskatalysatoren können Konzepte für andere Anwendungen inspirieren.

Somit können die Erfahrungen bei den PGM eine wertvolle Basis für die Entwicklung des Recyclings bei anderen Technologiemetallen sein; sie ersetzen aber nicht eine individuelle Betrachtung der Situation bei diesen Metallen sowie der Produkte, in denen sie eingesetzt werden. Insbesondere beim Recycling der thermodynamisch schwierig zu gewinnenden Metalle (Seltene Erden, Gallium, Indium, Germanium ...) aus komplexen Substanzgemischen bestehen enorme technische Herausforderungen. Die besonderen Anforderungen für das Lebenszyklusmanagement von Technologiemetallen werden in [19] dargestellt. Ein neuer Bericht des UNEP Resource Panels, der voraussichtlich Ende 2012 erscheint, geht detailliert auf die Möglichkeiten und Grenzen des Recyclings von Technologiemetallen ein [20].

Literatur

- 1 EU Commission (2010): Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, Enterprise and Industry Directorate General, 85p. (http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/documents/index_en.htm)
- 2 J. Kinnaird, *Platinum Metals Rev.*, 2011, 55, (2), 117
- 3 The Geological Society of South Africa, Platinum Projects in Africa, Johannesburg, South Africa, 28th October, 2011: <http://www.gssa.org.za/Events/EventDetail.asp?EventID=80> (Accessed on 14th November 2011)
- 4 C. Hagelüken, C., Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery, *World of Metallurgy - Erzmetall*, 2006, 59(3), 152-161
- 5 C. E. M. Meskers, C. Hagelüken and G. Van Damme, Green Recycling of EEE: Special and Precious Metal Recovery from EEE, Proceedings of Extraction & Processing Division (EPD) Congress at The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Annual Meeting & Ex-

- hibition, ed. S. M. Howard, San Francisco, California, USA, 15th-19th February, 2009, p. 1131
 - 6 C. E. M. Meskers, K. Vandenbroeck, J. Vliegen, I. De Ruijter, T. Dalle and P. Rigby, Recycling Technologies to Close the Loop for PV Materials, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Valencia, Spain, 6th-10th September, 2010, pp. 3683-3687
 - 7 J. Frankham and P. Kauppinen, *Platinum Metals Rev.*, 2010, 54, (3), 200
 - 8 [8] S. Phillips and P. Kauppinen, *Platinum Metals Rev.*, 2010, 54, (1), 69
 - 9 M. Grehl, H. Meyer, C. Nowotny and J. Kralik, Technological Aspects in PGM Refining, Proceedings, EMC 2005, GDMB-Medienverlag, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 2005, Vol. 1, pp. 269-279
 - 10 J. Koehler, R. Zuber, M. Binder, V. Baenisch and M. Lopez, Umicore AG & Co KG, Process for Recycling Fuel Cell Components Containing Precious Metals, *World Appl.* 2006/024,507
 - 11 C. Hagelüken, The Challenge of Open Cycles, R'07 World Congress - Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency, L. Hilty, X. Edelman, A. Ruf (Ed.) 2007
 - 12 C. Hagelüken, Precious Element Resources, in: The McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology 2010, McGraw-Hill, New York, USA, 2010
 - 13 T. E. Graedel, J. Allwood, J.-P. Birat, B. K. Reck, S. F. Sibley, G. Sonnemann, M. Buchert and C. Hagelüken, Recycling Rates of Metals - A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel, United Nations Environment Programme, Paris, France, 2011
 - 14 End-of life vehicles, Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000, Official Journal of the European Communities, L269/34, 21st October, 2000
 - 15 C. Hagelüken, M. Buchert and H. Stahl, *Erzmetall*, 2003, 56, (9), 529
 - 16 C. Hagelüken, The Magic Money Carousel - beware of Tricks in Autocat Recycling, Proceedings of 9th Intern. Automotive Recycling Congress, Munich 2009 (CD ROM)
 - 17 Waste electrical and electronic equipment (WEEE), Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003, Official Journal of the European Union, L37/24, 13th February, 2003
 - 18 P. Chancerel, P., C.E.M. Meskers, C. Hagelüken, S. Rotter, Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *J. Ind. Ecol.* 2009, 13 (5), 791-810.
 - 19 C. Hagelüken, C.E.M. Meskers, Complex lifecycles of precious and special metals. In: Linkages of Sustainability; 2010, T. Graedel, E. Van der Voet, Eds.; MIT Press: Boston, 165-197.
 - 20 UNEP, Metal Recycling - Opportunities, Limits, Infrastructure, A report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel, M. Reuter et al. (in preparation)
- Der vorliegende Beitrag ist eine erweiterte und aktualisierte Version des Artikels „Recycling the Platinum Group Metals: A European Perspective“ von Christian Hagelüken, *Platinum Metals Rev.*, 2012, 56, (1), 29-25.

Innovative Recyclingstrategien aus Sachsen

Wolfram Palitzsch¹, Ulrich Loser¹

Die Termini Ressourceneffizienz und Ressourcenproduktivität lassen sich als die Effizienz definieren, mit der Energie und Materialien in der Wirtschaft genutzt werden, d. h. als der je Einheit Ressourceninput geschöpfte Mehrwert. Der Begriff Ressourcenproduktivität wird deshalb analog zu dem der Arbeitsproduktivität gefasst: Mehrwert je Einheit Humanressource. [1] Dabei vermittelt das „Re-“ am Anfang des Begriffs Ressourcen den Eindruck, als erneuerten sich diese ständig. Es handelt sich aber in der Regel um nur einmalig gewinnbare, nicht erneuerbare Materialien, die als kostbar eingeschätzt und deshalb im deutschen Sprachraum völlig gerechtfertigt als Bodenschätze bezeichnet werden. Hier soll zwischen mineralischen und fossilen Rohstoffen unbedingt unterschieden werden, da die erstgenannten bei ihrer Nutzung (bis auf Ausnahmen) nicht vernichtet werden. Bei der Verwendung bleiben ihre Potenzen als Quelle für einen erneuten Einsatz im Wesentlichen erhalten, und sie besitzen auch als Abfall noch Eigenschaften für ihre spezielle Nutzung. Und genau darum ist ein Recycling möglich, ja unbedingt erforderlich.

Die gegenwärtige Situation ist durch Mangel gekennzeichnet, der je nach Rohstoffart mehr oder minder stark ausgeprägt ist. Dieser beruht einerseits auf Nachfrageschüben, die durch die jeweilige Realnachfrage aus den Industrie- und den Schwellenländern bestimmt sind. Anteil daran haben aber auch Spekulationen, die zu einer künstlichen Verknappung der Rohstoffe führen, obwohl eine ausreichende Marktverfügbarkeit gegeben ist.

Allerdings hat die Erkenntnis, dass die etablierten Industrienationen ohne eigene Rohstoffressourcen erpressbar werden, in den aufstrebenden Entwicklungs- und Schwellenländern, insbesondere in China (Mineralien, Metalle), aber auch im Nahen Osten und in Russland (Erdöl, Erdgas) zu einem massiven Ausbau der Rohstoffgewinnung geführt.

Diese ist über Jahrzehnte konsequent fortentwickelt worden und eine Ursache für die gegenwärtige globale Situation. Jede hochentwickelte Volkswirtschaft muss daher ein grundlegendes Interesse daran haben, die Rohstoffe im Kreislauf zu halten. Neue und kluge Abfallvermeidungs- und -verwertungsstrategien können daher mit Sicherheit einen gewaltigen Beitrag zur Bereitstellung von bisher ungenutzten Sekundärrohstoffen leisten. Das gilt insbesondere auch für eine Vielzahl von Grundstoffen.

Strategien für die Zukunft werden sich also von der tradierten Form der Rohstoffversorgung ab- und neuen, ganzheitlichen Alternativen zuwenden müssen. Solches Denken beginnt bei der Fragestellung nach der Opportunität der klassischen Rohstoffaufbereitung, die in vielen Fällen auf pyrometallurgischem Weg erfolgt. Diese Betrachtung soll keineswegs den Wert der Technologien zur Rohstoffverarbeitung und zur Metallgewinnung schmälern. Aber das Entsorgen ganzer Erzkomponenten in die Schlacke oder in Baumaterialien, die dann für den Straßenbau missbraucht werden, kann kaum ein zukunftsweisender Weg sein. [2] Über lange Zeit konnten die Rohstoffe nur so zu vertretbaren Kosten verfügbar gemacht werden – allerdings um den Preis des Verlusts gigantischer Mengen an Begleitkomponenten.

Dass eine Vielzahl von seltenen Metallen mit strategischer Bedeutung durch die z. Z. verfügbaren Recyclingverfahren nicht erfasst wird, liegt unter anderem auch in ihrer dissipativen Nutzungsform begründet. Außerdem werden viele der Hightech- und Greentech-Metalle in neuen, innovativen Produkten nicht recyclinggerecht verbaut. Diese und andere Herausforderungen werden in *Abb. 1* benannt und Lösungsansätze gegenübergestellt.

Die hochspezifischen Eigenschaften dieser speziellen Materialien haben dazu geführt, dass sie für eine Vielzahl innovativer Produkte inzwischen essenziell sind. Ihre Verknappung würde in absehbarer Zeit gravierend auf die Wirtschaft zurückschlagen.

Somit sind neue Herangehensweisen an die Rohstoffgewinnung (aus welcher Quelle auch immer) und -verarbeitung gefragt. In dieser Situation kommt insbesondere auf die Chemie als Wissenschaft eine Renaissance zu. Ihre Stellung ist so zentral und unentbehrlich, dass sie zu Recht als Wissenschaft des 21. Jahrhun-



Herausforderungen	Antworten
• niedrige Konzentration	• Erkennen und Ausnutzen vorhandener Synergien
• Mischungen, verschiedene Substrate, unterschiedliche Matrix	• universelle und einfache Methoden
• (Transport)	• Verwertung der Matrix
• (Erfassen)	• kein neuer Abfall

Abb. 1: Integratives Verwerten kann branchenübergreifend Lösungen bieten

derts zu neuer Blüte kommt. Die Strategie des Chemikers, an ein Trennproblem heranzugehen, unterscheidet sich elementar von der klassischen Weise der Hauptkomponentengewinnung. Im Gegensatz zu dieser sucht der Chemiker die Vereinheitlichung des Rohstoffs, idealerweise in der Flüssigphase, aus welcher er kraft seiner stoffchemischen Kenntnisse die einzelnen Komponenten in hoher Trennschärfe isolieren kann. Die Chemie bietet eine Option zur integralen Rohstoffverwertung. [3] Beispielsweise lassen sich auf diese Weise über das Verwerten vereinigter Restlaugen durch entsprechend spezialisierte Betriebe sogar Spurenbeimengungen gewinnen.

Die Loser Chemie GmbH vertritt die Philosophie einer ganzheitlichen stofflichen Verwertung. Dabei geht es in erster Linie um eine schnelle Ausnutzung des enormen kurz- bis mittelfristigen Marktpotenzials für das Verwerten von Hightech- bzw. Greentech-Abfällen. Dafür entwickelte neue Verfahren könnten schließlich im Sinne des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes etabliert und realisiert werden.

Beispiel Seltenerd-Magnete

Seltenerd-Magnetwerkstoffe auf Basis von Neodym-Eisen-Bor (Nd-Fe-B) bzw. Cobalt-Samarium (Sm-Co) erlauben heute viele innovative Produktentwicklungen und bilden das Rückgrat für moderne Technologien, wie die Schaffung von Elektromobilität und Prozesse für die Nutzung der erneuerbaren Energien.

Seltenerd-Magnete sind intermetallische Verbindungen von Seltenerdme-

¹ Loser Chemie GmbH, 08134 Langenweißbach, Bahnhofstraße 10



Abb. 2: Verwertbare Produkte aus einem typischen Nd-Fe-B-Magnet-Produktionsabfall

tallen (wie Samarium oder Neodym) und Übergangsmetallen (wie Cobalt oder Eisen), wobei in Sm-Co-Materialien zusätzlich noch Gd, Fe, Cu und Zr zum Einsatz kommen können. Auch für das klassische Nd-Fe-B-System spielen – je nach Applikation – noch andere Elemente wie Pr, Dy und Tb eine Rolle. Der Herstellungsprozess unterscheidet sich von dem für Hartferritmagneten. Das Mahlen, Pressen und Sintern geschieht unter Schutzgas-Atmosphäre. Die Materialbearbeitung erfolgt dann z. B. durch Schleifen mittels Diamantscheiben.

In einer typischen Nd-Fe-B-Magnet-Fertigungsstätte werden allerdings etwa 20–30% des Magnetmaterials bei der Bearbeitung zu Abfall, was im Jahr – je nach Kapazität – etwa 1.500 bis 2.500 Tonnen Schrott bedeutet, siehe Abb. 2. Im Falle von Sm-Co-Magneten werden etwa 15–30% der Rohmaterialien zu Produktionsabfall. [4]

Als wesentlichen Schritt für ein wirtschaftliches Recycling von Seltenerd-Magneten sehen wir die Separation der beteiligten Metalle in jeweils nützlicher Form. Durch schrittweise Behandlung des Abfalls gelingt es, verwertbare Stoffe zu erzeugen, wie das in Abb. 2 idealisiert dargestellt wird.

Beispiel seltenerdhaltige Leuchtpulverabfälle

Andere Seltene Erden wie Europium, Gadolinium und Thulium, um nur einige zu nennen, werden für Leuchtstoffe in Energiesparlampen verwendet. Stand der Technik für die Verwertung von Leuchtstoffröhren und Energiesparlampen ist die scharfe Trennung und Zerlegung der Lampen in ihre einzelnen Bestandteile, um wiedereinsatzfähige Produkte wie Glas und Metall zu erzeugen (DELA GmbH, Larec GmbH). Allerdings werden die anfallenden Leuchtstoffpulver aktuell

noch nicht verwertet. Damit gehen die in ihnen enthaltenen Seltenerdmetalle für eine weitere Nutzung verloren.

Die Loser Chemie GmbH hat sich intensiv mit diesen Materialien beschäftigt und vielversprechende Verfahrensansätze gefunden. Erste Ergebnisse bei der Suche nach alternativen Extraktionsmitteln für Seltene Erden aus Leuchtpulverabfall sind in Abb. 3 dargestellt. Im Sinne der Philosophie einer vollständigen stofflichen Verwertung wurde auch das Löseverhalten der verwendeten Matrizen untersucht. Die aus Bariummagnesiumaluminat oder sog. Halophosphaten bestehenden Leuchtstoffe könnten als Barium-, Aluminium- oder/und Calcium-Quelle angesehen werden. Abb. 4 zeigt erste Ergebnisse für die Behandlung von diversen Leuchtstoffen mit dem Fokus, Barium und Calcium in Lösung zu bringen. Calcium- und Bariumsalzlösungen spielen neben Aluminium- und Eisenverbindungen eine große Rolle in der Wasserchemie. Sie finden viele Anwendungen in der Abwasserbehandlung. Die angestrebte vollständige inhaltliche Verwertung der Abfallsubstanz sollte sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit solcher Verwertungsstrategien auswirken.

Quellen

- 1 Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europ. Parlament, Brüssel, 1.10.2003, S. 9. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0572:FIN:DE:PDF>
- 2 L. J. Fernandez et al., Recycling silicon solar cell waste in cement-based systems, Solar Energy Materials and Solar Cells, 3rd of March 2011.
- 3 M. Bertau, W. Palitzsch, Skizze innovativer Wachstumskern „Integrierte Rohstoffverwertung und -nutzung“. 2012.
- 4 Jinfang Liu and Chins Chinnasamy, Rare Earth Elements Workshop, EPA, Colorado, 2012.
- 5 A. Wojtalewicz-Kasprzak, Dissertation „Erzeugung von synthetischen Seltene-Erd-Konzentraten aus Leuchtstoffabfällen“, TU Clausthal, 2007.

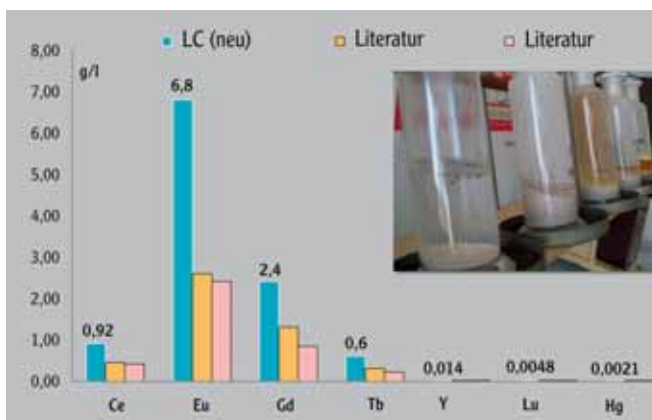


Abb. 3: Ergebnisse von Extraktionsversuchen an Leuchtstoffpulverabfall im Vergleich zu kürzlich beschriebenen Methoden [5]

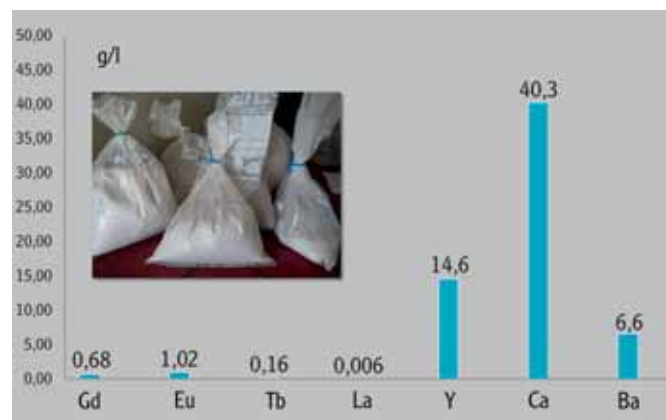


Abb. 4: Extraktionsversuch, bei dem aus den Leuchtstoffen Yttrium, Calcium und Barium in Lösung gebracht wurden.

Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Kompetenzen in Lehre und Forschung

Horst Biermann¹, Ulrike Mörters²

Werkstoffe und Materialien – das ist eine der Kompetenzlinien der TU Bergakademie Freiberg. Wie nur an wenigen Universitäten in Deutschland wird in Freiberg ein großer Teil der Kompetenzen auf diesem Fachgebiet in einer eigenen Fakultät gebündelt, der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie.

Mit der Doppelbezeichnung wird bereits auf die große Vielfalt der behandelten Themen hingewiesen, die von der eher naturwissenschaftlich geprägten Materialwissenschaft bis zur ingenieurwissenschaftlich orientierten Werkstofftechnologie reicht. Wesentliche Merkmale der zur Fakultät gehörenden Institute sind ihre hohe internationale Wahrnehmbarkeit und die überaus aktive Forschung, die sich in den letzten Jahren stetig und sehr erfolgreich weiterentwickelt hat.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, ihre Ressourcen, Potenziale und Leistungen. Er zielt darauf ab, das derzeitige Profil der Fakultät vorzustellen und das Interesse des Lesers für das eine oder andere Fachgebiet, die eine oder andere Thematik sowie nach weiterführenden, speziellen Informationen zu wecken.

Grundsätzlich gilt, dass die Aktivitäten der Fakultät in Lehre und Forschung sehr eng miteinander verflochten sind und – inhaltlich wie auch strukturell – das Profil der Lehre wie auch Forschung auf den genannten Gebieten prägen.

Professuren und Lehrgebiete der Fakultät

Die Verantwortung für Lehre und Forschung obliegt den an der Fakultät etablierten neun Professuren,

- der Professur Struktur und Gefüge von Werkstoffen, Inhaber Prof. Dr.

1 Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann, Prodekan der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie, Direktor Institut für Werkstofftechnik

2 Dr. oec. Ulrike Mörters, Dekanatsrätin der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

- der Professur Angewandte Werkstoffwissenschaft, derzeit unbesetzt (die Vertretung wird seit Sommersemester 2011 durch Dr. J. Freudenberger vom Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung IFW Dresden ausgeübt, das Berufungsverfahren um die Nachbesetzung der Professur läuft aktuell), Institut für Werkstoffwissenschaft,
- der Professur Elektronik- und Sensormaterialien, Inhaberin Prof. Dr. rer. nat. Y. Joseph, Institut für Elektronik- und Sensormaterialien,
- der Professur Werkstofftechnik, Inhaber Prof. Dr.-Ing. habil. H. Biermann, Institut für Werkstofftechnik,
- der Professur Werkstoffprüfung und Bauteilfestigkeit, Inhaber Prof. Dr.-Ing. L. Krüger, Institut für Werkstofftechnik,
- der Professur Gießereitechnik/Urformtechnik, Inhaber Prof. Dr.-Ing. K. Eigenfeld (das Berufungsverfahren um die Nachbesetzung dieser Professur als Professur für Gießereitechnik läuft aktuell), Gießerei-Institut,
- der Professur Umformtechnik, Inhaber Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. mult. R. Kawalla, Institut für Metallformung,
- der Professur für Eisen- und Stahlmetallurgie, derzeit unbesetzt (das Berufungsverfahren um die Nachbesetzung der Professur läuft aktuell), Institut für Eisen- und Stahltechnologie, sowie
- der Professur Technologie der NE-Metallurgie und Werkstoffrecycling, Inhaber Prof. Dr.-Ing. M. Stelter, Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe.

Eine zehnte Professur für Metallurgie und Recycling von Hochtechnologiemetallen wird in Kürze das Kompetenzspektrum der Fakultät erweitern, das entsprechende Berufungsverfahren läuft. Dabei handelt es sich um eine gemeinsame Professur mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, die gleichzeitig mit der Position eines Abteilungsleiters des neugegründeten Helmholtz-Instituts Frei-

berg für Ressourcentechnologie verknüpft sein wird. In Ergänzung dieser Professuren sind aktuell die Lehr- und Forschungsgebiete Physikalische Metallkunde, vertreten durch Prof. Dr. rer. nat. U. Martin; Technologie der Metallformung, vertreten durch Prof. Dr.-Ing. G. Lehmann, sowie Eisenwerkstoffe, vertreten durch Prof. Dr.-Ing. A. Weiß, in Form außerplanmäßiger Professuren etabliert. Über Honorarprofessuren vertreten werden die Lehrgebiete

- Polymerverarbeitung,
- Elektronen- und Laserstrahlbehandlung von Bauteilen,
- Technologie der Flachprodukte,
- Optimierung gießereitechnischer Prozesse und
- Herstellung und Eigenschaften von elektromagnetischen Funktionswerkstoffen (mit Beginn des Wintersemesters 2012/2013).

In der genannten Reihenfolge der Lehrgebiete sind dies die Professoren Dr. M. Stoll (Direktor Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen (FILK) gGmbH Freiberg, Prof. Dr. R. Zenker (Zenker Consult Mittweida), Prof. Dr. K.-U. Köhler (TATA Steel Europe Ijmuiden), Prof. Dr. W.-D. Schneider (ehemals DIHAG Essen), und Prof. Dr. B. Holzapfel (IFW Dresden).

Zudem sind an der Fakultät folgende Einrichtungen An-Institute:

- Stahlzentrum Freiberg e. V.,
- Forschungsinstitut für Leder- und Kunststoffbahnen (FILK) gGmbH Freiberg,
- Institut für Korrosionsschutz Dresden GmbH und
- Institut für Qualitätssicherung von Stoffsystemen Freiberg e. V.

Lehre

In der Lehre konzentrieren sich die Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie auf die von der Fakultät angebotenen Studiengänge Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie (Diplom), Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten (Bachelor, Master), Elektronik- und Sensormaterialien

(Bachelor, Master) und Gießereitechnik (Bachelor) sowie auf die Beteiligung an dem englischsprachigen Studiengang Computational Materials Science (Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik). Zusätzlich ist die Fakultät mit vertiefenden Lehrveranstaltungen in die Ausbildung von Wirtschaftsingenieuren involviert.

Der mit Abstand größte unter den genannten eigenen Studiengängen ist der Diplomstudiengang Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie (jährlich ca. 70 Studienanfänger, derzeit über 300 immatrikulierte Studenten), der ganz bewusst mit diesem Abschluss weitergeführt wird. Nach dem Vordiplom haben die Studierenden die Möglichkeit, zwischen sechs Vertiefungsrichtungen zu wählen, sodass mit den Abschlüssen spezifische Profile erzielt werden. Der zweitgrößte Studiengang, Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten (knapp 30 Studienanfänger jährlich, insgesamt 160 Studenten), hat das Ziel, Werkstoffingenieure mit starken maschinenbaulichen Kompetenzen auszubilden. Er ordnet sich damit als Unikat in die sächsische Bildungslandschaft ein.

Durch die seitens der Industrie signalisierte Absolventennachfrage ist die Einführung der Studiengänge Gießereitechnik sowie Elektronik- und Sensormaterialien angeregt worden, die, auf einer fundierten Grundausbildung aufbauend, einen spezialisierten Abschluss anstreben. Mit der Gesamtheit dieser Studiengänge verfügt die Fakultät über ein Spektrum, das trotz starker Nachfrage seitens der Industrie nur von sehr wenigen Universitäten und Hochschulen in Deutschland angeboten wird. Damit hat sich die TU Bergakademie Freiberg in Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie eine exponierte Position gesichert, die durch die Angebote der anderen Fakultäten noch abgerundet wird.

Insgesamt sind in den Studiengängen der Fakultät derzeit knapp 600 Studierende eingeschrieben, im Studienjahr 2011/12 schlossen bisher 73 Studierende ihr Studium erfolgreich ab (Stand Juli 2012). Die von der Fakultät verantworteten Studiengänge entwickelten sich im Vergleich der Jahre sehr stabil und sind gut nachgefragt. Die Studienanfängerzahlen lagen im Durchschnitt der letzten Jahre auf einem konstanten Niveau bei 110 bis 120 Erstinschreibern.

Die Professuren der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechno-

logie engagieren sich gleichfalls – und das bereits seit vielen Jahren – im Rahmen von Doppeldiplom- und ERASMUS-Abkommen für die Internationalisierung der Ausbildung. Hervorgehoben werden sollen hier u. a. die entsprechenden Partnerschaften mit der AGH Krakau sowie den Universitäten in Czeszochowa, Gent, Gliwice, Helsinki, Istanbul, Lille, Moskau, Pristina, Stockholm, Trento und Wuhan. Damit wird interessierten ausländischen Studierenden ermöglicht, ein international geprägtes Studium zu absolvieren und dem im Heimatland angestrebten akademischen Abschlussgrad einen zweiten, einen Freiburger Abschluss, hinzuzufügen.

Besonders im Hauptstudium kommt die enge Verflechtung von Lehre und Forschung positiv zum Tragen und strahlt auch auf die entsprechenden Ergebnisse aus. Im Rahmen ihrer Qualifizierungsarbeiten, aber auch als bezahlte Hilfskräfte, wirken die Studenten unmittelbar an den Forschungsthemen der einzelnen Professuren mit, wobei ein sehr offenes, fast familiäres Klima herrscht.

Studienwerbung

Zu den Kompetenzen in der Lehre gehört es auch, potenzielle Studierende – also Schüler – frühzeitig, bereits im Vorfeld der Entscheidungen für ein Studium auf die an der Fakultät gegebenen Studienmöglichkeiten und -bedingungen aufmerksam zu machen und zielgerichtet entsprechende Interessen zu wecken.

Die Professuren der Fakultät beteiligen sich in diesem Sinne an den von der zentralen Studienberatung initiierten Aktionen wie zum Beispiel dem Tag der offenen Tür und an Werbeveranstaltungen in Gymnasien und gestalten mehrere einschlägige Sommerschulen. Sie geben darüber hinaus Schülern die Chance zur Teilnahme an Schülerpraktika. Die Fakultät geht aber auch eigene Wege, um auf ihre Fachgebiete hinzuweisen. So wurde im Jahr 2006 das am Institut für Werkstofftechnik etablierte Schülerlabor Science meets School – Werkstoffe & Technologien in Freiberg eröffnet. In diesem Schülerlabor haben Schüler die Möglichkeit, sich dem Thema Werkstoffe zu nähern und selbst an Werkstoffen Forschung zu betreiben. Hierzu werden auch Schülerwettbewerbe initiiert. 2012 wurde bereits zum zweiten Mal ein Schülerwettbewerb durchgeführt, diesmal unter dem Titel „Auf Biegen und Brechen!“ (Abb. 1). Die Fakultät ist zudem Wegbe-



A. Geigermüller, P. Rahmann / TU Bergakademie Freiberg

Abb. 1: Ankündigungsflyer des Schülerwettbewerbs „Auf Biegen und Brechen“, veranstaltet durch den Sonderforschungsbereich 799 in Zusammenarbeit mit dem Schülerlabor Science meets School – Werkstoffe und Technologien in Freiberg

reiter des Girl's day in Freiberg. Auch für die Kleinsten wird durch das Projekt Little Einsteins ein Einblick in die spannende Welt der Werkstoffe ermöglicht. Schließlich engagiert sich das Schülerlabor auch in der beruflichen Ausbildung. So wird der 2011 am Beruflichen Schulzentrum Julius Weisbach neu eingerichtete Ausbildungsgang zum Werkstoffprüfer aktiv unterstützt.

Die Versuche des Schülerlabors sind speziell auf die Lehrpläne der sächsischen Schulen abgestimmt und gemeinsam mit den Lehrern entwickelt worden. Seit der Eröffnung haben über 2.020 Schülerinnen und Schüler – überwiegend sächsischer Schulen – die vielfältigen Angebote an über 4.000 Labortagen genutzt. Für die Lehrer gibt es die Möglichkeit zur Weiterbildung.

Forschung

Die Forschungskompetenzen der Professuren/Institute der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie liegen auf den Gebieten



Abb. 2: Gießwalzanlage zur Herstellung von Mg-Flachprodukten

Erzeugung, Verarbeitung, Veredlung, Einsatz und Recycling von Werkstoffen, sodass die gesamte Wertschöpfungskette abgebildet werden kann. Neben den genannten technologischen Themen werden auch werkstoffklassenübergreifend verschiedene Kompetenzfelder der Werkstoffcharakterisierung und -prüfung von zumeist metallischen Werkstoffen, beispielsweise für den Maschinen- und Anlagenbau sowie den Fahrzeugbau, erforscht. Besonders hervorzuheben sind die Aktivitäten auf dem Gebiet der Magnesium-Technologien wie das Magnesium-Gieß-Walzen (Abb. 2). Ebenfalls im Fokus der Aufmerksamkeit stehen Hochtemperaturwerkstoffe, Sensoren/Aktoren, Nanomaterialien, Reinstoffe und Halbleiterwerkstoffe. Neben kompakten Werkstoffen werden diverse Verfahren zur Beschichtung und zur Erzeugung von Randschichten erforscht.

Die Professuren der Fakultät sind, teilweise federführend, in verschiedenen fakultätsübergreifenden Forschungsverbänden tätig. Unter den von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Aktivitäten mit Beteiligung der Fakultät sind zu nennen:

- **Sonderforschungsbereich 799** TRIP-Matrix-Composite – Design von zähen, umwandlungsverstärkten Verbundwerkstoffen und Strukturen auf Fe-ZrO₂-Basis (Sprecher: Prof. Biermann),

- **Sonderforschungsbereich 920** Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials (Sprecher: Prof. Aneziris),



Abb. 3: Analysesystem am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe

- **Schwerpunktprogramm 1204** Algorithmen zur schnellen, werkstoffgerechten Prozesskettengestaltung und -analyse in der Umformtechnik (Sprecher: Prof. Kawalla),

- **Schwerpunktprogramm 1418** Feuerfest-Initiative zur Reduzierung von Emissionen – FIRE (Sprecher: Prof. Aneziris).

Die Institute der Fakultät bearbeiten zahlreiche weitere DFG-Projekte, gefördert im Normalverfahren oder in Forschungsverbänden mit anderen Hochschulen, so z. B. im

- **Sonderforschungsbereich 609** Elektromagnetische Strömungsbeeinflussung in Metallurgie, Kristallzüchtung und Elektrochemie (Sprecher: Prof. Odenbach, TU Dresden) sowie im

- **Schwerpunktprogramm 1473** WeN-DeLIB – Werkstoffe mit neuem Design für verbesserte Lithium-Ionen-Batterien, das Prof. Seifert noch vor seinem Wechsel an das KIT in Karlsruhe von Freiberg aus beantragt hatte.

Als Drittmittelgeber besonders hervorzuheben ist auch die Sächsische Landesexzellenzinitiative, in deren Rahmen das Vorhaben Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering (ADDE) (Sprecher: Prof. Rafaja) gefördert wird.

Außer im Freiburger Forschungscluster sind Wissenschaftler der Fakultät auch in den Dresdner Landesexzellenzcluster ECEMP – European Centre for Emerging Materials and Processes Dresden (Sprecher: Prof. Hufenbach, TU

Dresden) in ein Projekt zu Nickelbasis-Superlegierungen eingebunden.

Zudem ist die Fakultät am Krüger-Forschungskolleg Freiburger Hochdruck-Forschungszentrum (Sprecher: Prof. Kortus) und am BMBF-geförderten Vorhaben VIRTUHCON – Virtual High Temperature Conversion (Leitung: Prof. B. Meyer) beteiligt. Zusätzlich zu den Forschungsarbeiten werden durch die beiden Freiburger Sonderforschungsbereiche auch zwei Graduiertenkollegs organisiert, in denen die Doktoranden neben fachlichen Schulungen auch Angebote zu Soft Skills erhalten. Hierdurch werden wichtige Akzente in der Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses gesetzt.

Insgesamt konnte die Fakultät die Drittmiteinnahmen trotz des schmerzlichen Abbaus von fünf Professuren deutlich steigern und in den letzten beiden Jahren jeweils über 10 Mio. Euro einwerben, von denen etwa 30% jeweils vom Bund, von der DFG und dem Land Sachsen stammen.

Ein Fakt, der in besonderem Maße zu den Erfolgen der Fakultät im Bereich der Forschung beiträgt, ist die hervorragende Ausstattung mit Großgeräten. Auf einer guten Grundlage wurde in den vergangenen zehn Jahren auf Basis vieler Projektanträge – auch im Rahmen des Großgeräteförderprogramm des Bundes (ehemals HFBG-Großgeräte-Programm) und des Landes – eine grundlegende Modernisierung und Erweiterung der apparativen Ausstattung der Institute erreicht. So stehen heute teilweise sogar unikale technische Möglichkeiten zur



Abb. 4: Servohydraulisches Biaxial-Prüfsystem mit hochauflösender Zeilenscannerkamera am Institut für Werkstofftechnik

Verfügung für die Werkstoffherzeugung (Metallurgie, Gießereitechnik und Metallformung, insbesondere Gießwalzen von Mg-Legierungen, vgl. Abb. 2), die Werkstoffcharakterisierung (modernste Elektronenmikroskope, u. a. für die analytische, hochauflösende Durchstrahlungs- und Rasterelektronenmikroskopie, moderne Röntgendiffraktometer und Spektrometer), siehe Abb. 3, und die Werkstoffprüfung (u. a. für die mehrachsige Prüfung, Abb. 4) einschließlich der Hochgeschwindigkeitswerkstoffprüfung.

Behindert wird die Entwicklung der Fakultät durch die teilweise unzurei-

Sonderforschungsbereich 799 der Bergakademie erhält hervorragende Bewertung

Ein Gutachterteam der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat am 21. und 22. Juni die bisherigen Ergebnisse und die zukünftig geplanten Projekte des Sonderforschungsbereichs (SFB) 799 TRIP-Matrix-Composite der TU Bergakademie Freiberg bewertet. Für die zweite Antragsphase ab 2013 bis 2016 beurteilten die Experten die wissenschaftlichen Vorhaben der Freiburger Wissenschaftler als sehr gut bis exzellent. Auf dieser Grundlage entscheidet der Bewilligungsausschuss der DFG im November 2012 über die Fortsetzung des SFB 799. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit spiegeln sich in mehr als 140 gemeinsamen Publikationen, in Promotionen, Habilitationen und mehreren Preisen und Auszeichnungen wider. Die im Rahmen des SFB hergestellten filigranen Wabenkörper aus Stahl und Keramik bieten sich dank ihres geringeren Gewichts und ihres überdurchschnittlichen Energieaufnahmevermögens als Crashabsorber in der Automobilindustrie an. Diese Entwicklung wurde erst kürzlich auf der interdisziplinären Messe für innovative Werkstoffe, der InnoMateria 2012 in Köln, als zukunftsweisendes Projekt zum Thema Leichtbau ausgezeichnet. Neben dem SFB 799 hat im vergangenen Jahr ein zweiter Sonderforschungsbereich an der TU Bergakademie Freiberg seine Arbeit aufgenommen: Im SFB 920 Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials werden innovative Filterwerkstoffe und Filtersysteme unter der Zielstellung erforscht, die Reinheit von Metallschmelzen zu steigern und die Qualität von Metallwerkstoffen zu erhöhen. Beide Sonderforschungsbereiche unterstreichen die umfassenden wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen der Freiburger Universität auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und der Werkstofftechnik.

chende Substanz und die räumliche Beengtheit der Institutsgebäude. Von den der Fakultät zur Verfügung stehenden Gebäuden ist lediglich der Ledebur-Bau saniert. Aktuell wird das Haus Metallfor-

mung komplett renoviert, sodass in naher Zukunft auch für das gleichnamige Institut sowie für das Gießerei-Institut eine angemessene Unterbringung gewährleistet ist.

Das Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe Ressourceneffiziente Materialerzeugung

Michael Stelter, Hartmut Bombach, Olf Pätzold, Gunter Morgenstern, Elke Niederschlag

Im ständig wachsenden Wettbewerb um primäre und sekundäre Metallrohstoffe ist die Entwicklung neuer, innovativer Technologien zur effizienten Nutzung von Metallressourcen mit maximaler Wertschöpfung von besonderer Wichtigkeit. Das Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe befasst sich in vielfältiger Weise mit der Verfahrensentwicklung und -optimierung im Bereich der Nichteisenmetalle, wobei der energie-, material- und kosteneffizienten Nutzung sekundärer Metallressourcen immer größere Bedeutung zukommt. In den Bereichen Pyrometallurgie, Hydrometallurgie und Halbleiterwerkstoffe werden zahlreiche Projekte zur Prozessoptimierung und Steigerung der Materialqualität durch-

geführt. Die folgenden Beispiele geben einen Einblick.

Steigerung der Ressourceneffizienz in der Bleimetallurgie

Ein gemeinsames Forschungsverbundprojekt des Instituts für NE-Metallurgie und Reinststoffe und der Muldenhütten Recycling und Umwelttechnik GmbH befasst sich mit der Verbesserung der Sekundärbleiproduktion durch eine nachhaltigere Nutzung des Rohstoffs Akkumulatorschrott. Die Anfallmengen an verbrauchten Akkumulatoren werden in den nächsten Jahren durch den steigenden Bestand an Kraftfahrzeugen, die Nutzung zur Energiespeicherung sowie die vollständigere Erfassung verbrauch-

ter Akkumulatoren in Schwellen- und Entwicklungsländern weltweit weiter steigen. Dabei haben sich der Aufbau und die stoffliche Zusammensetzung der Akkus in den letzten Jahren signifikant geändert und werden sich zukünftig weiter verändern. Antimon wurde in der Vergangenheit in deutlich größerem Umfang bei der Herstellung von Bleiakkumulatoren verwendet, als das heute der Fall ist. So werden die klassischen PbSb-Gitter durch Bleilegierungen mit wesentlich niedrigeren Sb-Gehalten und durch PbCa-Legierungen ersetzt. Daher fällt in den nächsten Jahren in den Bleihütten ein Antimonüberschuss in Form von Antimonschlacke oder -abstrich an. Eine Gewinnung sowohl des metallischen Antimons als auch anderer Begleitelemente ist aufgrund steigender Metallpreise und zur Schonung der knappen Rohstoffressourcen dringend erforderlich. Ein möglichst vollständiges Ausbringen des Blei-inhalts, der wesentlichen Legierungselemente Antimon und Zinn sowie weiterer Metalle in Form reiner Metalle, Legierungen oder hoch angereicherter Konzentrate wird daher angestrebt.

Durch Unterbrechung der internen Verarbeitungskreisläufe können in der Bleiraffination metallische Beimengungen wie Antimon und Zinn gewonnen und gleichzeitig die Energie- und Arbeitskosten verringert werden [1]. Durch die Entwicklung eines mehrstufigen Reduktionsverfahrens ist es möglich, das überschüssige Antimon aus dem Recyclingkreislauf auszuschleusen und als Metall bzw. Antimon-Blei-Legierung zu gewinnen. Das beim Abtrennen von Zinn entstehende Raffinationsprodukt Zinnpulver wurde bisher üblicherweise durch Reduktion mit Koks zu einer Blei-Zinn-Vorlegierung reduziert und zur Herstellung der vom Markt gewünschten Bleilegierungen wiederverwendet. Damit bestand ein geschlossener Wertstoffkreislauf zwischen Bleirecyclern und Akkumulatorenherstellern. Durch selektive Reduktion unter Einsatz eines speziellen Schlackesystems ist es möglich, die Metalle Blei und Zinn in einer Reinheit herzustellen, die ihre uneingeschränkte Weiterverwendung zur Herstellung der heute marktüblichen Bleilegierungen gestattet.

Der Energiebedarf für die thermische Reduktion und die Bleiraffination beträgt 2,5 bis 3 GJ pro Tonne Blei. Durch die Nutzung der Kunststoffrestfraktion, die bisher als Sondermüll verbrannt wird, oder anderer alternativer Reduktionsmittel kann der Verbrauch an Petrolkoks verringert werden. Eine entsprechende Technologie ist mit einer Reduzierung des Energieverbrauchs und damit einer Senkung der CO₂-Emissionen verbunden. Das Projekt ist im September 2012 mit vielen positiven Ergebnissen beendet worden.

Wertstoffgewinnung aus Verbundwerkstoffen

Die Rückgewinnung des strategisch wichtigen Metalls Indium, das u. a. bei der Herstellung von Photovoltaik-Dünnschichtmodulen, Flachbildschirmen, Touch Screens und LEDs benötigt wird, ist ebenfalls Gegenstand eines Forschungsvorhabens. Da nach Schätzungen der Bedarf an Indium bis 2030 etwa das 3,3-fache der heutigen Produktionsmenge betragen wird [2] und mehr als die Hälfte der jährlichen Weltproduktionsmenge aus China stammt, kommt dem Recycling von Indium besondere Bedeutung zu. Dem trägt das Projekt „Simultane Gewinnung von Indium, Blei und Glas durch Recycling von Verbundwerkstoffen“

Rechnung. Projektträger ist das neu gegründete Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF). Kooperationspartner sind das Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik sowie das Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe.

Ziel des Projekts ist es, Indium, Blei, Zinn und andere Wertmetalle aus beschichteten Flachgläsern, aus den beim Beschichtungsprozess anfallenden Rückständen sowie aus bleihaltigen Gläsern wiederzugewinnen. Die Neuheit der Projektidee besteht in der Kombination metallurgischer, metallchemischer und glastechnischer Methoden und der Möglichkeit, mehrere verschiedene wertstoffhaltige Sekundärrohstoffe einzubeziehen, wodurch das Aufkommen steigt und eine kostengünstige Produktion möglich wird. Der Prozess soll so entwickelt werden, dass neben den gewinnbaren Metallen nicht, wie sonst üblich, Schlacke anfällt, die bestenfalls im Straßenbau eingesetzt werden kann, sondern ein hochwertiges Glaserzeugnis hergestellt wird. Im Rahmen des Projekts sollen die Machbarkeit im Labormaßstab aufgezeigt und die technische Umsetzung vorbereitet werden.

Wertmetallgewinnung aus komplex zusammengesetzten Sekundärrohstoffen

Gemeinsam mit der Nickelhütte Aue GmbH wurden in zwei vom BMBF geförderten Forschungsprojekten Verfahren zum Recycling von Nichtelegmetallkatalysatoren entwickelt und bis in den Pilotmaßstab erfolgreich erprobt [3, 4].

Bei den Nichtelegmetallkatalysatoren wird zwischen Träger- und Vollmetallkatalysatoren unterschieden. Sie werden vor allem in Raffinationsprozessen der Erdölindustrie sowie in weiteren großtechnischen Syntheseprozessen der chemischen Industrie eingesetzt. Die verbrauchten Katalysatoren enthalten hohe Konzentrationen an Cobalt, Nickel, Molybdän, Wolfram und Vanadium und stellen somit wichtige sekundäre Metallressourcen dar. Trägerkatalysatoren weisen – bedingt durch das Trägermaterial – auch hohe Al₂O₃-Gehalte auf.

Problematisch für das Recycling ist, dass die Wertstoffe in den verbrauchten Katalysatoren in stark schwankenden Konzentrationen und unterschiedlichen Verbindungen vorliegen. Verbrauchte Katalysatoren der Erdölindustrie enthalten zudem einen hohen Anteil organischer Verunreinigungen in Form von

Ölrückständen, Wachsen und Ruß sowie hohe Schwefel- und teilweise Phosphorgehalte. Aufgrund der technologisch sehr aufwendigen Aufbereitungsverfahren gab es bisher kein technisch ausgereiftes, ökonomisch sinnvolles Verfahren zur Rückgewinnung der Wertmetalle, um natürliche Ressourcen zu schonen.

Abb. 1 zeigt das technologische Schema des neuen Verfahrens. Bei der Aufbereitung von Trägerkatalysatoren ist die erste Verfahrensstufe ein oxidativer thermischer Prozess zur Entfernung der organischen Bestandteile und des Sulfidschwefels, wodurch auch die Wertmetalle in die Oxide überführt werden. In einer zweiten thermischen Prozessstufe werden die Wertmetalle Molybdän, Wolfram und Vanadium mittels alkalischer Zuschlagstoffe in lösliche Natriummetallate umgewandelt. Durch eine anschließende Heißwasserlaugung werden die Molybdän-, Wolfram- und Vanadiumverbindungen selektiv aus den Oxiden des Nickels, Cobalts sowie aus dem Trägermaterial (Al₂O₃) herausgelöst. Da eine quantitative selektive Laugung von Nickel und Cobalt aus dem Laugungsrückstand nicht möglich ist, muss dieser mit bereits etablierten thermischen Verfahren der Nickelhütte Aue GmbH weiterverarbeitet werden.

Eine thermische Vorbehandlung von Vollmetallkatalysatoren mit dem Ziel der Abtrennung organischer Verbindungen ist aufgrund der Einführung einer modernen Badschmelztechnologie (Abb. 2) nicht erforderlich. Dabei wird der hohe Energiegehalt der organischen Bestandteile des Katalysatormaterials für den Schmelzprozess genutzt, wodurch sich die CO₂-Emissionen wesentlich verringern. Beim Badschmelzprozess werden die Katalysatormaterialien direkt in eine basische Schmelze eingebracht, wobei Nickel in eine Steinphase überführt wird. Die Wertmetalle Molybdän, Wolfram und Vanadium reichern sich als wasserlösliche Metallat-Verbindungen in einer Schlacke an und werden bei deren anschließender Heißwasserlaugung in die wässrige Lösung überführt.

Die aus der Aufbereitung der Träger- und Vollmetallkatalysatoren resultierenden Laugungslösungen können dann gemeinsam weiterverarbeitet werden. Erforderlich sind die Abtrennung störender Verunreinigungen (z. B. der Phosphorverbindungen) sowie die Trennung der Wertmetalle und ihre Wandlung in verkaufsfähige Produkte. Mit

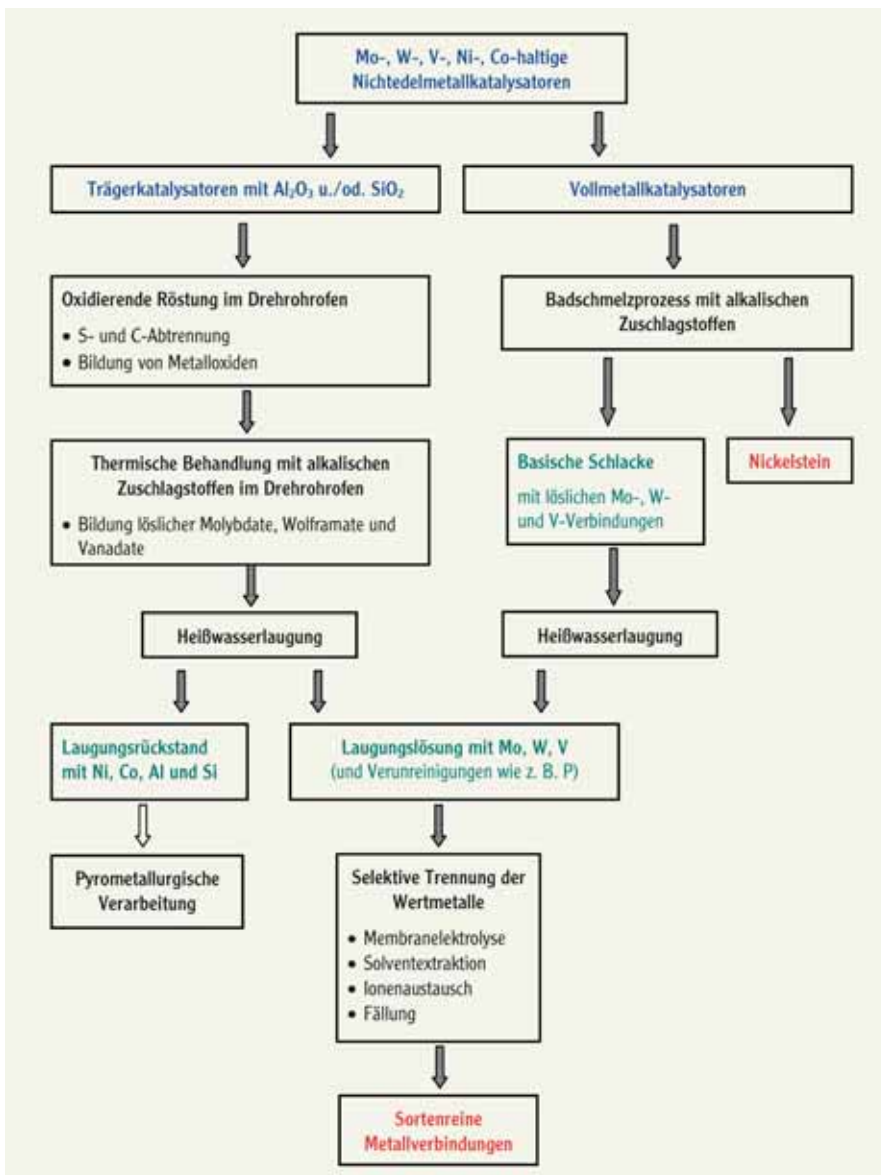


Abb. 1: Verfahrensschritte zur Aufbereitung komplex zusammengesetzter Nichtedelmetallkatalysatoren



Abb. 2: Abstich am ISA-Smelt-Ofen des Instituts für NE-Metallurgie und Reinstoffe

Hilfe einer im Projekt neu entwickelten Membranelektrolyse, bei der Kathoden- und Anodenraum durch eine Anionenaustauschermembran getrennt sind, gelingt die Abtrennung des Vanadiums und des störenden Phosphors von Molybdän und Wolfram. An diese schließt sich eine Solventextraktion zur Trennung von Molybdän und Wolfram an. Durch die Gewinnung der Wertmetalle als bereits verkaufsfähige Metallverbindungen werden im Vergleich zu den Erträgen aus reinen Metallen höhere Erlöse erzielt.

Mit den neu entwickelten Verfahren wurden die Voraussetzungen zur Rückgewinnung von Molybdän, Wolfram, Vanadium, Nickel und Cobalt aus komplex zusammengesetzten Sekundärrohstoffen im technischen Maßstab geschaffen. Einzelne Stufen dieser Verfahren wurden bereits im technischen Maßstab realisiert.

Hybride Lithiumgewinnung

Mit dem Einsatz von Lithiumionenakkumulatoren in Kraftfahrzeugen sind ein stark steigender Bedarf an Lithium und ein umfangreicher Anfall von verbrauchten Akkumulatoren zu erwarten. Als Rohstoffquelle für die Lithiumgewinnung dienen bis heute fast ausschließlich lithiumhaltige Salzseen. In den letzten Jahren erfolgten verstärkt Untersuchungen zur Gewinnung von Lithium aus Glimmern [5–9]. Im Rahmen eines Verbundprojekts werden Verfahren entwickelt, mit denen in ein und demselben Prozess Lithiumverbindungen sowohl aus dem einheimischen Primärrohstoff Zinnwaldit als auch aus verbrauchten Lithiumakkumulatoren gewonnen werden können. Ausgangsmaterialien für die Untersuchungen am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe waren deshalb ein Zinnwalditkonzentrat mit ca. 1,5% Lithium, das am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik durch mechanische Zerkleinerung und anschließende Magnetscheidung gewonnen wurde, und ein von der UVR-FIA GmbH zerkleinerter und pyrolysierter Akkusrott, der neben Lithium vor allem hohe Cobaltgehalte aufwies.

Abb. 3 zeigt ein Fließbild für das entwickelte Verfahren. Das Zinnwalditkonzentrat wird bei ca. 800 °C unter Zugabe von Salzen thermisch behandelt, wodurch die Glimmerstruktur zerstört und die resultierenden Lithiumverbindungen wasserlöslich werden, sodass sie sich anschließend aus dem thermisch behandelten Material mit kaltem Wasser laugen lassen. In einem umfangreichen Versuchsprogramm wurden die Parameter für den thermischen Prozess (z.B. Korngröße des Ausgangsmaterials, Art und Menge der Zuschlagstoffe, Temperatur, Zeit), für die Laugung (z.B. Feststoff-Flüssig-Verhältnis, Laugungsdauer, Temperatur) und für die anschließenden Waschprozesse des unlöslichen Rückstands optimiert. So können Lithiumausbeuten von über 90% erzielt werden.

Die alternativen Routen der Lithiumrückgewinnung aus dem pyrolysierten lithiumhaltigen Akkusrott werden in Abb. 3 dargestellt. Die Route mit dem größten Potenzial basiert auf einer gemeinsamen Verarbeitung der pyrolysierten Akkus und des Zinnwalditkonzentrats. Dieser hybride Ansatz erlaubt variable Zugabemengen der Primär- und Sekundärrohstoffe. Die Untersuchungen zeigen, dass auch bei gleichzeitigem

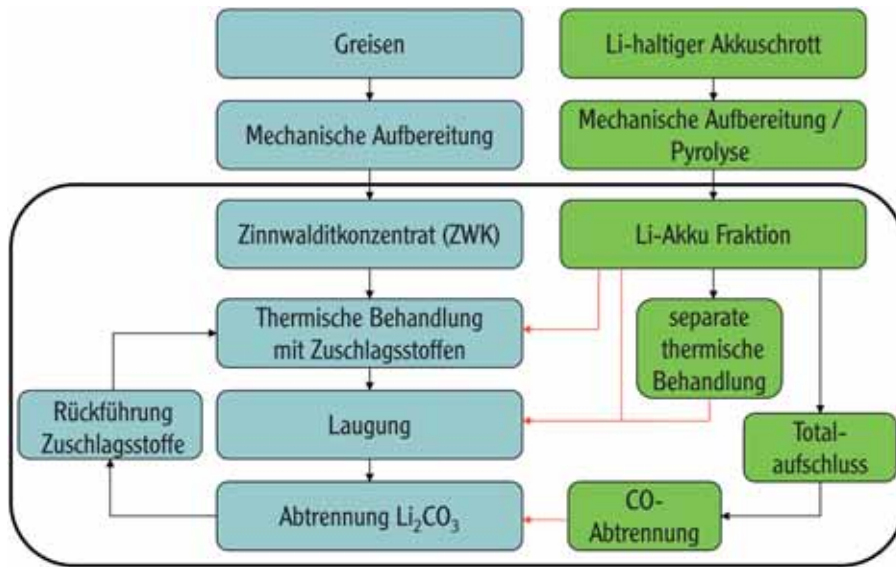


Abb. 3: Verfahren zur Gewinnung von Lithium aus Zinnwaldit und Akkumulatorenrott

Einsatz von Zinnwalditkonzentrat und Akkusrott im thermischen Prozess mit nachfolgender Laugung Lithiumausbeuten von über 90% erreicht werden können. Ein Nachteil dieses Prozesses ist jedoch, dass Cobalt im Laugungsrückstand verbleibt und hieraus nur mit relativ hohem Aufwand gewonnen werden kann. Deshalb werden am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe derzeit für lithium- und cobaltreiche Akkumulatorfraktionen potenzielle Prozessrouten für die optimale Gewinnung beider Wertmetalle untersucht. Außerdem laufen noch Versuche zur Abtrennung des Lithiums aus den Prozesslösungen und zur Prüfung des Problems, ob eine Rückführung der Zuschlagstoffe aus den Laugungslösungen in den thermischen Prozess möglich ist.

Entwicklung von Elektrodenwerkstoffen für Metallgewinnungselektrolysen und für chemische Prozesse

Für Elektrolysen zur Metallgewinnung aus schwefelsauren Elektrolyten werden Bleilegierungen als Anodenwerkstoff eingesetzt. Allgemein werden an Bleilegierungsanoden für technische Gewinnungselektrolysen folgende Anforderungen gestellt:

- gute Korrosionsbeständigkeit und damit hohe Lebensdauer,
 - niedrige Sauerstoffüberspannung zur Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs,
 - ausreichende mechanische Festigkeit,
 - geringe Kosten für die Legierungselemente und die Anodenherstellung.
- Bis heute werden in der Zinkgewinnungselektrolyse nahezu ausschließlich PbAg-Legierungen eingesetzt. Silber wirkt dabei depolarisierend auf die anodische Sauerstoffabscheidung, wodurch der spezifische Energieverbrauch der Elektrolyse sinkt. Außerdem führt der Silbergehalt der Anode zur Verringerung der Korrosionsrate und damit zu einer längeren Lebensdauer der Anoden. Aus Kostengründen wurde in der Vergangenheit der Silbergehalt in den Anoden von 1,0 auf ca. 0,65% reduziert. Niedrigere Silbergehalte führen jedoch zu einem Anstieg des Anodenpotenzials und zu höheren Korrosionsraten [10]. Untersuchungen am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe ergaben, dass die Eigenschaften der Anoden nicht nur von der chemischen Zusammensetzung, sondern auch wesentlich von deren Gefüge abhängen [11]. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen konnten die Prozessparameter bei der Anodenherstellung so optimiert werden, dass eine weitere Senkung des Silbergehalts bei gleichen oder sogar besseren chemischen und elektrochemischen Eigenschaften der Anoden möglich ist [12].

Neben den klassischen Anodenlegierungen PbAg und PbSnCa wurden vom Institut auch solche wie PbRh, PbAgIn, PbAgSn, PbCo erzeugt und in Metallgewinnungselektrolysen eingesetzt [13, 14]. Mit diesen Anoden ist eine deutliche Senkung der Sauerstoffüberspannung und/oder eine Verringerung der Korrosion möglich. Gegen ihren technischen Einsatz sprechen allerdings die teilweise sehr hohen Preise der Legierungselemente. Gleich gute Anodeneigenschaften kann man aber auch durch einen elektrochemischen Einbau von Rhodium bzw. Cobalt in die Anodendeckschicht erreichen und damit die notwendige Menge an teuren Metallen deutlich reduzieren [15]. Eine technische Erprobung dieser Anoden steht noch aus.

Zusammenfassend bringt der Einsatz neuer Anodenwerkstoffe in den Metallgewinnungselektrolysen folgende Vorteile:

- Verbesserung des Korrosionsverhaltens und damit Verlängerung der Lebensdauer der Anoden und Reduzierung des Materialeinsatzes. Durch die geringere Anodenkorrosion erhöht sich auch die chemische Reinheit der erzeugten Metalle.
- Senkung der Sauerstoffüberspannung um 100 bis 200 mV. Bei der Kupfer- bzw. Zinkgewinnungselektrolyse führt eine Senkung der Sauerstoffüberspannung um 100 mV zu einer Verringerung des spezifischen Energiebedarfs um ca. 100 kWh pro Tonne erzeugtes Metall.
- Reduzierung der Mengen an teuren Legierungselementen

Züchtung von multikristallinen Si-Kristallen für die Photovoltaik

Multikristallines Silizium (mc-Si) ist nach wie vor eines der wichtigsten Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Solarzellen, weil es sich durch gerichtete Kristallisation vergleichsweise kostengünstig herstellen lässt [16]. Im Sinne einer ressourceneffizienten Materialerzeugung für die Photovoltaik gewinnen die Verbesserung der Kristallqualität und Prozessausbeute bei weiterer Kostenreduktion zunehmend an Bedeutung. Speziell für die in Deutschland ansässigen Unternehmen der Solarindustrie geht es dabei letztlich um die Etablierung bzw. Aufrechterhaltung eines Qualitäts- und Technologievorsprungs, um dem massiven Wettbewerbsdruck auf den Weltmärkten erfolgreich begegnen zu können.

Bei der Material- und Prozessoptimierung steht die Kontrolle bzw. Reduzierung der Kristalldefekte im Mittelpunkt des Interesses, weil diese Defekte die Ladungsträgerlebensdauer verringern und sich somit negativ auf den Wirkungsgrad der Solarzellen auswirken. Ein erfolgreiches „Defektengineering“ setzt ein grundlegendes Verständnis der beim Züchtungsprozess ablaufenden Defektbildungsvorgänge voraus.

Die Arbeitsgruppe Halbleiterwerkstoffe des Instituts für NE-Metallurgie

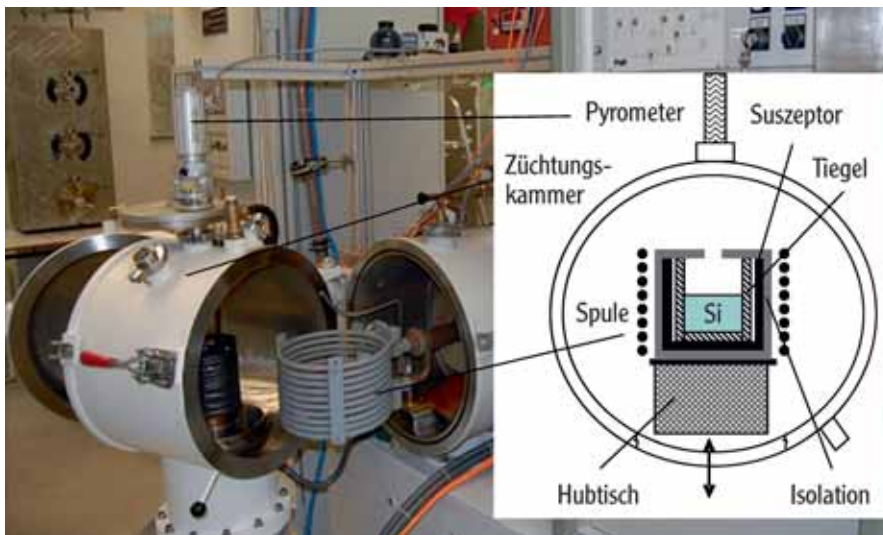


Abb. 4: Hochvakuum-Induktionsanlage zur Züchtung von mc-Si-Kristallen mit Skizze zu den Details der Züchtungsanordnung

und Reinststoffe beschäftigt sich in mehreren Forschungsprojekten mit dieser Thematik. Im Rahmen der sächsischen Landesexzellenzinitiative (ADDE) wird in einem aktuellen Arbeitsschwerpunkt die Wechselwirkung zwischen Korngrenzen, Versetzungen und Präzipitaten, die prozessbedingt zu den dominierenden Kristalldefekten im mc-Si gehören, untersucht.

Die Züchtung von mc-Si-Kristallen mit Durchmessern bis zu 105 mm erfolgt durch gerichtete Kristallisation nach dem vertikalen Bridgman-Verfahren in dem in Abb. 4 gezeigten Hochvakuum-Induktionsofen. Dabei werden zunächst hochreine polykristalline Si-Stücke, der sog. Si-Polybruch, in einem aus Quarzkeramik gefertigten und mit Si₃N₄ beschichteten Tiegel induktiv geschmolzen. Nach dem Homogenisieren der Schmelze wird die Kristallisation durch Absenken des Tiegels mit konstanter Geschwindigkeit eingeleitet, sodass sich die Phasengrenze – ausgehend vom Tiegelboden – in vertikaler Richtung verschiebt.

Wesentliche Komponenten der Ofeneinbauten sind neben dem Schmelztiegel der Suszeptor aus Reinstgraphit zur Einkopplung der Wärme und die Graphitweichfilzisolierung zur Vermeidung von Strahlungsverlusten.

Die Wechselwirkungen zwischen Versetzungen, Korngrenzen und Präzipitaten in massiven mc-Si-Kristallen wurden eingehend untersucht. Als Quellen von Versetzungen bzw. Versetzungsclustern wurden SiC-Präzipitate identifiziert [17] (Abb. 5). Diese entstehen aufgrund der Verwendung von Graphitkomponenten im Ofen, die eine CO-haltige Atmosphäre

in der Züchtungskammer verursachen. Dies hat den Eintrag von Kohlenstoff über die freie Oberfläche in die Si-Schmelze zur Folge [18].

Außerdem wurde festgestellt, dass Versetzungsgleitprozesse über Korngrenzen hinweg sehr stark von den Orientierungsbeziehungen zwischen den benachbarten Körnern abhängen, sodass die Anordnung von Versetzungsclustern im Kristall auch durch die Existenz unterschiedlicher Korngrenztypen signifikant beeinflusst wird [19]. Damit liefern die Arbeiten wichtige Erkenntnisse für die gezielte Beeinflussung und Optimierung der Mikrostruktur von mc-Silizium im Hinblick auf eine Verringerung der Versetzungsdichte bei möglichst homogener Verteilung der Versetzungen im Material.

Literatur

- 1 Stelter, M., Morgenstern, G., Beimel, B., Zeidler, O.: Abtrennung von Zinn beim Recycling von Bleiakumulatoren, Chemie-Ingenieur-Technik, eingereicht.
- 2 Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Schlussbericht im Auftrag des BMWI, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Fraunhofer ISI, 2009.
- 3 Scheel, M., Stelter, M.: Recycling von refraktärmetallhaltigen Sekundärrohstoffen, Schriftenreihe der GDMB Heft 121 "Sondermetalle und Edelmetalle", 2010, 103-116.
- 4 Niederschlag, E., Plebow, K., Stelter, M., Günther, N., Carluß, V.: Recycling of spent catalysts, Proceedings EMC 2007 Düsseldorf, Vol. 2, 731-740.
- 5 Jandová, J., Vu, H. N., Belkova, T., Dvorak, P., Kondas, J.: Obtaining Li₂CO₃ from Zinnwaldite wastes. Ceramics, Silikaty 53 (2), 2009, 108-112.
- 6 Jandová, J., Vu, H. N., Dvorak, P.: Processing of zinnwaldite waste to obtain Li₂CO₃, Hydrometallurgy 103, 2010, 12-18.

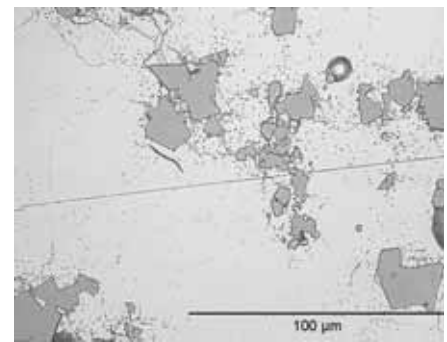


Abb. 5: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Si-Probe zur Illustration der Korrelation zwischen SiC-Präzipitaten und Versetzungen [aus 17].

- 7 Li, X., Yan, Q., Yin, Z., Wang, Z., Guo, H., Peng, W., Hu., Q.: A novel process for extracting lithium from lepidolite, Hydrometallurgy 121-124, 2012, 54-59.
- 8 Pasecoe, R. D., Siame, E.: Extraction of lithium micaceous waste from china clay production, Minerals Engineering 24, 2011, 1595-1602.
- 9 Sitando, O., Crouse, P. L.: Processing of a Zimbabwean petalite to obtain lithium carbonate, International Journal of Mineral Processing 102-103, 2012, 45-50.
- 10 Umetsu, Y., Nozaka, H., Tozawa, K.: Anodic behaviour of the Pb-Ag alloys in sulfuric acid solution. Mining and Metallurgical Inst. of Japan (Tokyo), Zinc 85, Vol. 1, 1985, 265-279.
- 11 [11] Stelter, M., Bombach, H., Saltykov, P., Eulitz, I.: Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit auf das Gefüge und das Korrosionsverhalten von PbAg-Legierungen, Praktische Metallographie 45, 6, 2008, 298-302.
- 12 [12] Stelter, M., Bombach, H., Saltykov, P.: Corrosion Behavior of Lead Alloy Anodes in Metall Winning, in: Advanced Processing of Metals and Materials, Proceedings of the International Symposium, San Diego 2006, 451-462.
- 13 Stelter, M., Bombach, H., Saltykov, P.: Einsatz von Bleilegierungsanoden in Metallgewinnungselektrolysen, BHM, 150, 2005, 1-5.
- 14 Timur, S.: Einfluss von Co, Rh, und Pd auf die Sauerstoffdepolarisation an elektrochemisch beschichteten Bleianoden, Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 1996.
- 15 Bauer, I.: Der Einfluss von Rhodium auf die Sauerstoffdepolarisation an elektrochemische beschichteten Bleianoden, Pb-Rh-Legierungen und gesputterten Schichten, Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2001.
- 16 6th Report on Solar Generation: Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World, EPIA Publications 2011.
- 17 Schmid, E., Würzner, S., Funke, C., Galindo, V., Pätzold, O., Stelter, M.: Effect of growth rate on the microstructure of multi-crystalline silicon. J. Cryst. Growth, eingereicht.
- 18 Raabe, L., Pätzold, O., Kupka, I., Ehrig, J., Würzner, S., Stelter, M.: The effect of graphite components and crucible coating on the behaviour of carbon and oxygen in multi-crystalline silicon. J. Cryst. Growth, 318, 2011, 234-238.
- 19 Schmid, E., Würzner, S., Funke, C., Behm, T., Helbig, R., Pätzold, O., Berek, H., Stelter, M.: The correlation between spacial alignment of dislocations, grain orientation, and grain boundaries in multi-crystalline silicon. Cryst. Res. Technol. 47, 2012, 229-236.

Steuerung von Eigenschaften in Magnesiumbändern durch neuartige Umformtechnologien

Christian Schmidt¹, Rudolf Kawalla

Magnesium als leichtestes Konstruktionsmetall entwickelt sich in vielen Bereichen zum Metall der Zukunft. Magnesiumbleche stellen vor allem im Bereich des Fahrzeugbaus einen entscheidenden Entwicklungsschritt im fortwährenden Streben nach Masseinsparung zur nachhaltigen und ressourcenschonenden Sicherung der Mobilität dar [1]. Neben Anwendungen in der Automobilindustrie (Abb. 1) eröffnen sich auch weitere vielfältige Absatzmärkte für Magnesiumflachprodukte. Abgesehen vom Einsatz in der Flugzeugindustrie (Strukturbauteile, Innenverkleidung, Sitzelemente) gilt dies insbesondere für bewegte Güter

Auf dem Weg zur industriellen Einführung und Anwendung von Magnesiumblechen stand in der Vergangenheit jedoch eine Vielzahl von Herausforderungen, die bis auf wenige Probleme gemeistert werden konnten. Dennoch bleibt der Anteil der Knetlegierungen, gemessen an der jährlichen Magnesiumproduktion, gering. Die Gründe hierfür sind verschiedener Natur. Einerseits ist die Verfügbarkeit der Bleche oder Bänder in noch nicht ausreichendem Umfang gegeben. Andererseits gibt es ökonomische und materialspezifische Besonderheiten, die ihre Anwendung zurzeit behindern. Eine ökonomische Hürde ist mit der Er-

im Wesentlichen auf seine hexagonale Kristallstruktur zurückzuführen. Zudem besitzen Magnesiumbleche eine unerwünschte Zug-Druck-Anisotropie der Fließspannung in der Blechebene. Die Ursache für beide Problemstellungen liegt in der Ausbildung einer Basaltstruktur während des Walzens, bei der sich die bei Raumtemperatur leicht aktivierbaren basalen Gleitsysteme parallel zur Blechebene anordnen und somit aufgrund ihres sehr geringen Schmid-Faktors kaum für die Versetzungsgleitung, d. h. für die Umformung, zur Verfügung stehen. Die Herstellung und Weiterverarbeitung von Magnesiumblechen zu komplexen Komponenten ist daher nur bei Temperaturen oberhalb von 225 °C möglich. Aus diesen materialspezifischen Eigenschaften erwächst im Vergleich zu konkurrierenden Leichtbauwerkstoffen ein ökonomischer Nachteil, der auch



Ole Kröger / Racetech Racing Team

Abb. 1: Anwendungspotenzial von Magnesiumflachprodukten: Elektrossenwagen RT06 des Racetech Racing Teams der TU Bergakademie – gebaut mit Magnesiumblech

im Transportgewerbe (Frachtcontainer, Aufzüge, Anhänger, Koffer). Ein breiter und schnell erschließbarer Absatzmarkt für Magnesiumblechanwendungen findet sich zudem in der Sparte der transportablen Elektronikgüter (Mobiltelefone, Laptops, Taschenrechner, Monitore).

¹ Kontakt: TU Bergakademie Freiberg
Institut für Metallformung
Dr.-Ing. Christian Schmidt
Bernhard-von-Cotta-Straße 4
09599 Freiberg

schließung des Gießwalzverfahrens für Magnesium, das auch maßgeblich an der TU Bergakademie Freiberg (Institut für Metallformung) entwickelt worden ist, überwunden. Werkstoffspezifische Herausforderungen wie die eingeschränkte Kaltumformbarkeit und die Ausbildung einer Basaltstruktur beim Walzen von Blechen sind indes weiterhin Gegenstand intensiver Forschungsanstrengungen.

Das begrenzte Umformvermögen des Magnesiums bei Raumtemperatur ist

durch die dichtebezogenen Vorteile nicht vollständig kompensiert werden kann. Für die schnelle und kostengünstige Fertigung von komplexen Bauteilen wie beispielsweise Fahrzeugkarosserieteilen sind hohe Stückzahlen erforderlich, für die sich die notwendige Warmumformung des Magnesiums auch aus energetischen Gründen nicht anbietet.

Ziel einer innovativen Blech- und Bandherstellungstechnologie muss es daher sein, Magnesiumbleche zu erzeugen

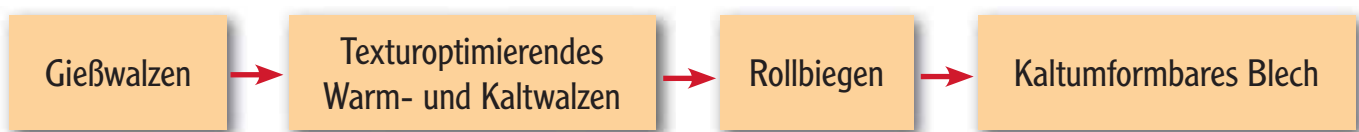


Abb. 2: Prozesskette zur Herstellung von kaltumformbarem Magnesiumblech

gen, die ein hohes Umformvermögen bei Raumtemperatur besitzen, d. h. eine große Dehnung bei gleichzeitig guten Festigkeitseigenschaften. Diese werkstoffwissenschaftliche Herausforderung war Kern einer am Institut für Metallformung erarbeiteten Dissertation [2]. Hierbei standen sowohl die aufgabenspezifische Entwicklung eines Walzprozesses als auch die Entwicklung neuartiger Behandlungsverfahren im Vordergrund. Wichtigster Ansatzpunkt bei der Umsetzung der angestrebten Verbesserung des Kaltumformvermögens war hierbei die Reduzierung der beim Walzen entstehenden Basaltextrur im Blech oder gar deren vollständiger Abbau.

Relevante Grundlagenuntersuchungen [3–5] zeigten, dass die ungünstige basale Kristallorientierung in Magnesiumblechen als Folge des Umformprozesses (z. B. Walzen) prinzipiell zunächst nicht zu vermeiden ist und auch durch eine Wärmebehandlung kaum in ihrem Charakter geändert werden kann. Zudem wurde erkannt, dass aufgrund der zunehmenden Aktivität von nichtbasalen Gleitsystemen ein Walzen oberhalb von 350 °C zumindest zu einer leicht verringerten Intensität der unerwünschten Textur führt. Erfolgt der Walzprozess im Bereich der Kaltumformung, kommen Mechanismen zum Tragen, die – wie beschrieben – die generelle Umformbarkeit von Magnesium erheblich erschweren. Unter speziellen Randbedingungen konnten dennoch Effekte erzeugt werden, die durch eine geringe, definierte Kaltwalzung zu einer spürbaren Verringerung der Basaltextrur führen können [5, 6]. Aus der Kombination dieser Erkenntnisse leitete sich eine texturoptimierende Walztechnologie ab, die ökonomische Anforderungen an einen industriellen Prozess mit den material- und texturspezifischen Zielen verbindet. Diese Technologie umfasst zunächst ein Warmwalzen oberhalb von 400 °C zur schnellen Blechdickenreduktion bei resultierender niedriger Basaltextrurintensität, kombiniert mit einem speziellen finalen Kaltwalzstich mit Wärmebehandlung, der eine deutlichen Reduzierung der Basaltextrur nach sich zieht (Abb. 2).

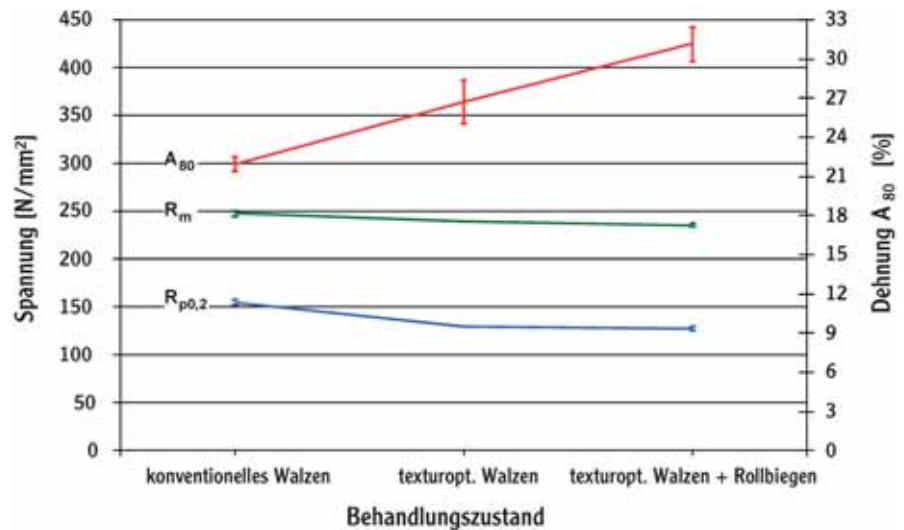


Abb. 3: Entwicklung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Behandlungszustand

Die in diesem Zusammenhang allein durch die Modifikation des Walzprozesses hervorgerufene beachtliche Erhöhung der Kaltumformbarkeit bei konstant bleibenden Festigkeitswerten bestätigt die vorteilhafte Wirkung der veränderten Kristallorientierung (Abb. 3 [2]).

Um das Ziel einer vollständigen Auflösung der nachteilbehafteten Basaltextrur, verbunden mit einer weiteren Erhöhung des Kaltumformvermögens zu erreichen, war es unerlässlich, zusätzliche neuartige Behandlungsmethoden zu entwickeln, deren Wirkung über das bis dahin erreichte Maß hinausging.

Ein Lösungsansatz offenbarte sich bei der Betrachtung der metallphysikalischen Ursachen für die basaltextrurtypische unerwünschte Zug-Druck-Anisotropie in der Blechebene. Die vor allem unter Druckspannung in der Blechebene ausgelöste mechanische Zwillingsbildung war in diesem Fall der Schlüssel zum Erfolg. Zur Nutzung dieses Effekts wurde das Verfahren des Rollbiegens entwickelt. Hierbei erfährt das Band eine entscheidende mikrostrukturelle Beeinflussung, in seiner äußeren Gestalt bleibt es hingegen unverändert. Ein speziell mit diesem Verfahren entwickeltes Prozessparameterfenster stellt dabei den Zusammenhang zwischen der jeweils zu behandelnden Blechdicke und den dazu passenden notwendigen geometrischen Anlagenparametern her [2]. Sehr ein-

fach und anschaulich können dadurch im späteren Produktionsprozess die notwendigen Parameter ausgewählt und eingestellt werden. Die mit diesem Verfahren behandelten Bleche zeigten nach dem Durchlaufen des neuartigen Prozesses eine signifikante innere Orientierungsänderung. In einem großen Volumenanteil des Bandes konnte die Basaltextrur nunmehr vollständig abgebaut werden. Das Kaltumformvermögen erhöht sich dadurch in besonderem Maße.

Die Kombination der texturoptimierenden Walzstrategie mit der entwickelten Bandnachbehandlung (Rollbiegen) führt als kumulativ wirkendes Verfahren in der neu entwickelten Prozesskette (Abb. 2) zu einer bemerkenswerten Verbesserung der Kaltumformbarkeit bei nahezu gleichbleibenden Materialfestigkeiten (Abb. 3) [2]. Hierdurch wird die Fertigung von komplexen Magnesiumflächprodukten im kalten Zustand, vor allem ohne die Zugabe von teuren Legierungselementen wie Seltenen Erden oder Lithium, möglich.

Eine kosten- und energieintensive Warmumformung zur Herstellung von Produkten aus Magnesiumblech und -band kann somit in der Zukunft vermieden und die Wettbewerbsfähigkeit von Magnesiumflächprodukten gegenüber konkurrierenden Leichtbaumaterialien deutlich gestärkt werden. Die Ergebnisse geben Anlass zur Hoffnung, dass mit

Hilfe dieser neu entwickelten Technologie eine weitere Hürde auf dem Weg zur großindustriellen Anwendung von Magnesiumband und -blech überwunden werden kann. Auf Grundlage der anwendungsfokussierten Forschung an der TU Bergakademie Freiberg in enger Zusammenarbeit mit industriellen Partnern konnte dieser Herstellungsprozess für Magnesiumbleche bereits zum Patent angemeldet werden.

Literatur

- 1 United States Automotive Materials Partnership (USCAR): Magnesium Vision 2020. Southfield Michigan, 2006.
- 2 Schmidt, C.: Textur- und Gefügeentwicklung bei der Umformung von Magnesium-Gießwalzband. TU Bergakademie Freiberg, Diss., 2012.
- 3 Schmidt, C.; Kawalla, R.; Walde, T.; Riedel, H.; Prakash, A.; Poizat, C.: Experimental and Numerical Investigation of Texture Development during Hot Rolling of Magnesium Alloy AZ31. Materials Science Forum Vols. 539-543 (2007), S. 3448-3453.

- 4 Perez-Prado, M. T.; Ruano, O. A.: Texture evolution during annealing of magnesium AZ31 alloy. Scripta Materialia, 46 (2002), S. 149-155.
- 5 Prakash, A.; Schmidt, C.; Riedel, H.; Kawalla, R.: Experimental and Numerical Investigation of the Activation of Pyramidal Slip during Deformation of Cast-Rolled Magnesium Alloy AZ31. Magnesium, Weinheim: Wiley-VCH, 2010, S. 1276-1281.
- 6 Schmidt, C.; Kawalla, R.: Influence of Rolling Temperature on Texture and Microstructure Development of Twin-Roll-Cast Magnesium AZ31. Steel Research International, Vol. 91, No. 9, special edition 2010, S. 1239-1242.

Der Elektronenstrahl zeigt Wirkung

Rolf Zenker¹, Anja Buchwalder²

Einleitung

Am Institut für Werkstofftechnik (IWT) der TU Bergakademie Freiberg wird seit 25 Jahren auf dem Gebiet der thermischen Elektronenstrahl(EB)-Technologien geforscht. In diesem Zeitraum wurden eine Vielzahl von Beiträgen zur Grundlagenforschung erarbeitet und technologische Neu- und Weiterentwicklungen bis hin zur industriellen Serienreife kreiert [1, 2 u.a.]. Thermische EB-Technologien sind für den Einsatz in vielen Bereichen der metallverarbeitenden Industrie, im Fahrzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt, im Maschinenbau sowie in Metallurgie, Energietechnik, Bergbau u. a. geeignet.

Basierend auf der nahezu trägheitslosen Form- und Ablenkbarkeit des Elektronenstrahls wurden in den letzten Jahren neue Strahlführungstechniken entwickelt, die es gestatten, die Energieübertragung innerhalb eines Ablenkkfelds nahezu beliebig an die Bauteilkontur anzupassen bzw. gezielt bestimmte lokale Temperatur-Zeit-Regimes zu realisieren.

Die erst jetzt in ihrer Vielfalt und Flexibilität verfügbaren EB-Mehrspot-Techniken und EB-Mehrprozess-Technologien [3, 4], zu deren Entwicklung die Wissenschaftler des IWT wesentliche Beiträge geleistet haben, eröffnen der Anwendung des Elektronenstrahls völlig neue Perspektiven und schaffen ihm Alleinstellungsmerkmale, die mit anderen vergleichbaren Energiequellen (z. B. Laserstrahl) nicht oder nur mit immensem technischen und/oder wirtschaftlichen Aufwand zu realisieren sind.



EB-GENERATOR

- Beschleunigungsspannung 60/80 kV
- Strahlleistung ≤ 15 kW
- Ablenkfrequenz ≤ 100 kHz
- max. Ablenkkfeld 20 × 20 cm²

ARBEITSKAMMER

- Volumen 2,6 m³
- Arbeitsdruck ≤ 2·10⁻³ mbar
- mechanische Achsen 4 (5)
- CCD-Kamera 150...1.200°C
- Pyrometer

Abb. 1: EB-Anlage und technische Parameter

Strahlführungstechnik, Anlagentechnik

Eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierung der Mehrspot-Technik und Mehrprozess-Technologien ist eine Anlagentechnik mit schneller 3D-Strahl-ablenkung. Das IWT verfügt seit 2009 über eine der modernsten Elektronenstrahl-anlagen für thermische Prozesse weltweit. *Abb.1* zeigt diese Kammeranlage vom Typ K26-15/80 sowie einige wichtige Anlagenparameter.

Diese Universalanlage ist für alle thermischen EB-Technologien nutzbar (*Abb. 2a*). Die Vielfalt der strahlführungstechnischen Möglichkeiten wird aus *Abb. 2b* deutlich.

Im Fall der CI-(Continuous Interaction-)Technik bewegen sich EB und/oder Bauteil während der Strahleinwirkung relativ zueinander. Die Flash-Technik ist dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil während der EB-Einwirkung fest unter dem Strahlaustritt positioniert ist [1].

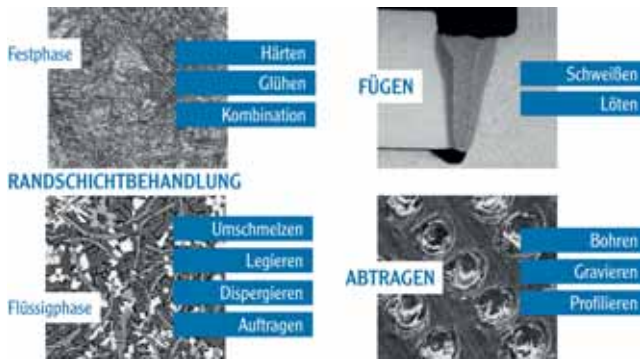
Auf Grund der geringen Masse der

Elektronen können diese innerhalb eines vorgegebenen Ablenkkfelds (z. B. 200 × 200 mm) mit Hilfe elektromagnetischer Felder mit hoher Frequenz (bis zu 100 kHz) gesteuert abgelenkt werden. Dadurch kann ein einziger Strahl quasi gleichzeitig an mehreren Orten einwirken. Durch das sehr rasche Springen des EB von Spot zu Spot entsteht eine Art stehendes Bild in Form eines lateralen Ablenkmusters.

Bei Nutzung der EB-Mehrspot-Technik führt der Strahl an allen Einwirkorten den gleichen Prozess aus, das heißt z. B. Mehrspot-Schweißen oder -Gravieren. Im Fall von Mehrprozess-Technologien werden an den verschiedenen Einwirkorten unterschiedliche Wechselwirkungsprozesse des EB mit dem Material ausgeführt, beispielsweise Vorwärmung/Schweißen/Glätten. Von den zahlreichen in *Abb. 2b* exemplarisch aufgezeigten Strahlführungsvarianten sind bisher nur einige wenige erfolgreich zur Applikationsreife gelangt. Vielfach sind

1 Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Zenker
zenker@ww.tu-freiberg.de
2 Dr.-Ing. Anja Buchwalder
anja.buchwalder@ww.tu-freiberg.de

a) THERMISCHE EB-TECHNOLOGIEN



b) SCHNELLE STRAHLENLENKUNG (≤ 100 kHz)

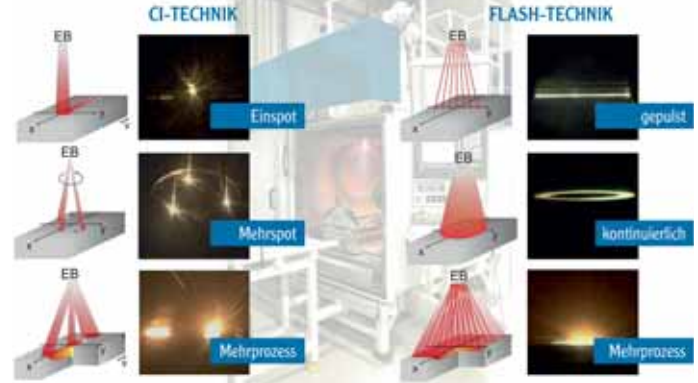


Abb. 2: a) Thermische EB-Technologien und b) Möglichkeiten der EB-Strahlführungstechnik (exemplarisch)

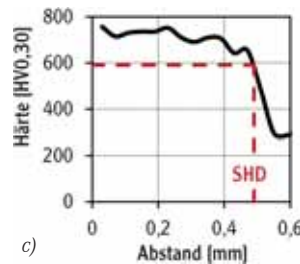
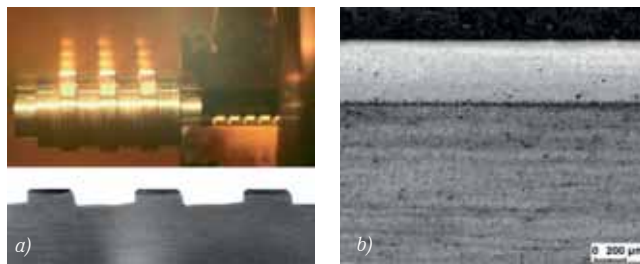


Abb. 3: EB-Mehrfeldhärten einer Stegwelle (51CrV4) [1, 5].
 a) EB-Mehrfeldtechnik und EBH-Ergebnis (Querschliff).
 b) EBH-Schicht.
 c) Härte-Tiefen-Verlauf mit Einhärtungstiefe (SHD)

noch grundlegende Wirkmechanismen, insbesondere die Wechselwirkung EB/ Material, physikalische und thermische Prozessabläufe und werkstoffspezifische Zusammenhänge bezüglich der Auswirkungen der orts- und zeitabhängigen Hochgeschwindigkeitsprozesse nicht hinreichend erforscht.

Thermische EB-Technologien Randschichtbehandlung

Das EB-Härten ist die am häufigsten und am längsten eingesetzte EB-Randschicht-Technologie. Eine aktuelle Lösung in Verbindung mit der EB-Mehrfeld-Technik wurde 2011 am IWT entwickelt und wird seit 2011/12 industriell genutzt. Drei Stegbereiche einer Stahlwelle werden mittels EB gleichzeitig in einem Umlauf (CI-Technik) bis in eine Tiefe von 0,6...0,8 mm gehärtet (Abb. 3). Diese äußerst präzise und energieeffiziente Lösung (lokal exakt begrenzter minimaler Energieeintrag) ist wegen der kurzen Behandlungszeit ($\leq 4,5$ s) auch sehr wirtschaftlich umsetzbar. Es treten keine unzulässigen Maß- und Formänderungen auf. Die erzielten Eigenschaftsänderungen (Härte, Verschleiß) führen darüber hinaus noch zu einer deutlichen Erhöhung der Lebensdauer des Bauteils.

Bei der EB-Flüssigphasen-Randschichtbehandlung wird der Werkstoff lokal rasch (10^3 bis 10^4 Ks⁻¹) bis in eine bestimmte Tiefe aufgeschmolzen und nach

Beendigung der EB-Einwirkung durch Selbstabschreckung sehr schnell abgekühlt. In Verbindung mit vorher oder während der EB-Einwirkung deponierten Zusatzstoffen kann diese Randschicht zusätzlich legiert und/oder dispergiert werden. Auch auf diesem Gebiet haben Wissenschaftler des IWT internationale beachtete Lösungen für EB-Mehrprozess-technologien als hochproduktive einstufige Prozesse entwickelt.

Durch eine technologische Kette Vorwärmen/Verdichten – Umschmelzlegieren (EBUL) – Nachwärmen/Homogenisieren (Abb. 4a) in einem Prozessdurchlauf wurden für Al-Werkstoffe mit Cu-, Ni- oder Co-basierten Zusatzstoffen erhebliche Härtesteigerungen (2–3-fache) und Verbesserungen des Verschleißwiderstands bis zum 4-fachen erreicht (Abb. 4b, c) [6, 7].

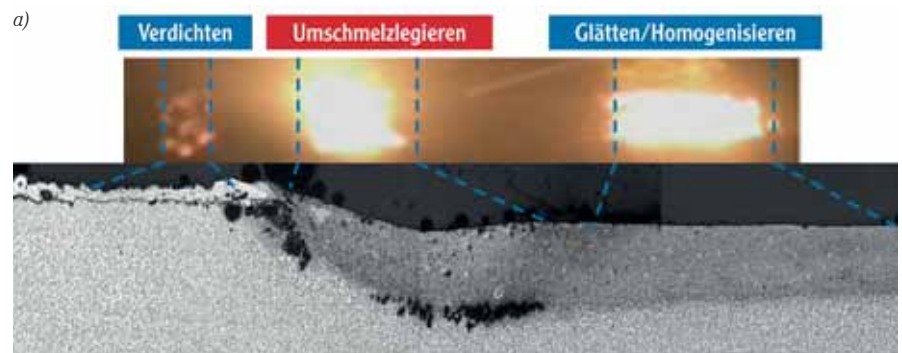
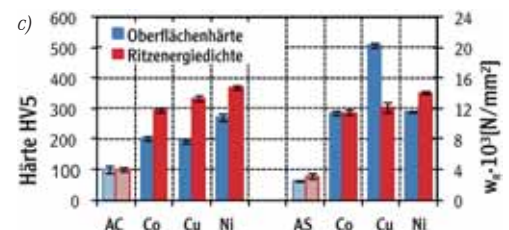
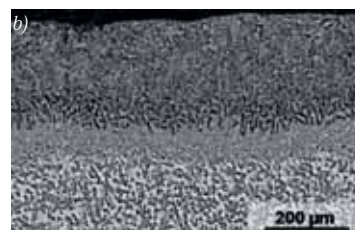


Abb. 4: Prinzip und Behandlungsergebnisse zum EBUL mit Co-, Cu-, Ni-Basis-Zusatzstoffen mittels EB-Mehrprozess-technik [6, 7] auf den Substratwerkstoffen AlSi10Mg (AC) und AlSi35 (AS).

a) Momentaufnahme einer 3-Prozesstechnologie.



b) EBUL-Schichtausbildung (Querschliff). c) Vergleich der Härte, Verschleißigenschaften ohne (AC, AS) und mit EBUL (Co, Cu, Ni)

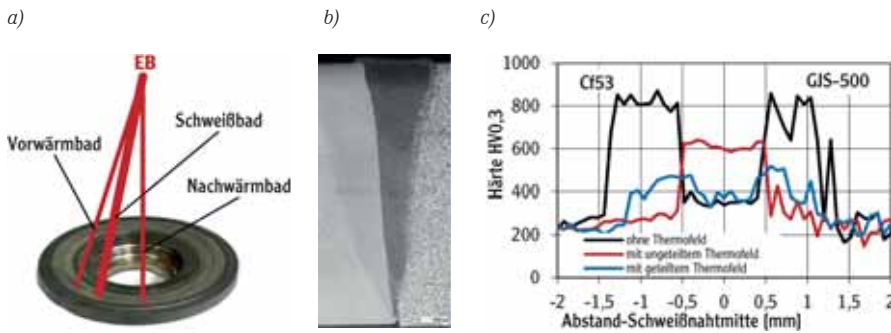


Abb. 5: EB-Schweißen einer Rad-Nabe-Verbindung aus Gusseisen und Stahl [8, 9].
 a) Bauteil und Strahlleinwirkung. b) Schweißnaht. c) Einfluss von zusätzlichen Thermofeldern auf den Härteverlauf quer zur Schweißnaht

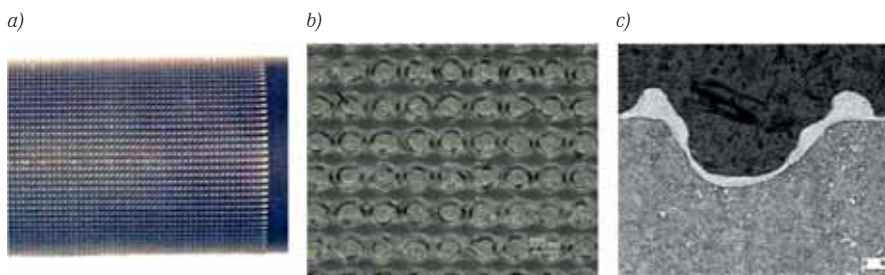


Abb. 6: EB-Gravieren von Wellensegmenten [1, 10]. a) Graviertes Wellensegment. b) Periodisches Gravurmuster. c) Näpfchen (Querschnitt)

EB-Fügen

Aktuell konzentrieren sich zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet des EB-Schweißens auf den Einsatz von Mehrspot-Mehrprozess-Technologien für üblicherweise nicht oder nur schwer schweißbare Werkstoffkombinationen in Hybridbauweise. Am IWT wurden Technologien für die Herstellung von Stahl-Gusseisenverbindungen entwickelt, die inzwischen Applikationsreife erreicht haben.

Durch Anwendung einer 3-Spot-Technik (Vorwärm-/Schweiß-/Glättungsbad) für die Herstellung von Rad-Nabe-Verbindungen als Schweißkonstruktion (Abb. 5a) werden riss- und porenfreie Schweißnähte erzeugt (Abb. 5b). Die bei diesen Werkstoffkombinationen unvermeidliche Aufhärtung der Schweißnaht (SN) und der Wärmeeinflusszone (WEZ) (Abb. 5c) wird durch zusätzliche vor- und/oder nachgelagerte Thermofelder zumindest teilweise kompensiert. Damit genügen diese mit üblichen Verfahren nicht schweißbaren Verbindungen höchsten technischen Anforderungen.

EB-Abtragen

Die EB-Mehrspot-Technik wird auch beim Oberflächenprofilieren bzw. -gravieren eingesetzt. In eine ebene Fläche können in nur 0,15 s durch extrem rasch ablaufende lokale Verdampfungs- und

Schmelzprozesse bis zu 3.500 Vertiefungen innerhalb eines definierten Ablenkfeldes eingebracht werden.

Je nach Energieübertragungsparametern bilden sich als laterale Muster angeordnete „Näpfchen“ mit variablem Durchmesser und unterschiedlicher Tiefe (jeweils einige 10 µm bis einige 100 µm) aus (Abb. 6b), die an den Rändern einen Schmelzmantel und in der Regel an der Oberfläche ringförmig um die Vertiefungen herum wiedererstarbte Schmelzaufwürfe aufweisen (Abb. 6c).

Durch das Einpressen eines Wellenschafts (Abb. 6a) mit derartigen definierten Umschmelzaufwürfen in ein weiches Rohr entsteht eine feste, nachträglich nicht mehr lösbare Verbindung. Für Anwendungen zur Verbesserung des Reibverhaltens (z. B. Gleitlager), bei der diese Vertiefungen als Schmiermittelreservoir dienen, müssen die „Kraterränder“ entfernt werden. Auch für diese Technologie kann auf erste Applikationen verwiesen werden [10].

Ausblick

Eine neue Generation der Elektronenstrahl-Ablenktechnik ist die Basis für die Entwicklung von Elektronenstrahl-Technologien, mit denen eine deutlich höhere Produktivität erreichbar ist und sich neue technische Lösungen mit neuartigen Eigenschaftskombinationen realisieren lassen.

Da sowohl wegen der Variantenvielfalt bei weitem noch nicht alle technischen Möglichkeiten genutzt werden als auch zahlreiche prozesstechnische und werkstoffspezifische Zusammenhänge noch nicht oder nicht hinreichend erforscht sind, ergeben sich für die Wissenschaftler an der TU Bergakademie Freiberg langfristige, nachhaltige Perspektiven auf diesem Gebiet.

Danksagung

Die Autoren danken den Mitgliedern des EB-Teams am IWT der TU Bergakademie Freiberg für die kooperative und erfolgreiche Zusammenarbeit, aus der wesentliche Teilergebnisse hervorgingen, die dieser Arbeit zugrunde liegen.

Literatur

- Zenker, R.; Buchwalder, A.: Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung, Innovative Technologie für höchste industrielle Ansprüche, probeam AG & Co. KGaA, 2010.
- Buchwalder, A.: Beitrag zur Flüssigphasen-Randschichtbehandlung von Bauteilen aus Aluminiumwerkstoffen mittels Elektronenstrahl. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 2007.
- Zenker, R.: Elektronenstrahl-Mehrspot-Technik – Neue Möglichkeiten und Perspektiven für die Randschichtbehandlung. In: Stahl und Eisen (2007), 2, S. 26–28.
- Zenker, R.; Buchwalder, A.: Mehrspot-Technik und Mehrprozess-Technologien zum Schweißen und zur Randschichtbehandlung mit dem Elektronenstrahl – State of the Art. In: 8. Internationalen Konferenz Strahltechnik 2010, Halle: 14.–15. April 2010, S. 100–105.
- Zenker, R.: IFHTSE Global 21: Heat treatment and surface engineering in the twenty-first century Part 15 – Progress in surface heat treatment using electron beam surface hardening. In: International Heat Treatment and Surface Engineering 5(2011), 2, S. 50–56.
- Zenker, R.; Buchwalder, A.; Klemm, M.: Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der thermischen Elektronenstrahl-Randschichtbehandlung von Aluminium-Legierungen. In: HTM Journal of Heat Treatment and Materials 64(2009), 4, S. 208–214.
- Franke, R.; Haase, I.; Klemm, M.; Zenker, R.: Friction and wear behaviour of electron beam surface treated aluminium alloys AlSi10Mg(Cu) and AlSi35. In: Wear 269(2010) 11–12, 2010, S. 921–929.
- Mangler, M.; Rührich, K.; Zenker, R.: Steuerung der Gefügeausbildung in Gusseisen-Schweißverbindungen mittels der Elektronenstrahl-Mehrprozess-Technik, Sonderbände der Praktischen Metallographie 42 (2010), S. 321–326.
- Rührich, K.; Mangler, M.: Elektronenstrahl-Mehrprozess-Technik – Schweißen mit integrierter Wärmebehandlung. In: HTM Journal of Heat Treatment and Materials 67, 1/2012, S. 22–30.
- Zenker, R.; Buchwalder, A.; Frenkler, N.; Thiemer, S.: Moderne Elektronenstrahltechnologien zum Fügen und zur Randschichtbehandlung. In: Vakuum in der Praxis, 17(2005), 2, S. 66–72.

Neue Universalumformpresse am Institut für Metallformung

Rudolf Kawalla¹, Gunter Lehmann²

Mit der Übergabe einer 10MN-Universalumformpresse an das Institut für Metallformung am 28. März 2012 im Rahmen der Vortragsveranstaltung MEFORM 2012 zum Thema Werkstoffentwicklung und Massivumformung erfüllte sich der langgehegte Wunsch, wieder eine Anlage zu besitzen, die neue Möglichkeiten in der Zusammenarbeit mit der Industrie auf dem Gebiet der Massiv- und Blechumformung schafft. Sie sollte auch die Ausbildung von Studenten und Aspiranten in der Fachrichtung Umformtechnik weiter verbessern und attraktiver machen. Die Vervollkommnung der durchgängigen metallurgischen und umformtechnischen Prozesskette erhöht zudem auch die Chancen der Fakultät und der gesamten TU Bergakademie Freiberg bei der Bewältigung der Zukunftsaufgaben, die sich aus der Verarbeitung neuer Werkstoffe ergeben werden. Die Einmaligkeit der Neuentwicklung dieser Umformpresse ist ein überzeugender Beweis für die enorme Leistungsfähigkeit des Pressenbaus. Die nunmehr am Institut für Metallformung installierte Maschinentechnik intensiviert die Anstrengungen zur Realisierung neuartiger Umformverfahren der Massiv- und Blechumformung.

Das Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg bildet Diplomingenieure für den Einsatz in metallurgischen und metallverarbeitenden Betrieben der Umformtechnik aus. Die Lehr- und Forschungstätigkeiten des Instituts konzentrieren sich insbesondere auf die Umformverfahren

- Walzen (Kalt- und Warmwalzen von Bändern, Blechen und Drähten),
- Gießwalzen (Bänder, Tafeln),
- Ziehen (Draht-, Stangen-, Rohrzug),
- Gesenkschmieden,
- Gießschmieden,
- Freiformschmieden,
- Strangpressen,
- Pulverumformung (Verdichtung),
- Pulverspritzgießen

und deren technologische Weiterentwicklung sowie die Ermittlung von Kennwerten neuer Werkstoffe.

Die Aktivitäten auf dem Gebiet der Warmumformverfahren haben aktuell an Bedeutung gewonnen und werden künftig einen noch höheren Stellenwert erlangen. Die Gründe dafür sind vielfältig. Die relevanten Verfahren eröffnen vor allem Möglichkeiten, die gesamte Erzeugungskette merklich zu verkürzen, erbringen damit ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber den bisher angewandten. Lehre und Forschung des Instituts für Metallformung waren in der Vergangenheit besonders auf die Herstellung von Flach- und Langprodukten bzw. Halbzeugen in der metallurgischen Industrie ausgerichtet. Um den regionalen Anforderungen und der technischen Entwicklung zu entsprechen, ist aber die Erweiterung des Forschungs-



10 MN-Universalumformpresse vor der Erprobung am 10. Oktober 2011

spektrums auf die Teilefertigung dringend notwendig und auch bereits eingeleitet worden.

Für die Massivumformung standen bisher nur eng begrenzt einsetzbare Anlagen zur Verfügung, sodass die hier zu notwendigen Forschungstätigkeiten überwiegend direkt in der Industrie durchgeführt werden mussten. Die 10MN-Universalumformpresse ermöglicht die Realisierung der Massivumformtechnologien

- Freiformschmieden,
- Gesenkschmieden mit Presse und Fallhammer,
- Strangpressen,
- Warm- und Kaltfließpressen,
- Blechumformung,
- Presshärten,
- Innenhochdruckumformung,
- Pulverumformung und
- Gießschmieden.

Als Ergebnis einer Kette langjähriger Bemühungen gemeinsam mit industriellen Partnern wurde der Antrag zum Bau der Universalumformpresse schließlich 2008 von der DFG bewilligt. Im öffentlichen Ausschreibungsverfahren setzte sich die Firma WEPUKO-Hydraulik (heute WEPUKO-Pahnke) aus Metzingen durch, die auch Erfahrungen zur Konstruktion und zum Bau von großen Freiformschmiedepressen und artverwandten Multifunktionspressen besitzt.

Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme

Unmittelbar nach dem Abschluss des Vergabeverfahrens im Jahr 2009 begann in enger Zusammenarbeit mit dem Institut

1 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Metallformung
Bernhard-von-Cotta-Str. 4 · D-09596 Freiberg
Institutsdirektor Prof. Dr.-Ing. E.h.mult. Rudolf Kawalla
Tel: 03731 392479, E-Mail: Rudolf.Kawalla@imf.tu-freiberg.de
2 Prof. Dr.-Ing. habil. Gunter Lehmann
Tel: 03731 392841, E-Mail: Gunter.Lehmann@imf.tu-freiberg.de

für Metallformung die Konstruktionsphase für die Universalumformpresse. Die zu erfüllenden Anforderungen waren hoch und in ihrer Komplexität einmalig. Im Ergebnis entstand eine servo-hydraulisch, im direkten Pumpenbetrieb angetriebene Presse, die schließlich dem Anforderungsspektrum voll gerecht wird. Die Konstrukteure und Techniker der Firma WEPUKO-Pahnke wie auch die der ausführenden Firmen beschritten dabei Neuland. In enger gemeinschaftlicher Arbeit und mit großer Unterstützung durch zahlreiche Firmen wurde die Presse im März 2011 im Wesentlichen fertiggestellt. Ihre Aufstellung auf dem neu errichteten Pressenfundament begann am 16. März 2011. Nach der Endmontage wurde die erste Inbetriebsetzung im Oktober des gleichen Jahres zu einem Höhepunkt der erfolgreichen Aktivitäten.

Das wichtige schrittweise Einstellen und das Erproben der für die unterschiedlichen Umformverfahren notwendigen Parameter waren sehr zeitintensiv. Für folgende Forschungsprojekte ist die Nutzung der Maschine zunächst vorgesehen:

- 3-D-Simulation des Werkstoffflusses und der Gefügebildung beim Freiform- und Gesenkschmieden,
- Ermittlung von Umformeigenschaften hochfester Werkstoffe und der technologischen Grundlagen für die Herstellung komplizierter Formen für vielseitige, hohe Beanspruchungen,
- Umformung von hochlegiertem Stranggusshalbzeug,
- Testen oberflächenbeschichteter Umformwerkzeuge für das Gesenkschmieden und Fließpressen,

- Entwicklung von Warm- und Kaltarbeitswerkzeugen für spezielle Umformverfahren,
- Kennzeichnung der Einflüsse unterschiedlicher Schmiermittel und Benetzungszustände beim Gesenkschmieden durch Messung von Tangential- und Normalspannungen,
- Herstellung von Bauteilen durch Verbundpressen unterschiedlich legierter Metallpulver,
- Erkundung des Eigenschaftspotenzials und Kreation einer optimierten Technologie multifunktionaler heterogener Strukturwerkstoffe,
- Erarbeitung von Herstellungstechnologien von faserverstärkten Bauteilen,
- Untersuchungen zur Umformung vorgegossener Ausgangsformen zur Herstellung von Massivteilen,
- Erkundung des Einflusses der Werkzeuggeometrie auf die Verarbeitbarkeit von hochlegierten Eisen- und Nichteisenmetallen durch Kalt-, Halbwarm- und Warmfließpressen,
- Eigenschaftscharakterisierung beim Gießschmieden von Massivteilen aus Stahl- und NE-Legierungen,
- Verarbeitung von Verbundwerkstoffen.

Danksagung

Das Institut für Metallformung dankt sich hiermit nochmals für die Grundförderung der Presse bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG, der TU Bergakademie Freiberg, dem Projektträger ZIM und bei allen beteiligten Industriebetrieben und Firmen für die vielfältige Unterstützung sowie bei der Firma WEPUKO-Pahnke für die enge, zukunftsorientierte Zusammenarbeit.

Institut für Werkstofftechnik

Hochgeschwindigkeitsprüflabor zur Erforschung des Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhaltens von Bauteilen

Lutz Krüger¹, Steffen Wolf¹, David Ehinger¹

Motivation

Für die Auslegung und Dimensionierung von Bauteilen werden oft Werkstoffkennwerte genutzt, die bei quasi-statischer Beanspruchungsgeschwindigkeit und Raumtemperatur ermittelt wurden. Unter praxisrelevanter Belastung sowie bei der Herstellung und Bearbeitung von Werkstoffen treten jedoch häufig höhere Beanspruchungsgeschwindigkeiten und wechselnde Temperaturen auf. Um Fertigungs- und Bearbeitungsprozesse optimieren zu können, ist es deshalb notwendig, das Werkstoffverhalten bei dynamischer, d. h. schlagartiger Beanspruchung zu kennen und beispielsweise den Kraftbedarf eines Schmiedehammers abzuschätzen. Weiterhin werden sicherheitsrelevante Baugruppen wie Crash-Zonen in Fahrzeugen oder Sicherheitstransportbehälter zunehmend mittels Simulationsmethoden ausgelegt, wofür die genaue Messung des dehnratenabhängigen Werkstoffverhaltens erforderlich ist.

Das Hochgeschwindigkeitsprüflabor am Institut für Werkstofftechnik bietet die Möglichkeit, das Materialverhalten in einem weiten Bereich von Beanspruchungsgeschwindigkeit, Temperatur und des Spannungszustands zu messen.

Möglichkeiten am Hochgeschwindigkeitsprüflabor

Im Hochgeschwindigkeitsprüflabor können neben einachsiger Zug- oder Druckbelastung auch Scher- und Torsionsversu-

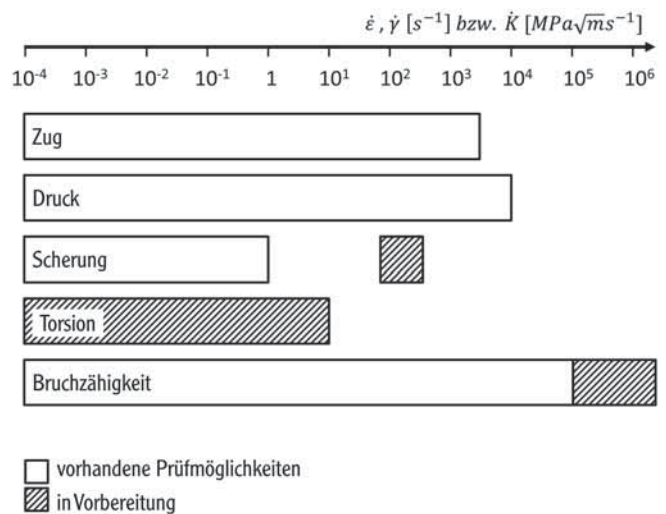


Abb. 1: Prüfmöglichkeiten am Institut für Werkstofftechnik für unterschiedliche Beanspruchungsgeschwindigkeiten und Lastfälle

che sowie bruchmechanische Untersuchungen unter dynamischer Beanspruchung durchgeführt werden. Abb. 1 zeigt eine Übersicht über die möglichen Beanspruchungsfälle und Geschwindigkeitsbereiche. Die Dehnrate ergibt sich aus der zeitlichen Änderung der plastischen Dehnung bzw. aus der Verformungsgeschwindigkeit der Probe, bezogen auf die Messlänge

¹ Institut für Werkstofftechnik, Gustav-Zeuner-Str. 5, 09599 Freiberg



Abb. 2: Fallwerk am Institut für Werkstofftechnik

des Prüfkörpers. Um zum Beispiel eine Dehnrates von 10^3 s^{-1} zu erreichen, muss eine Zugprobe mit 10 mm Messlänge mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s belastet werden. Die Herausforderung bei der dynamischen Werkstoffprüfung besteht darin, Verformungs- und Versagensprozesse verlässlich zu messen, die sich im ms- bis μs -Bereich ereignen.

Um diese unterschiedlichen Beanspruchungsgeschwindigkeiten zu realisieren, sind verschiedene Prüfaufbauten und Belastungsmethoden notwendig. Elektromechanische und servohydraulische Universalprüfmaschinen werden für Versuche bis zu einer Dehnrates von 10^0 s^{-1} eingesetzt. Darüber hinaus wird für den Bereich um 10^2 s^{-1} , der der crash-relevanten Beanspruchung im Automobilbau entspricht, ein selbst konstruiertes, instrumentiertes Fallwerk mit Kraft- und Wegmessung verwendet. Für höhere Prüfgeschwindigkeiten ($\sim 10^3 \text{ s}^{-1}$) werden Sonderprüfaufbauten (Split-Hopkinson-Pressure-Bar für Druckbeanspruchung, Rotationsschlagwerk für Zugbeanspruchung) genutzt.

Dank der Methoden der Mikrostrukturanalytik gibt es hervorragende Möglichkeiten, die verformten Zustände tiefgehend zu charakterisieren. Hieraus werden Zusammenhänge zwischen dem Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhalten und der Mikrostrukturentwicklung abgeleitet. Auf dieser Basis können Werkstoffe gezielt in Richtung optimaler Eigenschaften weiterentwickelt werden.

Zur Beschreibung des temperatur- und dehnratenabhängigen Werkstoffverhaltens werden empirische, semi-empirische und physikalisch basierte Werkstoffgesetze angewandt und weiterentwickelt.

Beispiele aus aktuellen Forschungsvorhaben

Die Methoden des Hochgeschwindigkeitsprüflabors werden bei der Bearbeitung zahlreicher aktueller Forschungsthemen und im Rahmen von Industrie-Kooperationen genutzt. Diese umfassen unter anderem Projekte der Sonderforschungsbereiche 799 und 920, des Hochdruckforschungszentrums der Dr. Erich Krüger-Stiftung, der ESF-Nachwuchsforschergruppe Feinkristalline Magnesiumwerkstoffe und auch des Exzellenzclusters ADDE. Eine andere langjährige Kooperation dient der Erforschung des bruchmechanischen Verhaltens von Werkstoffen für CASTOR-Behälter.

Das Spektrum der untersuchten Werkstoffe reicht von höherfesten Stählen über Al-, Mg- und Titanlegierungen bis zu Volumenhartstoffen. Im Sonderforschungsbereich 799 werden neu entwickelte Verbundwerkstoffe auf Basis von umwandlungsfähigem, austenitischem Stahl und Mg-PSZ teilstabilisiertem ZrO_2 untersucht. Durch die Nutzung komplexer Strukturen, z. B. Wabenkörpern, wird eine hohe spezifische Energieabsorption erreicht, wie sie für crash-relevante Bauteile erforderlich ist. Abb. 3 zeigt das Fließspannungsverhalten eines Wabenkörpers aus einem Verbundwerkstoff mit 10% ZrO_2 und einer Geometrie von 196 cpsi (cells per square inch). Mit zunehmender Dehnrates steigen die Fließgrenze und die Maximalspannung. Bei der crash-relevanten Beanspruchung von 10^2 s^{-1} werden die höchste Spannung und die größte Energieabsorption (Fläche unter der Spannungs-Stauchungs-Kurve) erreicht.

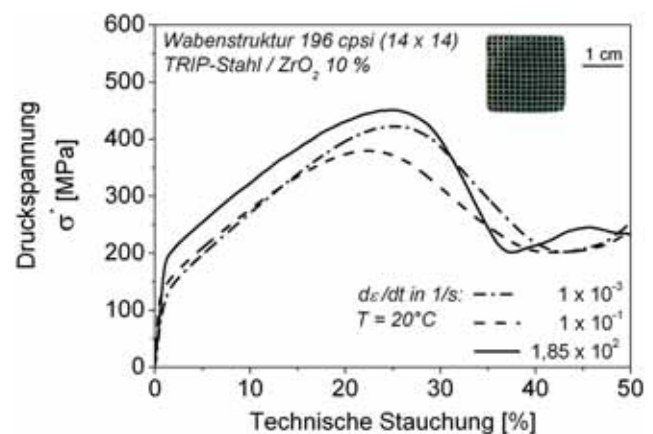


Abb. 3: Dehnratesabhängige Fließspannungskurven der Wabenkörper mit 196 cpsi, hergestellt aus TRIP-Matrix-Kompositen mit 10% ZrO_2 -Anteil

In Abb. 4 sind Composite-Wabenstrukturen unterschiedlicher Geometrie (196 cpsi – oben und 64 cpsi – unten) nach quasistatischer Druckbeanspruchung in Out-of-Plane (OOP)-Belastungsrichtung (X_3) dargestellt. Das unterschiedliche Verformungs- und Schädigungsverhalten ist deutlich zu erkennen. Die 196-cpsi-Strukturen versagen nach Überschreiten des anfänglichen Maximums in der Spannungs-Stauchungs-Kurve (Abb. 3) durch die Ausbildung von plastischen Fließgelenken und -kinken, die sich kreuzförmig in Richtung Probenmitte orientieren. Nach 50% Stauchung werden Schädigungsprozesse in der Außenhaut und im Wabenzentrum ausgelöst. Dagegen wird das Verformungsverhalten der 64-cpsi-Strukturen bei hohen Verformungsgraden durch einen progressiven Faltungsmechanismus dominiert, wobei die Schädigung bevorzugt in den nach außen gerichteten Knickstellen auftritt.

Ein Bewertungskriterium für die Crash-Tauglichkeit kompakter und zellulärer Materialien ist das Energieabsorptions-

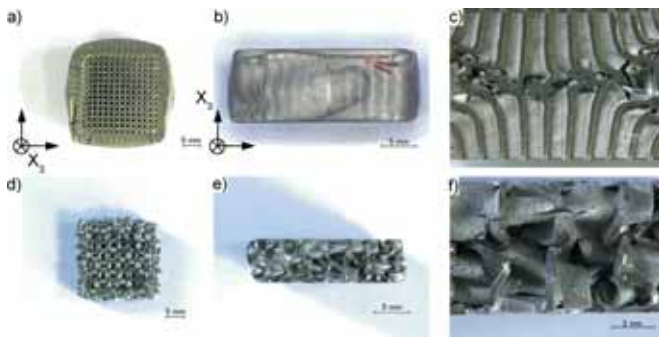


Abb. 4: Verformungsverhalten von TRIP-Matrix-Composite-Wabenstrukturen mit 5 Vol.-% Mg-PSZ-Verstärkung unter quasistatischer OOP-Druckbeanspruchung: a-c) 196 cpsi-Struktur nach 50 % Stauchung, d-f) 64 cpsi-Struktur ohne Außenhaut nach 60 % Stauchung

potenzial, d.h. das Vermögen des Werkstoffs, freigesetzte kinetische Energie während eines Aufpralls bzw. bei einer schlagartigen Beanspruchung in elastische oder plastische Verformungsarbeit (W) umzuwandeln. Die absorbierte Energie berechnet sich aus dem Integral der Fläche, die von der Kraft-Verchiebungs-Kurve $F(x)$ des Realwerkstoffs umschlossen wird. Zur Berücksichtigung des Gewichts (m) wird eine spezifische Energieabsorption zur Masseinheit (SEA_m) angegeben:

$$W = \int F(x)dx, \quad (1)$$

$$SEA_m = \frac{W}{m} [kJg^{-1}]. \quad (2)$$

Im Vergleich zu anderen zellularen Referenzmaterialien verfügen die TRIP-Matrix-Composite-Wabenstrukturen zwar über eine relativ hohe globale Dichte ($\rho^* = m/V^*$), jedoch weisen sie auch eine deutlich höhere spezifische Energieabsorption auf.

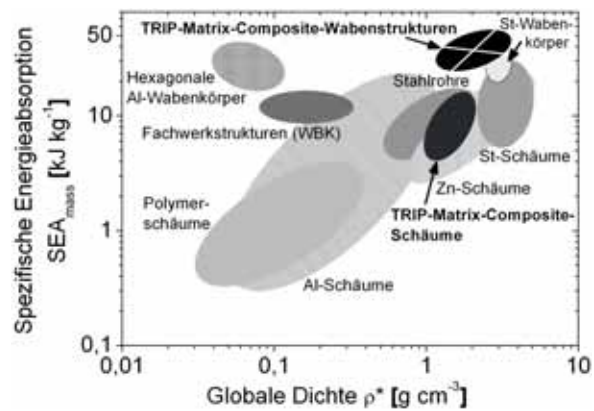


Abb. 5: Spezifische Energieabsorption der TRIP-Matrix-Wabenstrukturen im Vergleich zu zellularen Referenzmaterialien

Durch das dehnungsdominierte, inelastische Versagensverhalten der Wabenkanäle in axialer Belastungsrichtung kann insgesamt mehr Energie aufgenommen werden. Hingegen verhalten sich Schaumwerkstoffe aufgrund ihres dreidimensionalen Zellgerüsts als biegedominierte Strukturen, deren Stege bereits unter geringen Druckspannungen nachgeben. Der energetisch höhere Versagensmodus ist stets das Zellwandbeulen.

Ausblick

Das Hochgeschwindigkeitsprüflabor verfügt über exzellente Möglichkeiten, das Werkstoffverhalten bis zu hohen Beanspruchungsgeschwindigkeiten zu untersuchen. Mit der Beschaffung einer Zug-Druck-Torsion-Prüfmaschine wird diese Kompetenz weiter ausgebaut. Das Institut für Werkstofftechnik ist damit eine der wenigen Adressen im universitären Bereich in Deutschland mit umfassender Expertise im Bereich der Hochgeschwindigkeitswerkstoffprüfung.

Thermomechanische Ermüdung – eine komplexe Beanspruchung: Überlagerte zyklische mechanische und thermische Beanspruchungen

M. Hoffmann, R. Kolmorgen, H. Biermann

Die Ermüdung von Werkstoffen ist eine zyklische Beanspruchung, die durch zeitlich veränderliche Spannungen zum Versagen von Bauteilen führt. Werden beispielsweise in Kraftwerken, Motoren oder Gasturbinen diese veränderlichen Spannungen auch noch von zeitlich veränderlichen Temperaturen überlagert, handelt es sich um die thermo-mechanische Ermüdung (TMF: thermo-mechanical fatigue). Diese kombinierte Beanspruchung kann innerhalb weniger Zyklen N ($N < 1 \times 10^4$) zum Bruch von Bauteilen führen. Daher sind tiefgreifende Kenntnisse zum Ermüdungsverhalten der Werkstoffe notwendig, um im Einsatz befindliche Werkstoffe auf den Weiterbetrieb des entsprechenden Bauteils hin beurteilen zu können und die Realisierung neuer, innovativer Werkstoffkonzepte zu befördern. Am In-

stitut für Werkstofftechnik werden Werkstoffe auf ihre isothermen und thermo-mechanischen Ermüdungseigenschaften hin untersucht. Im Fokus der derzeitigen Forschungsarbeiten stehen dabei ferritische und austenitische Stähle, ferritisch-austenitische Duplexstähle, Nickelbasis-Superlegierungen sowie beschichtete Stähle und γ -Titanaluminide. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus einem DFG-geförderten Forschungsvorhaben und einem Vorhaben der sächsischen Landesexzellenzinitiative, ADDE (Atomares Design und Defekt-Engineering), vorgestellt.

Methodik

Für die Durchführung der komplexen thermo-mechanischen Ermüdungsversuche (TMF-Versuche) stehen am Institut

für Werkstofftechnik rechnergesteuerte servohydraulische 100 kN-Prüfsysteme zur Verfügung. Typische Prüfaufbauten für TMF-Versuche sind in *Abb. 1* dargestellt. Die Einstellung der Versuchstemperatur erfolgt dabei durch induktive Heizung in Verbindung mit Kühlsystemen an der Probe. Der Prüfaufbau in *Abb. 1a* ist für Versuche im Temperaturbereich von 400 °C bis 950 °C optimiert, der in *Abb. 1b* gezeigte ist hingegen sehr gut für TMF-Versuche zwischen 100 °C und 600 °C geeignet, da durch die Druckluftabkühlung auch bei niedrigen Temperaturen eine ausreichende Abkühlgeschwindigkeit gewährleistet werden kann.

Unter isothermer Versuchsführung kann die thermische Dehnung des Probenwerkstoffs vernachlässigt werden, und die Gesamtdehnung ϵ_t der Probe

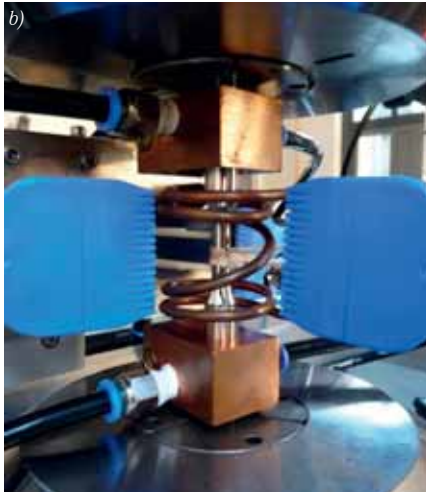


Abb. 1: TMF-Prüfaufbauten mit a) induktiver Probenheizung und Kupferkühlkörpern zur Regulierung des Temperaturgradienten und b) induktiver Probenheizung, Kupferkühlkörpern und Druckluftdüsen zur Einstellung hoher Abkühlgeschwindigkeiten

setzt sich dann lediglich aus elastischem (ϵ_e) und plastischem (ϵ_p) Anteil zusammen, Gleichung (1).

$$\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p \quad (1)$$

Bei einer thermo-mechanischen Beanspruchung kann der thermische Dehnungsanteil aufgrund der zeitlich veränderlichen Temperatur nicht mehr vernachlässigt werden. Die Gesamtdehnung ϵ_t setzt sich nun aus einem thermischen (ϵ_{therm}) und einem mechanischen Anteil (ϵ_{mech}) zusammen, Gleichung (2).

$$\epsilon_t = \epsilon_{therm} + \epsilon_{mech} = \epsilon_{therm} + (\epsilon_e + \epsilon_p) \quad (2)$$

Der thermische Dehnungsanteil muss vor jedem TMF-Versuch für das jeweilige Temperaturintervall bestimmt und sein Verlauf mittels Fit-Gleichungen beschrieben werden. Unter isothermen Versuchsbedingungen dient die Gesamtdehnung als Regelgröße, bei TMF-Beanspruchungen die mechanische Dehnung. Bei TMF-Beanspruchungen wird zwischen zwei verschiedenen Phasenbeziehungen zwischen Temperatur und Dehnung unterschieden. Tritt keine Phasenverschiebung zwischen Temperatur und Dehnung

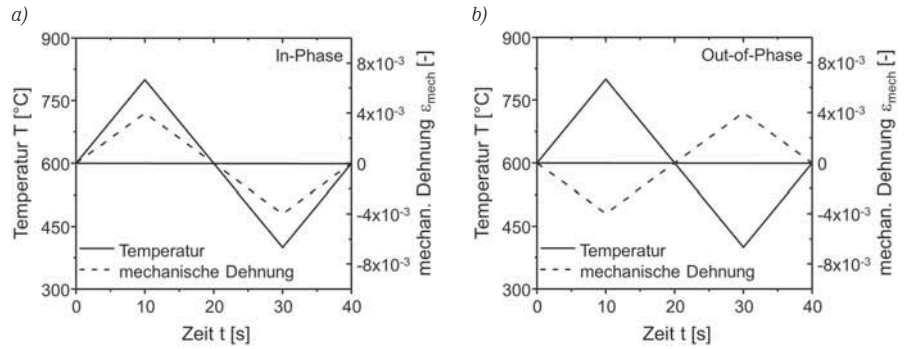


Abb. 2: a) Keine Phasenverschiebung zwischen Temperatur und mechanischer Dehnung, In-Phase; b) 180° Phasenverschiebung zwischen Temperatur und mechanischer Dehnung, Out-of-Phase

auf, handelt es sich um eine In-Phase-Beanspruchung (IP, Phasenwinkel 0°, Abb. 2a). Dabei treten jeweils die maximale Temperatur und die maximale Zugbeanspruchung zeitgleich auf. Bei der sog. Out-of-Phase-Beanspruchung (OP) sind die beiden Regelgrößen Temperatur und mechanische Dehnung um 180° phasenversetzt, Abb. 2b.

Die Geschwindigkeit der isotherm ausgeführten Ermüdungsversuche richtet sich in erster Linie nach der eingestellten Dehnrates. Diese ist zwecks Vergleichbarkeit bei allen Versuchen einer Serie konstant zu halten. Unter thermomechanischer Versuchsführung ist nicht mehr die Dehnrates geschwindigkeitsbestimmend, sondern die Aufheiz- bzw. Abkühlrate. Diese ist nach dem *Code-of-Practice for strain-controlled thermo-mechanical fatigue testing* [1] für metallische Vollproben auf 5 K/s beschränkt, um Temperaturgradienten über dem Probenquerschnitt zu vermeiden. Bei Prüfintervallen oberhalb 400 °C stellt das Einhalten dieser Abkühlrate kein Problem dar, vielmehr muss sogar beim Abkühlen geheizt werden, um die 5 K/s nicht zu überschreiten. In diesen Temperaturbereichen dienen die Kupferkühlkörper lediglich dem Schutz der Spannzeuge, Abb. 1a. Eine große Herausforderung stellen Messungen im Temperaturbereich bis 100 °C dar, da hier die Eigenabkühlung der Proben wesentlich langsamer als 5 K/s ist. Daher müssen die Proben mittels wasserdurchflossener Kupferkühlkörper und Druckluft zwangsgekühlt werden, Abb. 1b.

Kesselstahl 16Mo3

Der niedriglegierte ferritische Kesselstahl 16Mo3 wird aufgrund seiner

guten Hochtemperaturfestigkeiten sehr häufig im Kraftwerks-, Kessel- und Rohrleitungsbau bis zu Temperaturen von 500 °C eingesetzt. In diesem Einsatzgebiet unterliegt der Werkstoff durch An- und Abschaltvorgänge sowie durch variable Innendrucke sowohl thermischen als auch mechanischen Beanspruchungen. Daher wurden das isotherme und das thermomechanische Ermüdungsverhalten des Kesselstahls im Temperaturbereich von 200 °C bis 500 °C untersucht. Die isothermen Ermüdungsversuche wurden unter Gesamtdehnungsregelung bei $R=-1$ (Zug- und Druckdehnung sind betragsmäßig gleich) und einer konstanten Dehnrates von $\Delta\epsilon/dt=1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ausgeführt. Die isothermen Versuche erfolgten bei den Grenztemperaturen 200 °C und 500 °C der TMF-Versuche. Bei beiden Temperaturen reagiert der Werkstoff auf eine Steigerung der Dehnungsamplitude mit einer Erhöhung der Spannungsamplitude. Weiterhin zeigt der Kesselstahl innerhalb der ersten 10 Zyklen eine primäre zyklische Verfestigung. Bei 500 °C folgt darauf eine kontinuierliche zyklische Entfestigung bis zum Bruch. Die bereits bei Warmzugversuchen im Temperaturbereich von 200 °C bis 300 °C dokumentierte dynamische Reckalterung beeinflusst auch das Wechselverformungsverhalten bei 200 °C. Anders als bei 500 °C kommt es hier aufgrund dieser dynamischen Reckalterung bis zur Anrissbildung zu einer sekundären Verfestigung [2]. Die Gesetze von Manson-Coffin und Basquin (siehe Gleichung (3)) erwiesen sich als gut geeignet, um die Beziehung zwischen Gesamtdehnungsamplitude und Ermüdungslebensdauer im Dehnungs-Wöhler-Diagramm zu beschreiben.

$$\frac{\Delta\epsilon_t}{2} = \frac{\Delta\epsilon_e}{2} + \frac{\Delta\epsilon_p}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f' (2N_f)^c \quad (3)$$

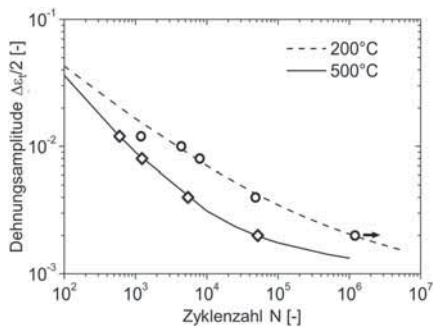


Abb. 3: Dehnungs-Wöhler-Diagramm für 200°C und 500°C mit zugehörigen Manson-Coffin- und Basquin-Kurven. Nach [2]

Das Dehnungs-Wöhler-Diagramm in Abb. 3 ermöglicht eine Abschätzung der Ermüdungslebensdauer bei bekannter Beanspruchung $\Delta\epsilon_t/2$. Der mit einem Pfeil markierte Punkt symbolisiert einen als Durchläufer eingestuften Versuch. Bei der gestrichelten und bei der durchgezogenen Linie handelt es sich um die Messdatenkorrelationen nach Manson-Coffin und Basquin bei einer Prüftemperatur von 200°C bzw. 500°C . Dabei wird deutlich, dass mit steigender Temperatur die Ermüdungslebensdauer bei gleicher Beanspruchung stark absinkt.

Unter TMF-Beanspruchung treten bei der In-Phase-Versuchsführung in der Druckphase höhere Spannungen auf, da hier der Werkstoff aufgrund der niedrigeren Temperatur höhere Festigkeiten aufweist. Daraus ergeben sich bei IP-Versuchen in der Regel Druckmittelspannungen. Eine Out-of-Phase-Beanspruchung führt hingegen aufgrund der höheren Zugkräfte zu einer positiven Zugmittelspannung (Abb. 4a). Im Vergleich zu den isothermen Low-Cycle-Fatigue (LCF)-Versuchen fällt weiterhin auf, dass weder bei IP- noch bei OP-Beanspruchung eine Sekundärverfestigung in der Wechselverformungskurve sichtbar wird. Nach einer leichten Primärverfestigung verlaufen die Wechselverformungskurven sowohl der IP-Versuche als auch der OP-Versuche relativ konstant bis zur Anrissbildung. Aufgrund von Kriechanteilen während der Druckphase der OP-Versuche kommt es mit steigender mechanischer Dehnungsamplitude zum Ausbauchen der Proben. In Abb. 4a sind die Ergebnisse der isothermen LCF-Versuche im Vergleich zu denen der thermomechanischen Ermüdungsversuche für eine Gesamtdehnungsamplitude von $\Delta\epsilon_t/2=0,004$ (LCF) bzw. für eine mechanische Dehnungsamplitude von $\Delta\epsilon_{\text{mech}}/2=0,004$ (IP, OP) dargestellt.

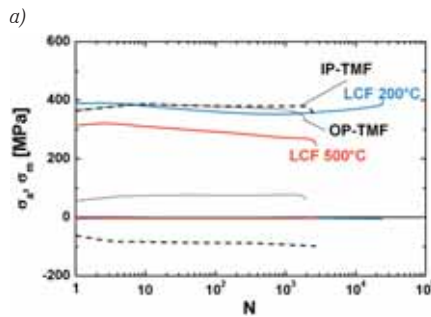


Abb. 4: a) Vergleich der isothermen LCF-Versuche bei 200°C und 500°C mit den TMF-Versuchen bei $\Delta\epsilon_t/2$ bzw. $\Delta\epsilon_{\text{mech}}/2=0,004$; b) Lebensdauerkorrelation bei TMF-Versuchen mit Hilfe des Schädigungsparameters PSWT [2]

Eine Korrelation der Dehnungsamplitude mit der Lebensdauer nach Manson-Coffin und Basquin ist aufgrund der Mittelspannungen für die thermomechanischen Ermüdungsversuche nicht möglich. An dieser Stelle müssen Schädigungsparameter eingeführt werden, die den Einfluss der Mittelspannungen berücksichtigen. Der Schädigungsparameter PSWT (siehe Gleichung (4)) nach Smith, Watson und Topper erwies sich dabei als gut geeignet, das Lebensdauerverhalten zu beschreiben. Dabei ist σ_o die Oberspannung, $\Delta\epsilon_{\text{mech}}/2$ die mechanische Dehnungsamplitude und E der Elastizitätsmodul bei maximaler Zugdehnung.

$$P_{SWT} = \sqrt{\sigma_o \cdot \frac{\Delta\epsilon_{\text{mech}}}{2} \cdot E} \quad (4)$$

Die Korrelation des Schädigungsparameters PSWT mit der Ermüdungslebensdauer ist in Abb. 4b doppellogarithmisch dargestellt und zeigt eine gute Beschreibung der experimentellen Ergebnisse.

Ferritisch-austenitischer Duplexstahl

Hochlegierte ferritische und ferritisch-austenitische Stähle zeigen im Temperaturbereich von 350 – 550°C eine sog. spinodale Entmischung. Hierbei kommt es aufgrund einer Mischungslücke im Eisen-Chrom System zum Zerfall der ferritischen Phase in eine chromreiche α' - und eine chromarme α -Phase. Dies hat Einschränkungen in der Duktilität und in der Korrosionsbeständigkeit zur Folge. Nichtsdestotrotz können solche Duplexstähle bis 350°C eingesetzt werden. Wie in Abbildung 5 dargestellt, besitzt der Duplexstahl 1.4462 eine wesentlich höhere Wechselfestigkeit als die einphasigen Referenzwerkstoffe 1.4435 (Austenit) und 1.4016 (Ferrit), die in Anlehnung

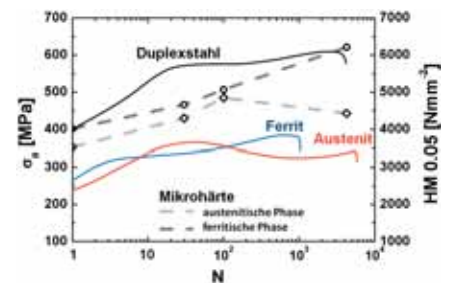
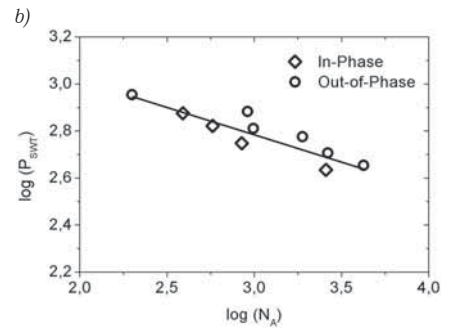


Abb. 5: Wechselverformungskurven des Duplexstahls und der beiden einphasigen Referenzstähle bei OP-TMF-Beanspruchung im Temperaturbereich 100 – 350°C mit einer mechanischen Dehnungsamplitude von $0,008$. Zusätzlich sind die Verläufe der Martenshärte (Mikrohärte) für beide Phasen des Duplexstahls eingezeichnet. Nach [3]

an die chemische Zusammensetzung der beiden Phasen des Duplexstahls gewählt und unter den gleichen Prüfbedingungen getestet wurden [3]. In Abb. 5 ist die Wechselverformungskurve eines OP-TMF-Versuchs gezeigt, der in einem Temperaturintervall von 100 – 350°C mit einer mechanischen Dehnungsamplitude von $0,008$ durchgeführt wurde. Zunächst fällt auf, dass die Wechselverformungskurven der beiden einphasigen Stähle zusammen in etwa den gleichen Verlauf zeigen, wie die des Duplexstahls. Um das zu verifizieren, wurden nach 30 und 100 Zyklen gestoppte TMF Versuche durchgeführt. Damit können Mikrohärteverläufe der Phasen aufgenommen werden. Bei 30 Zyklen zeigt der austenitische Stahl eine maximale Verfestigung, wohingegen die des Ferrits eine Art Plateau aufweist. Beim Duplexstahl ist an dieser Stelle das Ende der primären Verfestigung erreicht. Bei etwa 100 Zyklen beginnt seine sekundäre Verfestigung. Die Wechselverformungskurven der beiden einphasigen Stähle schneiden sich. Augenscheinlich dominiert die austenitische Phase zu Beginn das Wechselverformungsverhalten des Duplexstahls,

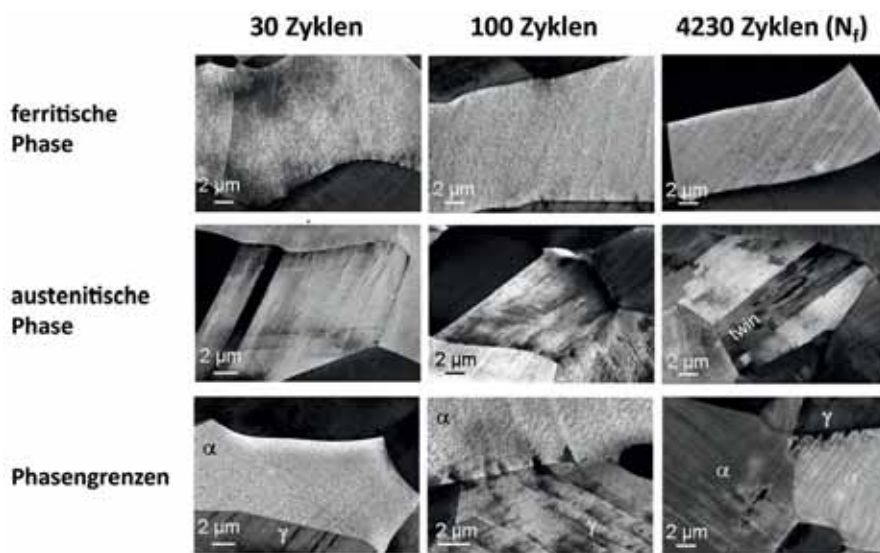


Abb. 6: Zusammenstellung invertierter ECCI-Aufnahmen der Proben nach OP-TMF-Belastung im Temperaturbereich 100–350 °C mit einer mechanischen Dehnungsamplitude von 0,008. Nach [4]

während die ferritische Phase ab ca. 100 Zyklen das Wechselverformungsverhalten bestimmt. An Längsschliffen des Ausgangsmaterials der Proben nach 30 und 100 Zyklen Belastung sowie der Probe, die bis zum Bruch belastet wurde, wurden die Mikrohärtigkeiten (nach Martens HM 0,05) der einzelnen Phasen gemessen, Abbildung 5.

Die Härteverläufe der beiden Phasen ähneln sich anfangs. Die austenitische Phase entfestigt sich dann jedoch deutlich, wohingegen sich die ferritische Phase verfestigt. Ein solcher Zusammenhang muss auch im Gefüge nachweisbar sein. Hierfür wurden am Rasterelektronen-

mikroskop einzelne Körner nach der Electron Channeling Contrast Imaging (ECCI) Methode untersucht (vergl. [4]).

Die in Abb. 6 gezeigten Aufnahmen sind invertiert dargestellt. Man kann hier deutlich die Evolution der Verformungsmechanismen erkennen. Die ferritische Phase zeigt typisch welliges Gleitverhalten mit den Anfängen einer Versetzungszellbildung und außerdem einen Verformungseintrag an den Grenzen aus der austenitischen Phase. Hier ist nach 30 Zyklen das für austenitische Stähle typische planare Gleitverhalten zu erkennen. Nach etwa 100 Zyklen kommt es aber ebenfalls zu welligem Gleitver-

halten, das schließlich gegen Ende der Lebensdauer überwiegt und deutlich an den gebildeten Subkörnern zu erkennen ist. Der Verformungsübertrag aus der austenitischen in die ferritische Phase, besonders innerhalb der ersten 100 Zyklen, bestätigt die Vermutung, dass die austenitische Phase zu Beginn das Wechselverformungsverhalten des Duplexstahls dominiert. Nach der Entfestigung der austenitischen Phase bestimmt dann die ferritische Phase den weiteren Verlauf der Wechselverformung.

Danksagung

Wir bedanken uns für die Finanzierung der Projekte bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Bi 418/19-2), dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst des Freistaats Sachsen und der Europäischen Union (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) (ADDE, TP15, 13852/2337).

Literatur

- 1 P. Hähner, E. Affeldt, T. Beck, H. Klingelhöfer, M. Loveday, C. Rinaldi, Validated Code-of-Practice for Strain-Controlled Thermo-Mechanical Fatigue Testing, European Communities, 2006.
- 2 M. Hoffmann, H. Biermann, Static and Cyclic Deformation Behavior of the Ferritic Steel 16Mo3 under Monotonic and Cyclic Loading at High Temperatures, *Steel Research International* 83 (2012), 631–636.
- 3 R. Kolmogoren, H. Biermann, Thermo-mechanical fatigue behaviour of a duplex stainless steel, *Int. J. Fatigue* 37 (2012), 86–91.
- 4 R. Kolmogoren, A. Weidner, H. Biermann, Deformation and microstructure evolution of a duplex stainless steel under Out-of-phase thermo-mechanical fatigue, *Mat. at High Temp.*, (2012), accepted.

Nanobaukasten für die sensorische Atemanalyse

Madlin Falk, Rosemarie Dittrich, Yvonne Joseph¹

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels müssen sich Gesundheitswesen und Altenpflege auf steigende Zahlen pflegebedürftiger, älterer Menschen und sinkende Zahlen für zu deren Pflege verfügbares Personal einstellen. Eine Lösung dieses Problems ist die Anwendung mobiler elektronischer Geräte zur medizinischen Versorgung und Vorsorge

der Menschen in ihrer Wohnumgebung. Solche Geräte benötigen Sensoren, die den Gesundheitszustand des Menschen korrekt erfassen können. Für solche Anwendungen sind insbesondere Systeme, die nichtinvasiv arbeiten, d. h. Systeme, die den Menschen bei der Probeentnahme nicht verletzen, wünschenswert. Daher ist der Einsatz chemischer Sensoren vielversprechend, um beispielsweise die Zusammensetzung des Atems eines Menschen, der die im Körper stattfindenden Stoffwechselprozesse widerspiegelt, zu untersuchen. Verglichen mit der Messung einer Atemprobe bei einer

Verkehrskontrolle als Test zur Ermittlung des Blutalkoholgehalts des Fahrers ist die nichtinvasive Atemdiagnostik jedoch aufgrund der höheren Zahl an zu detektierenden chemischen Substanzen in deutlich niedrigeren Konzentrationen ungleich komplexer. Die Entwicklung zuverlässiger, einfach herstellbarer und energiesparender chemischer Sensoren mit hohen Empfindlichkeiten bei anpassbarer Selektivität ist also die Herausforderung.

Chemische Sensoren bestehen normalerweise aus einem Wandler und einer chemisensitiven Schicht. Als besonders einfach bezüglich Herstellung und Auslesekomfort sind Chemiresistoren bekannt. Hier verändert sich der Widerstand der chemisensitiven Schicht bei Wechselwirkung mit den relevanten Gasen oder organischen Dämpfen, den sog. Analyten (Abb. 1). Vielversprechende energiespa-

¹ Prof. Dr. Yvonne Joseph, Institutsdirektorin
Institut für Elektronik- und Sensormaterialien
TU Bergakademie Freiberg
Gustav-Zeuner-Straße 3 · 09599 Freiberg
Tel. +49 3731 39-2146, Fax +49 3731 39-3662
<http://www.esm.tu-freiberg.de>

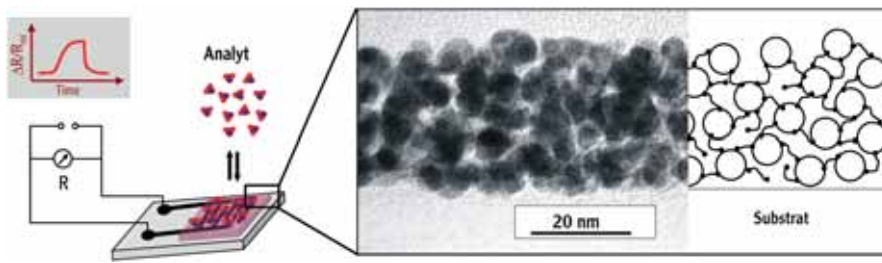


Abb. 1: Chemiresistor, bestehend aus einem nichtleitfähigen Substrat mit Interdigitalelektrode. Diese ist mit einer chemisensitiven Schicht, vorzugsweise einem Nanopartikelnetzwerk beschichtet, die ihren Widerstand bei Wechselwirkung mit einem Analyt ändert.

rende sensitive Schichtkonstruktionen sind Baukastensysteme, bei denen sich organische und anorganische Nanokomponenten zu porösen Netzwerken zusammenschließen. Durch den modularen Aufbau des Materials lässt sich dessen Selektivität gut einstellen. Aussichtsreiche Beispiele eines solchen Nanobaukastensystems sind Komposite auf Basis metallischer Nanopartikel (Abb. 1). Die metallische Komponente sorgt für die

elektrische Leitfähigkeit des Materials, während die organische für die Stabilität und Selektivität des Sensors wichtig ist. [1, 2] Bei Wechselwirkung mit dem Analyten [3, 4] quillt das Material, und die mittleren Partikelabstände vergrößern sich. Außerdem füllt der Analyt eventuell vorhandene Poren und verändert damit die Dielektrizitätskonstante der organischen Matrix. Beides ändert den elektrischen Widerstand des Materials.

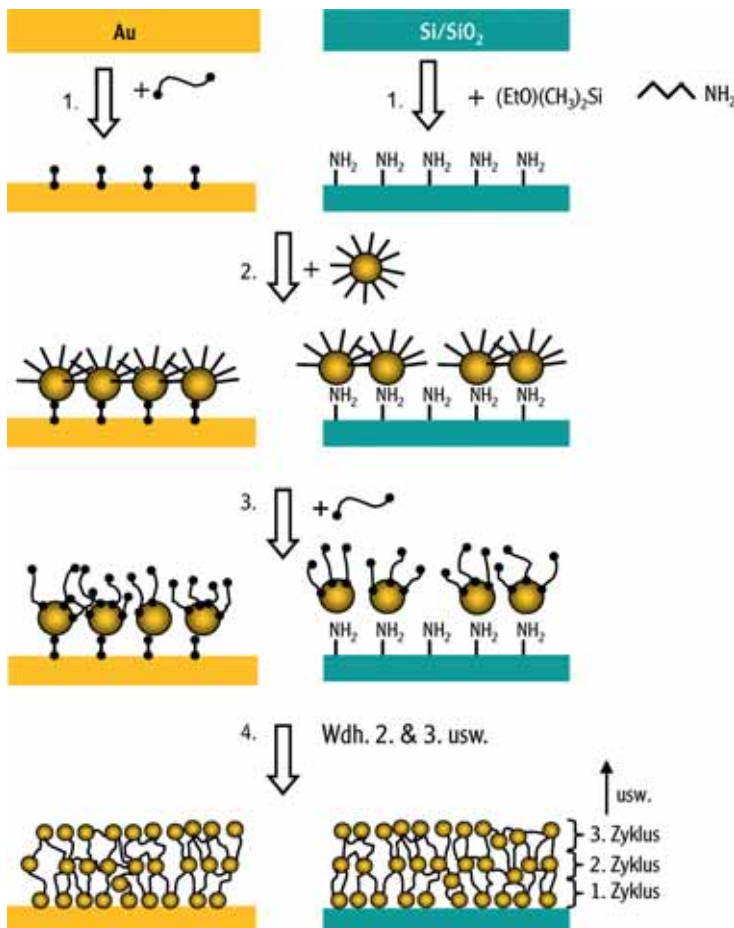


Abb. 2: Beschichtung eines Goldfilms oder eines Silicium- oder Glassubstrats mit der sensitiven Schicht durch lagenweise Selbstassemblierung mittels manuellen Tauchens: Nach Silanisierung des Si- oder Glassubstrats mit einem Aminosilan oder der Vorbehandlung des Goldfilms mit dem organischen Vernetzer wird das Substrat abwechselnd in die Partikellösung und in die Vernetzungs-Lösung getaucht. Hierbei werden die stabilisierenden Aminliganden der Partikel jeweils durch bifunktionelle organische Moleküle ausgetauscht. Nach dem Austausch stehen erneut Reaktionsplätze für die nächste Partikellage zur Verfügung. Diese Prozedur wird solange wiederholt, bis die gewünschte Schichtdicke erreicht ist.

Sowohl das Vermögen mittels dieser Chemiresistoren Krebs aus der Atemluft zu detektieren [5] als auch die Langzeitstabilität des Materials konnten bereits demonstriert werden. [6] Forschungsgegenstand ist jedoch noch immer eine Optimierung der Materialien in Richtung auf eine verbesserte Selektivität und Sensitivität. Die bisher literaturbekanntesten Materialien beruhen meist auf einer Kombination von Goldnanopartikeln mit kommerziellen organischen Dithiolen. Zudem erschwert das gegenwärtige Verfahren der Abscheidung des Komposits ein effizientes Materialscreening. Die Materialien werden bisher manuell durch eine zeitaufwendige lagenweise Tauchbeschichtung auf die Substrate aufgebracht (Abb. 2). Nach einem verbesserten Beschichtungskonzept sollte sich automatisch eine Vielzahl von Sensoren mit unterschiedlichen Materialien auf einem einzigen Substrat herstellen lassen.

Am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien (IESM) werden neben Dithiolen zur Vernetzung synthetisierter aminstabilisierter Edelmetallpartikel [7] auch erstmals Bisdithiocarbamate untersucht. Diese lassen sich einfach basenkatalysiert *in situ* aus sekundären Aminen und Schwefelkohlenstoff (CS₂) herstellen (Abb. 3). Um eine einfachere nichtmanuelle Sensorherstellung zu ermöglichen, wurde ein automatisiertes Beschichtungssystem entwickelt, das zudem eine Beschichtung von ausgewählten Substratbereichen ermöglicht (Abb. 4). Es besteht im Wesentlichen aus einem 6-Wege-Ventil und einer Schlauchpumpe, die beide über einen Computer angesteuert werden, sowie dazwischenliegenden Beschichtungszellen. Beschichtet werden können sowohl komplette Quarzmikrowaagen, die Informationen über die Beschichtungsvorgänge und das Schichtwachstum liefern können, als auch ausgewählte Areale von Substraten mit Interdigitalstrukturen, die ebenfalls am IESM hergestellt und später als Sensor resistiv ausgelesen werden können. Die Beschichtungszelle für die Interdigitalstruktursubstrate ist im Institut konstruiert und hergestellt worden.

Die Ergebnisse der automatisierten Herstellung von Nanokompositfilmen aus Goldpartikeln und Thiolen/Bisdithiocarbamaten-Lösungen auf Quarzmikrowaagen werden in Abb. 5 miteinander verglichen. Infolge der abgestuften Löslichkeit des organischen Materialanteils sind bei den Bisdithiocarbamaten deut-

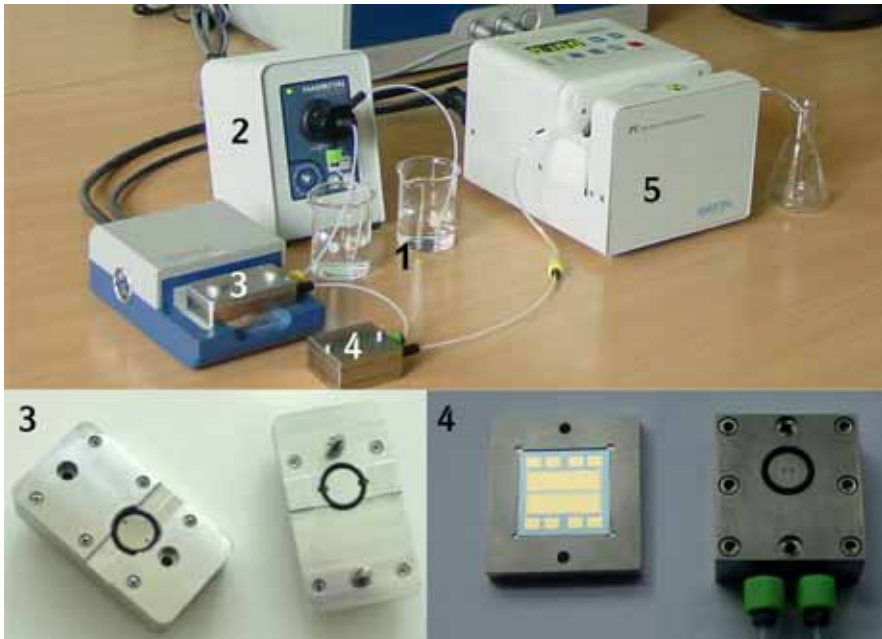
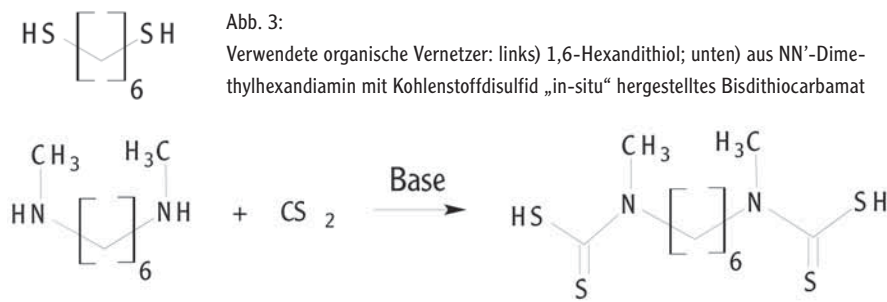


Abb. 4: (Oben) Automatisiertes Beschichtungssystem mit Beschichtungszellen: 1 Vorratsgefäße für die Beschichtungslösungen, 2 6-Wege-Ventil, 3 kommerzielle Beschichtungszelle für Quarzmikrowaagen (Firma: Q-Sense), 4 eigenentwickelte Zelle zum Beschichten ausgewählter Areale eines Substrats, 5 Schlauchpumpe. (Unten) geöffnete Beschichtungszellen: Die Abscheidung erfolgt hierbei jeweils im Inneren des Dichtrings.

liche Änderungen der Dämpfungseigenschaften dieser Filme beim Lösungsmittelwechsel von Toluol auf Isopropanol zu beobachten. In beiden Fällen sieht man jedoch spätestens ab dem 4. Zyklus eine lineare Zunahme der Filmdicke. Unter der Annahme, dass vergleichbare Film-

dichten erreicht wurden, ist das Assemblerverhalten der Bisdithiocarbamate jedoch schwächer.

Somit konnte gezeigt werden, dass sich der Prozess der lagenweisen Schichtabscheidung automatisieren lässt. Neben Dithiolen eignen sich auch Bisdithiocar-

bamate dazu, Goldnanopartikel zu vernetzen. Diese Schichten sollen nun detailliert charakterisiert werden, um insbesondere strukturelle Informationen zu erhalten. Weitere Materialvariationen mit organischen Molekülen, die unterschiedliche Haftgruppen besitzen, sowie der Einsatz alternativer Partikel sind geplant. Schließlich müssen die neu hergestellten Materialien hinsichtlich ihrer sensorischen Eigenschaften getestet werden.

Literatur

- 1 Vossmeier T, Joseph Y, Besnard I, Harnack O, Krasteva N, Guse B, Nothofer HG, and Yasuda A; *Gold-nanoparticle/dithiol films as chemical sensors and first steps towards their integration on chip*; Physical Chemistry of Interfaces and Nanomaterials III, ed. G.V. Hartland, X-Y.Zhu, Proceedings of SPIE, 5513, 201–212 (2004).
- 2 Joseph Y, Guse B, Yasuda A, and Vossmeier T; *Chemiresistor coatings from Pt- and Au-nanoparticle films: Sensitivity to gases and solvent vapors*; Sens. Act. B, 98, 188–195 (2004).
- 3 Joseph Y, Guse B, Vossmeier T, and Yasuda A; *Gold Nanoparticle/Organic Networks as Chemiresistor Coatings: The Effect of Film Morphology on Vapor Sensitivity*; J. Phys. Chem. C, 112, 12507–12514 (2008).
- 4 Joseph Y, Peić A, Chen X, Michl J, Vossmeier T, and Yasuda A; *Vapor Sensitivity of Networked Gold-Nanoparticle Chemiresistors: The Importance of Flexibility and Resistivity of the Interlinkage*; J. Phys. Chem. C, 111, 12855–12859 (2007).
- 5 Peng G, Tisch U, Adams O, Hakim M, Shehata N, Broza YY, Billan S, Abdah-Bortnyak R, Kuten A and Haick H; *Diagnosing lung cancer in exhaled breath using gold nanoparticles*; Nature Nanotechnology 4, 669–673 (2009).
- 6 Joseph Y, Guse B, and Nelles G; *Aging of 1, ω-Alkyldithiol Interlinked Au-Nanoparticle Networks*; Chem. Mater., 21, 1670–1676 (2009).
- 7 Marchetti B, Joseph Y, and Bertagnolli H; *Amine capped gold nanoparticles: Reaction steps during the synthesis and the influence of the ligand on the particle size*; J. Nanopart. Res., 13, 3353–3362 (2011).

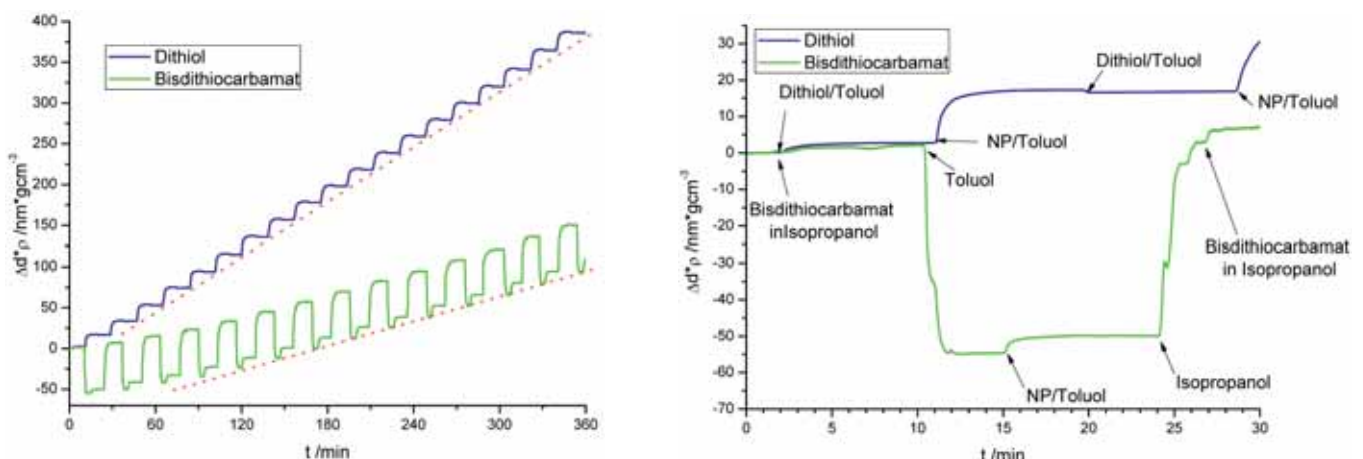


Abb. 5: (links) Zunahme der Schichtdicke mit wachsender Zahl der Schichtabscheidungen; rote Linien zur Verdeutlichung des linearen Schichtaufbaus; rechts) Beginn der Schichtabscheidung im Detail

Keramik unter Strom – Resistive Datenspeicher

Michael Franke

Die Entwicklung herkömmlicher elektrischer Speichertechniken stößt an ihre physikalischen Grenzen. Die Skalierung von Transistoren und Speicherbausteinen wird immer aufwendiger. [1] Daher müssen alternative Speicherkonzepte erforscht und zur Anwendung gebracht werden. Eine wichtige Möglichkeit stellen die resistiven Speicher dar. Ihr Kernstück sind Metall-Isolator-Metall (MIM)-Kondensatoren [2], die u. a. als Crossbar-Strukturen realisiert werden (Abb. 1).

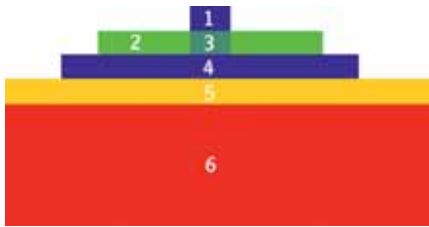


Abb. 1: Schematischer Querschnitt durch eine Crossbar-Struktur: 1 Deckelektrode, 2 Dielektrikum (Niobpentoxid), 3 Schaltender Kreuzungsbereich zwischen Deck- und Bodenelektrode im Dielektrikum, 4 Bodenelektrode, 5 Isolationsschicht, 6 Substrat

Ihr Dielektrikum weist zwei alternative Zustände mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit auf. Einer davon besitzt nur eine geringe elektrische Leitfähigkeit. Bei Anlegen einer Lesespannung fließt deshalb kein Strom durch den Kondensator (Zustand 0 oder off). Im anderen Zustand leitet die dielektrische Schicht um mehrere Größenordnungen besser, sodass in Kondensatoren mit Material dieses Zustandes bei Anlegen einer Lesespannung ein elektrischer Strom fließt (Zustand 1 oder on). Diese beiden Zustände können reversibel elektrisch ineinander überführt werden.[3] Zum Schalten in den on-Zustand muss eine Set-Spannung angelegt, zum Schalten in den off-Zustand muss ein Reset-Strom eingeprägt werden. Set-Spannung und Reset-Strom liegen dabei weit über den Kennwerten zum Auslesen der Kondensatoren (Abb. 2). Diese Eigenschaft des Dielektrikums, resistiv zwischen zwei Zuständen der elektrischen Leitfähigkeit hin und her schaltbar zu sein, birgt Potenzial für eine Anwendung in der Daten-

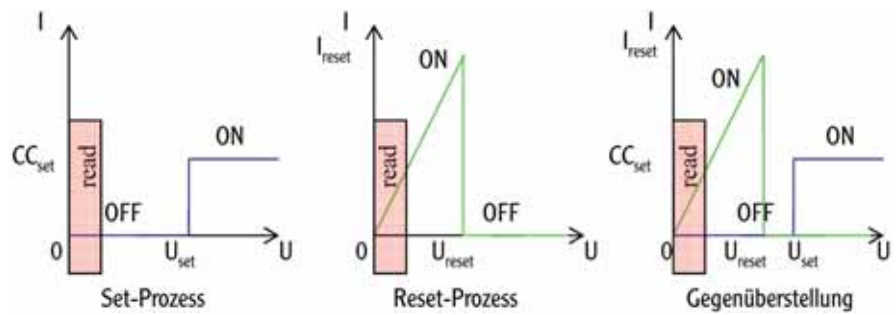


Abb. 2: Schematische Schaltkurven bei rampenartiger Erhöhung der angelegten Spannung

speicherung. Als Dielektrikum für derartige Kondensatoren werden überwiegend Übergangsmetalloxide eingesetzt. [4] Sie zeigen in dünnen Schichten von weit unter 100 nm Dicke die besten Schalteigenschaften.

Am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien werden die Schalteffekte und deren strukturelle Ursachen und Funktionsweisen untersucht. Dabei sollen solche Materialien im Vordergrund stehen, die durch ihre einfache Struktur eine relativ simple Integration in einen CMOS-Prozess versprechen. Hier bieten sich insbesondere binäre Oxide wie z. B. NiO, TiO₂ und Nb₂O₅ an. [5, 6]

Die zur Untersuchung des Schalteffekts notwendigen MIM-Kondensatoren werden im zentralen Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg hergestellt. Dabei werden die einzelnen Materialien mittels Verfahren der Physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) als dünne Schichten auf thermisch oxidierte Siliziumwafer aufgebracht. Als Abscheidungsverfahren eignen sich die thermische Verdampfung unter Vakuum mittels Widerstands- oder Elektronenstrahlheizung und das Kathodenzerstäuben (Sputtern). Die benötigten Strukturen werden fotolithografisch und durch Ätz- oder Abhebeprozesse erzeugt, wobei jede Schicht einzeln strukturiert wird. Bisher wurden symmetrische MIM-Kondensatoren hergestellt: Das Material der Bodenelektrode ist das gleiche wie das der Deckelektrode. Die Elektroden bestehen aus Aluminium, Chrom, Platin, Silber oder Titan. Das schaltbare Oxid ist Niobpentoxid. Die einzelnen Schichten haben eine Dicke von je ca. 50 nm. Da die Schichthafung von Platin und Silber auf SiO₂ sehr gering ist, wird eine ca. 5 nm dicke Titanschicht als Haftvermittler aufgedampft, bevor die erste Metallschicht abgeschieden werden kann. Die realisierte Größe der zu schaltenden Strukturen reicht von 200 × 200 µm bis zu 10 × 10 µm. Für

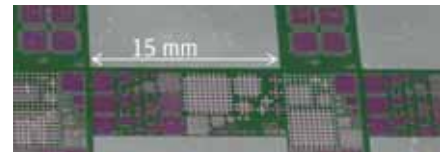


Abb. 3: Auf einem Siliziumwafer fertiggestellte schaltbare Strukturen

die Röntgenanalyse werden Felder von 15 × 15 mm Kantenlänge erzeugt (Abb. 3).

Die fertigen Strukturen werden elektronenmikroskopisch und röntgenografisch charakterisiert. Für die TEM-Untersuchungen wurden die Schichtstapel mittels Focussed Ion Beam Technik (FIB) präpariert. Die dabei gewonnenen Aufnahmen zeigen einen kompakten MIM-Schichtstapel zwischen dem Substrat und den für die Präparation notwendigen Platinschichten (Abb. 4). Bei höherer mikroskopischer Auflösung zeigte sich, dass das aufgebrachte Oxid amorph ist.

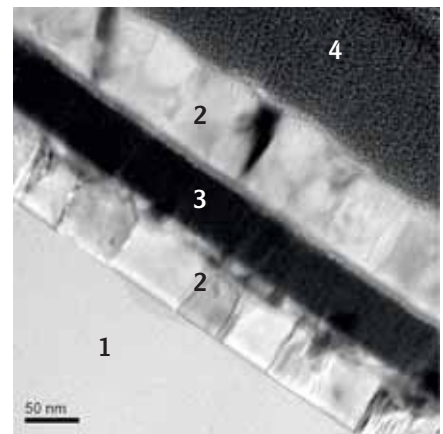


Abb. 4: TEM-Aufnahme eines MIM-Schichtstapels: 1 Pt aus der FIB-Präparation, 2 Al, 3 Nb₂O₅, 4 SiO₂ des Substrats

Die einzelnen Zellen werden nun elektrisch charakterisiert: Aufnahme von I-V-Kennlinien und Schalten mittels Strom- und Spannungspulsen. Der resistive Schalteffekt konnte reproduzierbar erzeugt werden. Zum Schreiben wurde eine Spannungsrampe von 0 bis 5 V durchfah-

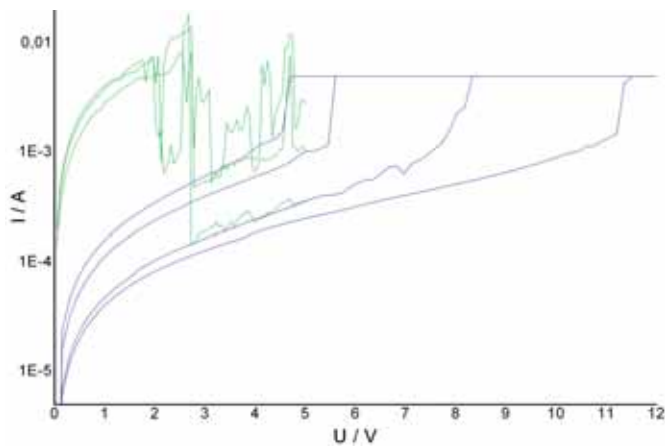


Abb. 5: Schaltkurven einer 20- μ m-Struktur eines Ag/Nb₂O₅/Ag-Systems: Einschalten durch Spannungssweep (blau, Strombegrenzung bei 10 mA), Ausschalten durch Spannungssweep (grün, keine Strombegrenzung)

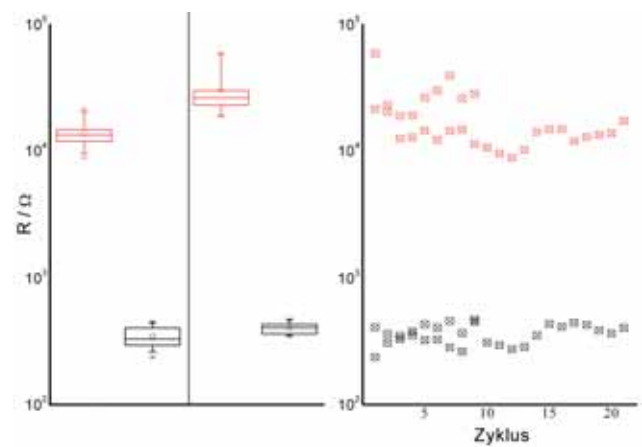


Abb. 6: Die einzelnen Schaltzustände bei mehrfachem Ein- und Ausschalten: Kreise: 10- μ m-Strukturen, Quadrate: 20- μ m-Strukturen

ren, der Strom auf 0,01 A begrenzt. Bei einer Spannung zwischen 1,5 V und 4,5 V erhöhte sich die elektrische Leitfähigkeit sprunghaft um mehrere Größenordnungen. Zum Ausschalten wurde ein kurzer Strompuls (mehrere 100 mA bei einer Spannung von bis zu 7 V) eingepreßt. Die Leitfähigkeit geht dabei wieder auf ihren Ausgangswert zurück. Dieser Vorgang ließ sich mehrfach wiederholen, bevor die Zelle ihre Leitfähigkeit nicht mehr veränderte (Abb. 5). In den eingesetzten Materialien änderte sich die elektrische Leitfähigkeit zwischen den beiden unterschiedlichen Schaltzuständen reversibel um zwei bis vier Größenordnungen (Abb. 6). Es sind zwischen 10 und 100 Schaltzyklen realisiert worden. Die Widerstände der Zellen im On-Zustand sind unabhängig von der Strukturbreite. Daher ist davon auszugehen, dass die resistive Schaltbarkeit auf dem Mechanismus der Filamentbildung basiert.

Im Rahmen weiterer Untersuchungen zum resistiven Schalten von Materialzuständen wird angestrebt, Schichten mit geringerer Dicke und Crossbars mit noch kleinerer Strukturbreite zu erzeugen. Dazu ist eine Erweiterung der Methoden zum Schichtauftrag und zur Strukturierung notwendig, u. a. um die Atomlagenabscheidung (ALD). Im Rahmen der Abscheidung mittels ALD sollen auch geeignete Präkursoren gefunden werden. Da die ALD eine sehr hohe Kantenbedeckung aufweist, ist der Lift-Off-Prozess zur Strukturierung nicht mehr möglich, sodass gerade für die ALD-Schichten zum Trockenätzen übergegangen werden muss. Das Verfahren des Trockenätzens ermöglicht auch eine Reduzierung der kleinsten Strukturbreite auf unter die bisher realisierten 10 μ m. Die Erzeugung dünnerer Schichten dient der Untersuchung des Schalteffekts in Abhängigkeit von der Schichtdicke und ermöglicht zu-

dem die Untersuchung weiterer Schichtsysteme. Mit Hilfe der ALD können ferner schlechter leitende Metalle als Elektroden verwendet werden. Deren Dicke muss dann allerdings größer sein als die bisherig eingestellten 50 nm.

Die Annahme, dass die Entstehung von elektrisch leitfähigen Filamenten maßgeblich für den Schaltmechanismus ist, soll durch Impedanzspektroskopie bestätigt werden.

Literatur

- 1 22nd IEEE Non-Volatile Semiconductor Memory Workshop (2007), 5–9.
- 2 Applied Physics Letters 91(2007), 252101.
- 3 Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 907E(2006) Materials Research Society, 02.1–02.6.
- 4 Electron Devices Meeting, 2004. IEDM Technical Digest. IEEE International, 587–590.
- 5 Journal of the Korean Physical Society, 48 (2006)6, 1492–1495.
- 6 IEEE Electron Device Letters, 26(2005)5, 292–294.

Virtuelles Institut MEMRIOX

TU Bergakademie beteiligt sich am Verbund zur Erforschung neuer Datenspeicher

Theresa Moebus, Solveig Rentrop, Hartmut Stöcker, Barbara Abendroth, Dirk C. Meyer¹

Das Gesetz von Moore ist kein Naturgesetz und im Gegensatz zu den meisten naturwissenschaftlichen Gesetzen und Zusammenhängen auch leichter verständlich: Die Anzahl der Schaltkreis-komponenten von Speichern verdoppelt sich ungefähr alle zwei Jahre. Die Folgen

dieses Gesetzes sind für eine digitale Gesellschaft genauso verständlich wie in den letzten Jahrzehnten unübersehbar – Speichermedien werden kleiner, leistungsfähiger, schneller. Aber die Umsetzung dieser Entwicklung wird nun immer schwerer, weil herkömmliche Speicher mehr und mehr an ihre physikalischen Schranken stoßen. So können manche Bauteile nicht mehr kleiner ge-

baut werden, ohne an Funktionalität zu verlieren. Das Moore'sche Gesetz könnte damit in absehbarer Zeit an seine Grenzen stoßen, während die Datenmengen scheinbar grenzenlos sind.

Infolge dieser Entwicklung forschen seit Oktober 2011 Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf zusammen mit der TU Bergakademie Freiberg, dem Forschungszentrum Jülich, den Universitäten Dresden und Jena sowie der University of California in San Diego und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich in einem neuen Forschungsverbund gemeinsam an neuen Speicherkonzepten für die Zukunft (Abb. 1). „More than Moore“ ist das Motto und entwickelt sich mit „More

¹ Alle Autoren: Institut für Experimentelle Physik, TU Bergakademie Freiberg



Abb. 1: Gruppenfoto anlässlich des MEMRIOX-Auftakttreffens mit Birgit Groß (HZDR), Heidemarie Schmidt (HZDR), Stefan Slesazek (NaMLab), Solveig Rentrop (TU Bergakademie), Daniel Blaschke (HZDR), Peter Zahn (HZDR), Hartmut Stöcker (TU Bergakademie), Regina Dittmann (FZI), Barbara Abendroth (TU Bergakademie), Vikas Rana (FZI), Carsten Ronning (FSU Jena) (v.l.)

Moore“ zur Strategie des Verbunds, ohne dass sich beides gegenseitig ausschließt: Die Entwicklung leistungsfähiger, miniaturisierter Speicher im Nanometer-Bereich, die dabei ressourcen- und energiesparend sind.

Der Begriff MEMRIOX bezeichnet die Forschungsinitiative, abgeleitet aus der Wortkombination MEMory Effects in Resistive Ion-beam Modified OXides, und benennt das neue Speicherkonzept: Dünne Schichten von Metalloxiden sollen derart modifiziert werden, dass deren Widerstand durch einen elektrischen Strom verändert werden kann. Dies geschieht durch einen gezielten Einbau von Defekten in das Material (beispielsweise Sauerstoffleerstellen) mittels eines

fokussierten Ionenstrahls (Abb. 2). In Abhängigkeit von Strom und Spannung können sich die Defekte im Material so umordnen, dass man zwischen Zuständen hoher und niedriger elektrischer Leitfähigkeit schalten kann und diese auch ohne äußere Energiezufuhr erhalten bleiben. Solche nichtflüchtigen Speicher und memristiven Schalter sind das Ziel von MEMRIOX.

Bis dahin ist aber noch eine Menge Arbeit für das fünfjährige Forschungsprojekt zu leisten, das von der Helmholtz-Gemeinschaft und ihrem Impuls- und Vernetzungsfonds finanziert wird. Sprecherin des Projekts ist Dr. Sibylle Gemming, und die Koordination übernimmt Dr. Peter Zahn – beide vom Helmholtz-Zentrum

Dresden-Rossendorf. Als sogenanntes Virtuelles Institut soll MEMRIOX als Kooperation zwischen den Helmholtz-Zentren und den Partneruniversitäten nicht nur Forschungsziele von internationaler Bedeutung verfolgen, sondern insbesondere die Zusammenarbeit stärken und den wissenschaftlichen Nachwuchs fördern. Deswegen hat MEMRIOX eine eigene Management- und Führungsstruktur, die die Verteilung der Ressourcen, der Aufgaben und der Ergebnisse zwischen den einzelnen Partnern aufeinander abstimmt. Jeder Partner bringt dabei seine Kernkompetenz in einem anderen Bereich ein – sei es die Ionenstrahltechnik, die optische oder elektrische Charakterisierung oder die theoretische Simulation der Elektronenzustände. Letztlich werden alle Ergebnisse der gemeinsamen Forschungsarbeit zusammengeführt.

Im Rahmen von MEMRIOX ist das Institut für Experimentelle Physik der TU Bergakademie unter der Leitung von Prof. Dr. Dirk C. Meyer vor allem für die Herstellung der Proben und deren optische Charakterisierung zuständig, beides unter Betreuung von Dr. Barbara Abendroth und Dr. Hartmut Stöcker. Dabei sollen vordergründig die Strukturanalyse und Spektroskopie mit Röntgenstrahlung in Kooperation mit dem DESY/HASYLAB in Hamburg weitere Erkenntnisse über die atomspezifische Struktur der modifizierten und defektreichen Schichten bringen. Dazu müssen diese jedoch erst

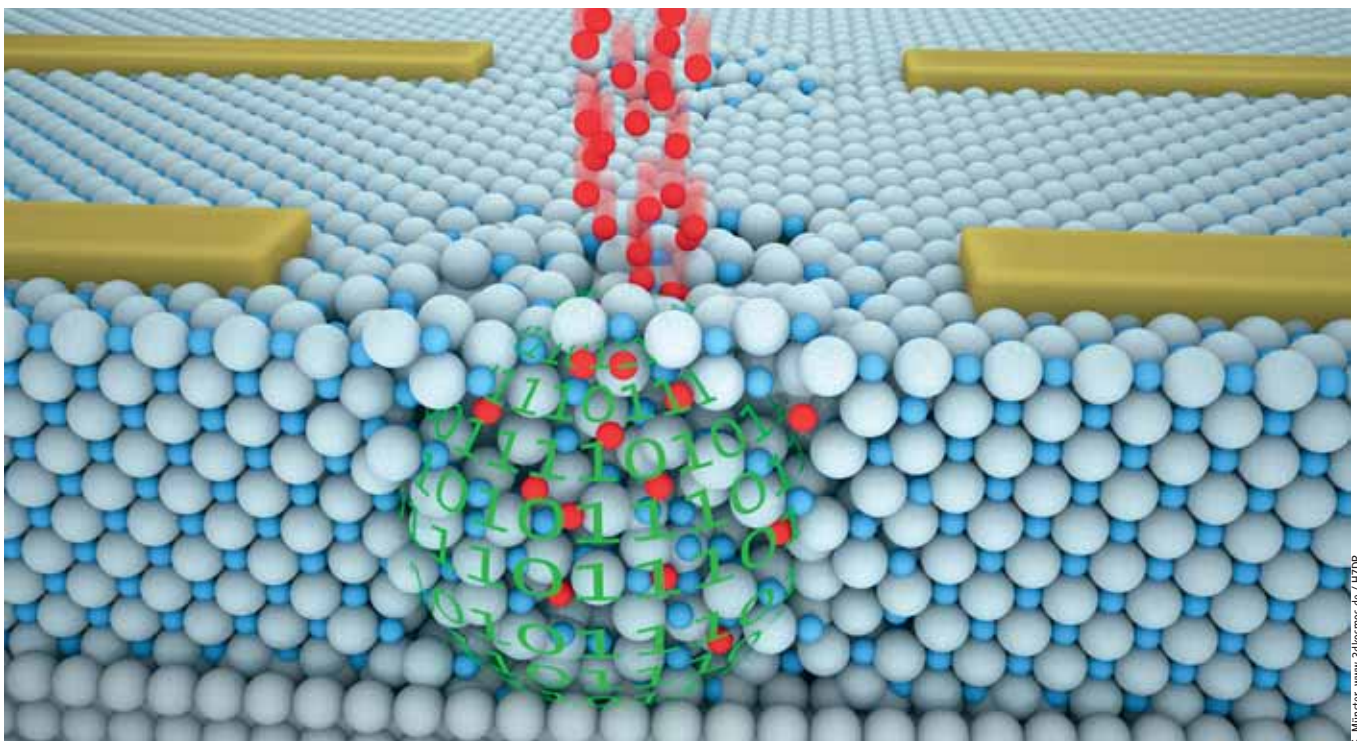


Abb. 2: Eine Darstellung des Prinzips von MEMRIOX: Ionen (rot) modifizieren eine oxidische Schicht (weiß und blau) so, dass die Speicherung von Daten ermöglicht wird.

hergestellt werden – ein Thema, mit dem sich die Diplom-Naturwissenschaftlerin Solveig Rentrop in ihrer Promotion beschäftigt und damit stellvertretend für den wissenschaftlichen Nachwuchs in MEMRIOX steht. Sie stellt im Zentralen Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg definierte Dünnschichten von Strontiumtitanat (STO) her. Strontiumtitanat – mit der chemischen Formel SrTiO_3 – gehört zur Stoffklasse der Perowskite und hat idealerweise eine kubische, hochsymmetrische Struktur. Es besteht aus sich jeweils abwechselnden Ebenen von Titandioxid (TiO_2) und Strontiumoxid (SrO). Perowskite sind aufgrund ihrer bemerkenswerten Eigenschaften wie Ferroelektrizität und Supraleitung in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Die resistiven Schaltprozesse an Strontiumtitanat werden schon seit Jahren erforscht. STO hat dadurch inzwischen einen gewissen Modellcharakter für die resistive Speicherforschung gewonnen.

Das in Freiberg eingesetzte Verfahren zur Herstellung der Dünnschichten ist die Atomlagenabscheidung (ALD), eine Methode, die es erlaubt, Atomlage für Atomlage auf einem Substrat aufwachsen zu lassen. Um dieses atomgenaue Wachstum zu gewährleisten, muss eine generelle Schrittfolge eingehalten werden:

Zuerst wird eine Vorläuferverbindung, der sogenannte Präkursor, in die mit inertem Stickstoff gefüllte Reaktorkammer geleitet. In dieser befindet sich bei definiertem Niveau von Druck und Temperatur das Substrat, auf das die Schicht aufwachsen soll. Der Präkursor wechselwirkt mit der Oberfläche des Substrats und wird an ihr adsorbiert, bis sich eine geschlossene Schicht aus Präkursor-

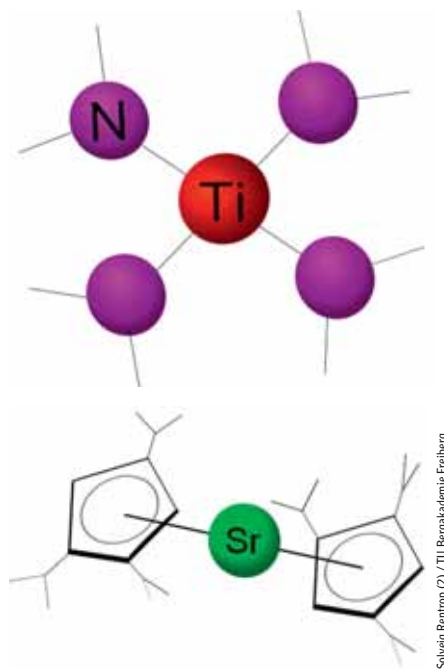


Abb. 3: TDMAT als Präkursor zur Abscheidung von Titandioxid (oben) und Absolute Strontium als Präkursor zur Abscheidung von Strontiumoxid (unten)

molekülen gebildet hat. Danach folgt der sogenannte Spülschritt: Stickstoff wird durch die Reaktorkammer geleitet und transportiert Desorptionsprodukte und nicht in Reaktion getretene Präkursor-moleküle aus der Kammer heraus.

Ein zweiter Präkursor fungiert bei der Herstellung oxidischer Schichten als Sauerstofflieferant und ist im einfachsten Fall Wasser. Die Wassermoleküle reagieren mit den bereits adsorbierten Präkursor-molekülen an der Substratoberfläche so, dass sich die gewünschte Schicht als eine geschlossene Monolage ausbildet.

Ein zweiter Spülschritt gewährleistet, dass auch hier alle Reaktionsprodukte und nicht chemisch umgesetzten Edukt-

moleküle abtransportiert werden.

Da es nicht möglich ist, mehr als eine Monolage pro Abscheidungszyklus zu erreichen, spricht man auch von einer selbstlimitierenden Reaktion. Die Präkursoren, die Solveig Rentrop bei ihrer STO-Herstellung benutzt, sind Tetrakis(dimethylamido)titan (TDMAT) und Wasser für die Abscheidung von Titandioxid, die sich im Wechsel mit der von Strontiumoxid aus *Absolute Strontium* und Wasser vollzieht (Abb. 3).

Die hergestellten Proben wurden bereits elektrisch und optisch charakterisiert, wobei gezeigt werden konnte, dass es sich bei den Schichten tatsächlich um amorphes, elektrisch isolierendes Strontiumtitanat handelt. Dies ist eine keineswegs triviale Feststellung, da die Atomlagenabscheidung nur unter optimalen Reaktionsbedingungen und korrekt gewählten Abscheideparametern verlässlich und reproduzierbar verlaufen kann. So müssen beispielsweise für reines und stöchiometrisches STO in der Anlage Temperaturen über 300 °C gewährleistet werden. Anschließend verlassen die in Freiberg entstandenen STO-Schichten den Reinraum und nehmen einen langen Weg, um von den Partnern des MEMRIOX-Projekts weitergehend analysiert, charakterisiert und modifiziert zu werden. Am Ende steht als Ziel der resistive Speicher; der erste Schritt dahin wurde bereits erfolgreich absolviert.

Literatur

Solveig Rentrop, Theresa Moebus, Ralph Strohmeyer, Alexander Schmid, Florian Hanzig, Tobias Weling, Barbara Abendroth, Hartmut Stöcker, Dirk C. Meyer: Atomic layer deposition of SrTiO_3 films from $\text{Sr}(\text{iPr}_2\text{Cp})_2$, TDMAT and H_2O , Thin Solid Films, in Vorbereitung.

100 Jahre Röntgenbeugung

Aktuelle Entwicklungen in der Strukturforschung mit Röntgenstrahlen

David Rafaja¹, Hartmut Stöcker², Dirk C. Meyer², Reinhard Kleeberg³

1. Einleitung

Im Jahr 1912 haben in München Walter Friedrich und Paul Knipping nach den theoretischen Überlegungen Max von Laues die ersten Beugungsexperimente

mit Röntgenstrahlen durchgeführt. Damit schufen diese drei Wissenschaftler die Grundlagen einer äußerst leistungsfähigen experimentellen Methode, die heutzutage in vielen Bereichen der Wissenschaft – von der Physik über die Materialwissenschaft, die Mineralogie und die Chemie bis hin zur Strukturbioogie – Anwendung findet. Im Laufe der Jah-

re hat sich die Röntgenbeugung zu einer prominenten und zum Teil einzigartigen Technik entwickelt, die standardmäßig für Kristallstrukturanalyse, Phasenanalyse, Realstrukturanalyse und Mikrostrukturanalyse verwendet wird.

Obwohl die Röntgenbeugung in diesem Jahr ihr 100. Jubiläum feiert und obwohl die Röntgenbeugungsmethoden in vielen Anwendungsbereichen durch die Bereitstellung von automatischen Auswertungsroutinen mehr als ausreichend popularisiert wurden, besteht immer noch Bedarf an der Weiterentwicklung der Röntgenbeugung als Methode für die gründliche und statistisch relevante Materialanalyse mit Auflösung auf ato-

1 Institut für Werkstoffwissenschaft
2 Institut für Experimentelle Physik
3 Institut für Mineralogie
(alle TU Bergakademie Freiberg)

marer Skala. In diesem Artikel werden aktuelle Beiträge dreier Institute der TU Bergakademie Freiberg vorgestellt, die die Röntgenbeugungsmethoden weiterentwickeln: des Instituts für Werkstoffwissenschaft, des Instituts für Experimentelle Physik und des Instituts für Mineralogie. Diese methodischen Entwicklungen sind ein profunder Beweis dafür, dass die Röntgenbeugung eine zeitgemäße Methode ist, deren Bedeutung keinesfalls schwindet.

2. Aktuelle Arbeiten des Instituts für Werkstoffwissenschaft

Das Institut für Werkstoffwissenschaft beschäftigt sich – so wie bereits das ehemalige Institut für Metallkunde – mit der Untersuchung der Kristallbaufehler und Mikrostrukturdefekte in Funktions- und Konstruktionswerkstoffen sowie mit der Beschreibung der Struktur-Eigenschaftskorrelationen in Werkstoffen mit hoher Dichte der Kristallstrukturdefekte. Dass Kristallstrukturdefekte die Materialeigenschaften nicht immer verschlechtern müssen, sondern diese im Gegenteil sogar verbessern können, wird derzeit im Rahmen des fachübergreifenden Spitzentechnologieclusters „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering“ (ADDE) [1] demonstriert.

Zu den aktuellen Themen des Instituts für Werkstoffwissenschaft gehört die Beschreibung der Defektstrukturen in nanokristallinen Materialien und in Nanokompositen, die schon allein wegen der immensen Dichte ihrer inneren Grenzflächen zu den extrem defektreichen Werkstoffen gehören. Diese Arbeiten wurden teilweise durch neue Entwicklungen in der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) stimuliert, die es inzwischen erlaubt, die Struktur der Materialien bis auf atomares Niveau abzubilden. Mit Hilfe der TEM ist es möglich geworden, Mikrostrukturfragmente direkt darzustellen und entsprechende lokale Mikrostrukturmodelle zu bilden. Der größte Nachteil der TEM ist jedoch die Unvereinbarkeit einer hohen Auflösung und zugleich einer ausreichenden statistischen Zuverlässigkeit. Die Röntgenbeugung ist ebenfalls extrem empfindlich gegenüber Änderungen der atomaren Anordnung in der Nähe der Kristallstrukturdefekte. Im Gegensatz zur TEM bietet die Röntgenbeugung jedoch eine über das Volumen

von fast $0,1 \text{ mm}^3$ gemittelte Information über die Mikrostruktur der Werkstoffe. So können Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur und den (makroskopischen) Werkstoffeigenschaften besser beschrieben werden, wie es im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1204 der DFG „Algorithmen zur schnellen, werkstoffgerechten Prozesskettengestaltung und -analyse in der Umformtechnik“ am Beispiel der Korrelation zwischen der mittels Röntgenbeugung ermittelten relativen Versetzungsdichte und der Bruchfestigkeit von warmgewalzten und kaltgezogenen ferritisch-perlitischen Stählen gezeigt wurde [2, 3].

Eine weitere Anwendung findet die Röntgenbeugung im Sonderforschungsbereich 799 der DFG „Design von zähen, umwandlungsverstärkten Verbundwerkstoffen und Strukturen auf Fe-ZrO₂-Basis“ [4], wo sie für die Charakterisierung der Mikrostruktur von Stählen mit umwandlungsinduzierter Plastizität (TRIP-Stähle) genutzt wird. Unlängst konnte gezeigt werden, dass der seit langem bekannte ϵ -Martensit lediglich eine Defektstruktur innerhalb des kubisch-flächenzentrierten Austenits ist. Bei dieser Defektstruktur kommt es zu einer Anordnung der deformationsinduzierten Stapelfehler nach jeder zweiten kubischen Netzebene {111}, die im Diffraktogramm wie eine hexagonale Phase aussieht [5]. Um die Bildung und Ausbreitung von Stapelfehlern im Austenit in-situ unter mechanischer Belastung verfolgen zu können, wurde ein Algorithmus entwickelt, mit dem aus der kristallographischen Anisotropie der Verschiebung der Röntgenbeugungslinien die elastische Deformation, die elastische Spannungskomponente und die mit der Bildung von Stapelfehlern verbundene plastische Deformation ermittelt werden können [6].

Wie schon eingangs erwähnt, wurden viele jüngere Entwicklungen in der Strukturforschung mit Röntgenstrahlen durch eine immer bessere Auflösung der Transmissionselektronenmikroskopie stimuliert. Anders war es jedoch bei der theoretischen Beschreibung der partiellen Kohärenz der Nanokristallite [7]. Dieses Phänomen wurde zunächst durch die Röntgenbeugung an Dünnschicht-Nanokompositen als partielle Überlagerung der reziproken Gitterpunkte von benachbarten Nanokristalliten beobachtet und mit kleinen lokalen Gitterrotationen von $\sim 1^\circ$ in Zusammenhang gebracht [7]. Der Effekt der partiellen Kohärenz konnte

aber bald genutzt werden, um einen markanten Anstieg der Härte in den durch die Entmischung einer übersättigten festen Lösung wie z. B. (Ti,Al)N, (Cr,Al)N oder (Zr,Al)N entstandenen Nanokompositen zu erklären [8]. Später wurde für solche metastabilen Systeme ein Mikrostrukturmodell entworfen, nach dem die Röntgenbeugung nicht nur eine Fragmentierung von Clustern mit Größen unter 100 nm in Nanokristallite mit Größen unterhalb von 10 nm erkennen, sondern auch die Größe der ursprünglichen Cluster, die Größe der neu entstandenen Nanokristallite und die mittlere Desorientierung der angrenzenden Kristallite ermitteln kann [9, 10].

Diese Arbeiten zur partiellen Kohärenz der Nanokristallite waren ausschlaggebend für das Mikrostrukturdesign in Nanokompositen auf der Basis von Bornitrid, in denen statt der kontrollierten Entmischung eine durch hohen Druck ($\sim 10 \text{ GPa}$) und durch hohe Temperatur ($\sim 1800^\circ\text{C}$) gesteuerte sukzessive Phasenumwandlung des graphitischen Bornitrids in seine wurtzitische und kubische Form genutzt wurde, um superharte Nanokomposite mit Härten bis ca. 90 GPa zu synthetisieren [11]. Auch bei diesen BN-Nanokompositen wurde die Röntgenbeugung genutzt, um die Existenz der partiell kohärenten inneren Grenzflächen nachzuweisen und die Mikrostrukturdefekte zu identifizieren [12].

3. Aktuelle Arbeiten des Instituts für Experimentelle Physik

Unter der Leitung von Prof. Dirk C. Meyer wird seit 2010 ein neues Röntgenlabor im Gellertbau eingerichtet. Gemäß der inhaltlichen Ausrichtung der Arbeitsgruppe „Verbindungshalbleiter und Festkörperspektroskopie“ liegt der Fokus dabei auf der strukturellen Charakterisierung oxidischer Halbleitermaterialien.

Schwerpunkte sind zum einen die im angrenzenden Zentralen Reinraumlabor mit verschiedenen Methoden hergestellten Nanometerdünnschichten sowie zum anderen die In-situ-Diffraktometrie zur Untersuchung der strukturellen Auswirkungen elektrischer Felder in Oxidkristallen. Insbesondere zur Charakterisierung dünner Schichten kommen vielfältige Röntgenmethoden zum Einsatz: die Röntgenspektroskopie zur Bestimmung der atomaren Zusammensetzung der Proben, die Röntgenreflektometrie zur Aufklärung von Dicke, Dichte und Rauigkeit der Schichten sowie die



Abb. 1: Messaufbau für DAFS und AAS an der Beamline C des Speicherrings Doris III in Hamburg.

Röntgendiffraktometrie für die Phasen- und Eigenspannungsanalyse.

Methodische Weiterentwicklungen des Instituts für Experimentelle Physik betreffen die anisotrope Streuung unter resonanter Anregung zum Studium der lokalen Symmetrie von Punktdefekten. Dazu beteiligt sich die TU Bergakademie Freiberg im Rahmen der Erweiterung des Hamburger Synchrotronlabors Petra III am Aufbau der Chemical Crystallography Beamline P24. Die energieabhängige Streuung von Röntgenstrahlung, bekannt als *Diffraction Anomalous Fine Structure* (DAFS) bzw. *Anomalous Anisotropic X-ray Scattering* (AAS), bietet dabei Zugang zu Parametern der unmittelbaren lokalen Umgebung der resonant angeregten Streuer. Zusätzlich zur sonst üblichen *Extended X-ray Absorption Fine Structure* (EXAFS) wird hierbei noch die Abhängigkeit vom jeweils angeregten Reflex der Probe ausgenutzt. Erste Experimente an bereits bestehenden Beamlines des Hamburger Synchrotronlabors HASYLAB wurden erfolgreich durchgeführt (Abb. 1). Diese ermöglichten die Bestimmung der lokalen Symmetrie des Titan-Atoms in Rutil, TiO_2 , mit Sauerstoff-Leerstellen [13].

4. Aktuelle Arbeiten des Instituts für Mineralogie

Am Institut für Mineralogie wird die Röntgendiffraktometrie vorwiegend zur Phasenanalyse und zur Kristallstrukturanalyse eingesetzt. Den Schwerpunkt bildet dabei die Röntgenpulverdiffraktometrie an Geomaterialien, also Gesteinen, Mineralen, Erzen, Aufbereitungsprodukten und Baustoffen mit mineralischen Komponenten. Derartige Proben zeichnen sich oft durch einen vielfältigen und à priori unbekanntem Phasenbestand aus, sodass meist die qualitative Phasenanalyse der erste (und oft unterschätzte) Schritt einer röntgendiffraktometrischen Untersuchung sein muss. Insbesondere für feinkörnige Proben, z. B. tonmineralhaltige Gesteine, ist die Röntgenpulverdiffraktometrie fast das einzige Verfahren, das die notwendigen strukturellen Informationen für eine Identifizierung und Quantifizierung des Mineralbestands liefern kann.

Neben der Anwendung von röntgendiffraktometrischen Standardverfahren in verschiedenen Projekten widmet sich das Institut für Mineralogie der Verbesserung von Methoden für die Struktur- und Phasenanalyse. Insbesondere das Rietveld-Verfahren und das Computer-

Programm BGMN [14, 15] wurden in Kooperation mit Dr. Jörg Bergmann (+) und Dr. Friedel aus dem Leibniz-Institut für Polymerforschung in Dresden sowie mit Dr. Ufer (jetzt Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover) weiterentwickelt. Dabei wurde in den letzten Jahren vor allem der Einfluss von Fehlern in Tonmineralen auf Röntgenpulverdiffraktogramme beschrieben und modelliert. Für turbostratische Schichtstrukturen wurde eine effektive Lösung mit der Einführung des sogenannten *single-layer approach* [16] gefunden, die mittlerweile von anderen Arbeitsgruppen in weitere Softwarepakete integriert wurde. Seitdem wird dieses Modell vor allem für die Quantifizierung und strukturelle Charakterisierung von Smektitmineralen in verschiedenen Projekten erfolgreich eingesetzt [17–19]. In mehreren Vergabeprojekten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurde nun das rekursive Verfahren zur Berechnung der Beugungseffekte von Wechsellagerungsstrukturen in das Rietveld-Programm BGMN integriert und für die Strukturanalyse von Schichtstrukturen angewandt [20, 21]. Auf diesem Gebiet geht die Kooperation mit der BGR weiter, und es läuft ein Pro-

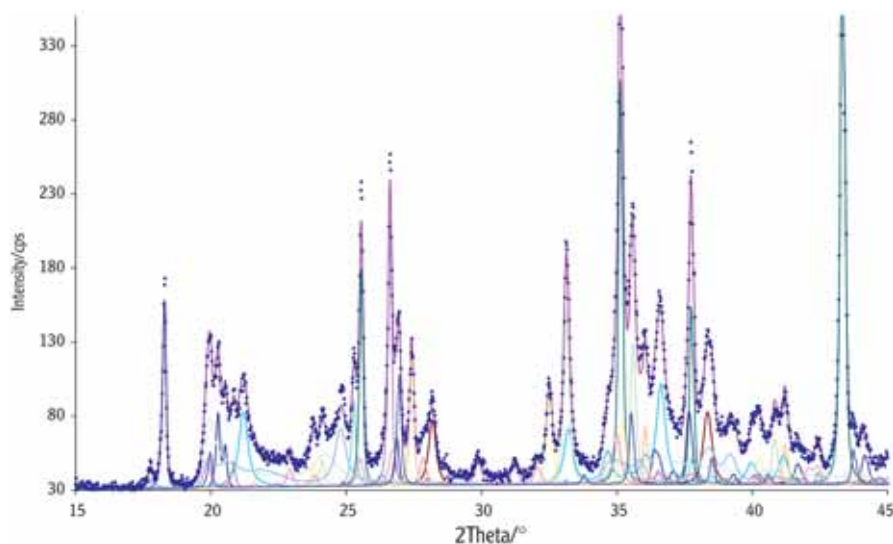


Abb. 2: Ausschnitt aus einem Rietveld-Profil einer Testmischung eines Bauxiterzes, bestehend aus 13 kristallinen Mineralphasen. Diese Probe war Bestandteil des internationalen Ringversuchs „Reynolds Cup“ 2012 [24].

jekt zur detaillierten Strukturanalyse von dioctaedrischen Smektiten.

Die Röntgenpulverdiffraktometrie in der geowissenschaftlichen Forschung ist ein wichtiges Werkzeug für die Untersuchung von Lagerstätten. Hier wird z. B. die quantitative Verteilung der Mineralgehalte zum Verständnis von hydrothermalen Alterationsprozessen bei der Erzabscheidung benötigt [22, 23]. Die quantitative Phasenanalyse an derart komplex zusammengesetzten Gesteinen stellt eine extreme Herausforderung für die röntgendiffraktometrische Analyse dar. Durch die Überlagerung der Diffraktogramme der Einzelphasen (Abb. 2), die strukturelle Variabilität der beteiligten Minerale und die Vielfalt der Fehlordnungerscheinungen in natürlichen Proben sind methodische Arbeiten erforderlich, um brauchbare quantitative Phasenanalysen zu erzielen. In international vergleichenden Ringuntersuchungen hat das Institut für Mineralogie gezeigt, dass es auf diesem Gebiet zu den weltweit führenden Arbeitsgruppen gehört [24, 25].

Danksagung

D. R. möchte sich bei den Mitarbeitern des Instituts für Werkstoffwissenschaft und bei allen Kooperationspartnern (Institut für Metallformung und Institut für Anorganische Chemie der TU Bergakademie Freiberg) für eine exzellente Zusammenarbeit sowie bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft, bei der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, beim Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und beim Freistaat Sachsen für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten bedanken. H. S. bedankt sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung der methodischen Arbeiten und R. K. bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für die finanzielle Unterstützung und

die langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit. Annegret Bergmann verdanken wir die Rechte zur Weiterentwicklung des von ihrem leider viel zu früh verstorbenen Mann Jörg Bergmann erarbeiteten Programms BGMN.

Referenzen

- 1 <http://tu-freiberg.de/ze/adde/>
- 2 D. Šimek, D. Rafaja, M. Motylenko, V. Klemm, G. Schreiber, A. Brethfeld, G. Lehmann: XRD analysis of local strain fields in pearlitic steels – towards the fast examination of microstructure after rolling, *steel research int.* 79 (2008) 800–806.
- 3 D. Šimek, D. Rafaja, M. Motylenko, V. Klemm, C. Ullrich, A. Oswald, R. Schmidtchen, G. Lehmann: The exploitation of X-ray diffraction in characterization of strength of hot-rolled and cold-drawn ferritic-pearlitic steel, *Materials Structure* 18 (2011) 178–183.
- 4 <http://tu-freiberg.de/ze/sfb799/>
- 5 S. Martin, C. Ullrich, D. Šimek, U. Martin, D. Rafaja: Stacking fault model of ϵ -martensite and its DIFFaX implementation, *J. Appl. Cryst.* 44 (2011) 779–787.
- 6 D. Rafaja, C. Krbetschek, D. Borisova, G. Schreiber, V. Klemm: In situ X-ray diffraction study of stacking faults formation in the near-surface region of TRIP steels, *Thin Solid Films*, in press, doi: 10.1016/j.tsf.2012.07.067.
- 7 D. Rafaja, V. Klemm, G. Schreiber, M. Knapp, R. Kužel: Interference phenomena observed by X-ray diffraction in nanocrystalline thin films, *J. Appl. Cryst.* 37 (2004) 613–620.
- 8 D. Rafaja, A. Poklad, V. Klemm, G. Schreiber, D. Heger, M. Šíma, M. Dopita: Some consequences of the partial crystallographic coherence between nanocrystalline domains in Ti-Al-N and Ti-Al-Si-N coatings, *Thin Solid Films* 514 (2006) 240–249.
- 9 D. Rafaja, C. Wüstefeld, M. Dopita, M. Růžička, V. Klemm, G. Schreiber, D. Heger, M. Šíma: Internal structure of clusters of partially coherent nanocrystallites in Cr-Al-N and Cr-Al-Si-N coatings, *Surf. Coat. Technol.* 201 (2007) 9476–9484.
- 10 D. Rafaja, C. Wüstefeld, M. Dopita, V. Klemm, D. Heger, G. Schreiber, M. Šíma: Formation of defect structures in hard nanocomposites, *Surf. Coat. Technol.* 203 (2008) 572–578.

- 11 D. Rafaja, V. Klemm, M. Motylenko, M.R. Schwarz, T. Barsukova, E. Kroke, D. Frost, L. Dubrovinsky, N. Dubrovinskaia: Synthesis, microstructure and hardness of bulk ultrahard BN nanocomposites, *J. Mater. Research* 23 (2008) 981–993.
- 12 D. Rafaja, C. Wüstefeld, M. Motylenko, C. Schimpf, T. Barsukova, M.R. Schwarz, E. Kroke: Interface phenomena in (super)hard nitride nanocomposites: from coatings to bulk materials, *Chem. Soc. Rev.* 41 (2012) 5081–5101.
- 13 M. Zschornak: Freiburger Beteiligung an neuer Chemical Crystallography Beamline, *Acamonta* 18 (2011) 66–67.
- 14 J. Bergmann, R. Kleeberg, T. Taut: Quantitative Phase Analysis Using a New Rietveld Algorithm – Assisted by Improved Stability and Convergence Behavior, *Advances in X-Ray Analysis* 40 (1997) 425.
- 15 J. Bergmann, P. Friedel, R. Kleeberg: BGMN – a new fundamental parameters based Rietveld program for laboratory X-ray sources, its use in quantitative analysis and structure investigations, *Commission of Powder Diffraction, International Union of Crystallography CPD Newsletter* 20 (1998) 5–8.
- 16 K. Ufer, G. Roth, R. Kleeberg, H. Stanjek, R. Dohrmann, J. Bergmann: Description of X-ray powder pattern of turbostratically disordered layer structures with a Rietveld compatible approach, *Z. Kristallogr.* 219 (2004) 519–527.
- 17 K. Ufer, H. Stanjek, G. Roth, R. Dohrmann, R. Kleeberg, S. Kaufhold: Quantitative phase analysis of bentonites by the Rietveld method, *Clays and Clay Minerals* 56 (2) (2008) 272–282.
- 18 G. Giorgetti, T. Monecke, R. Kleeberg, M.D. Hannington: Low-temperature hydrothermal alteration of trachybasalt at conical seamount, Papua New Guinea: Formation of smectite and metastable precursor phases, *Clays and Clay Minerals* 57 (6) (2009) 725–741.
- 19 S. Kaufhold, R. Dohrmann, K. Ufer, R. Kleeberg, H. Stanjek: Termination of swelling capacity of smectites by Cu_{Uien} exchange, *Clay Minerals* 46 (2011) 411–420.
- 20 K. Ufer, R. Kleeberg, J. Bergmann, H. Curtius, R. Dohrmann: Refining real structure parameters of disordered layer structures within the Rietveld method, *Z. Kristallogr. Suppl.* 27 (2008) 151–158.
- 21 K. Ufer, R. Kleeberg, J. Bergmann, R. Dohrmann: Rietveld refinement of disordered illite-smectite mixed layer structures by a recursive algorithm. Part I: One-dimensional patterns, *Clays and Clay Minerals*, accepted.
- 22 G. Giorgetti, T. Monecke, R. Kleeberg, M.D. Hannington: Low-temperature hydrothermal alteration of silicic glass at the Pacmanus hydrothermal vent field, Manus Basin: an XRD, SEM and AEM-TEM study, *Clays and Clay Minerals* 54 (2) (2006) 240–251.
- 23 T. Monecke, G. Giorgetti, O. Scholtysek, R. Kleeberg, J. Götze, M.D. Hannington, S. Petersen: Textural and mineralogical changes associated with the incipient hydrothermal alteration of glassy dacite at the submarine PACMANUS hydrothermal system, eastern Manus Basin, *J. Volcanology and Geothermal Research* 160 (2007) 23–41.
- 24 <http://www.clays.org/SOCIETY%20AWARDS/RResults.html>
- 25 O. Omotoso, D.K. McCarty, S. Hillier, R. Kleeberg: Some successful approaches to quantitative mineral analysis as revealed by the 3rd Reynolds Cup contest, *Clays and Clay Minerals* 54 (6) (2006) 751–763.

Anpassung aktiver Fahrzeugcrashstrukturen an mögliche Unfallsituationen zur Insassenschutzverbesserung und Unfallkostenminderung

Wolfgang Geißler, Anne Kreyßig, Matthias Kröger¹

Einleitung

Mit 3.648 Personen gab es im Jahr 2010 so wenig Verkehrstote wie noch nie auf deutschen Straßen seit 1950. Bezogen auf den kontinuierlich steigenden Bestand an motorisierten Fahrzeugen (2010: 52,3 Mio.) wurde der Anteil an getöteten Personen je zehntausend Fahrzeuge von 2,5 im Jahre 1990 auf 0,7 (2010) und bezogen auf die Bevölkerung sogar auf weniger als 0,45 je zehntausend Einwohner gesenkt. Im Vergleich zu den tatsächlich auf deutschen Straßen jährlich gefahrenen Kilometern fällt diese positive Entwicklung mit 5,2 Getöteten je Milliarde gefahrener Kilometer noch mehr ins Gewicht.

Die Zahl der Verkehrstoten wurde seit 2000 in Deutschland halbiert (Abb. 1). Laut Vorgaben der EU soll sich dieser Wert bis 2020 nochmals um die Hälfte reduzieren und bis 2050 auf nahezu 0 sinken. [2]

Neben verkehrsrechtlichen Regelungen, wie z. B. der Einführung der Gurtanlegepflicht und der Senkung der Promillegrenze, hat die ständige Verbesserung der Sicherheit und der technischen Ausstattung der Fahrzeuge einen wesentlichen Beitrag zu dieser positiven Entwicklung geliefert. Um nun die Zahl der bei einem Verkehrsunfall verletzten oder getöteten Personen noch weiter zu senken, gewinnt bei der Entwicklung von Fahrzeugen die sog. passive Sicherheit an Bedeutung. Unter dem Begriff der passiven Sicherheit werden all die Maßnahmen am Fahrzeug zusammengefasst, die die Unfallfolgen für die Insassen oder auch für Fußgänger als Unfallpartner verringern.

Moderne Crashstrukturen sollen deshalb für die verschiedensten Unfallsituationen einerseits die Sicherheitsbedürfnisse aller Insassen und Unfallbeteiligten berücksichtigen, andererseits aber auch die Reparaturkosten, z. B. bei Bagatellunfällen, niedrig halten. Welche

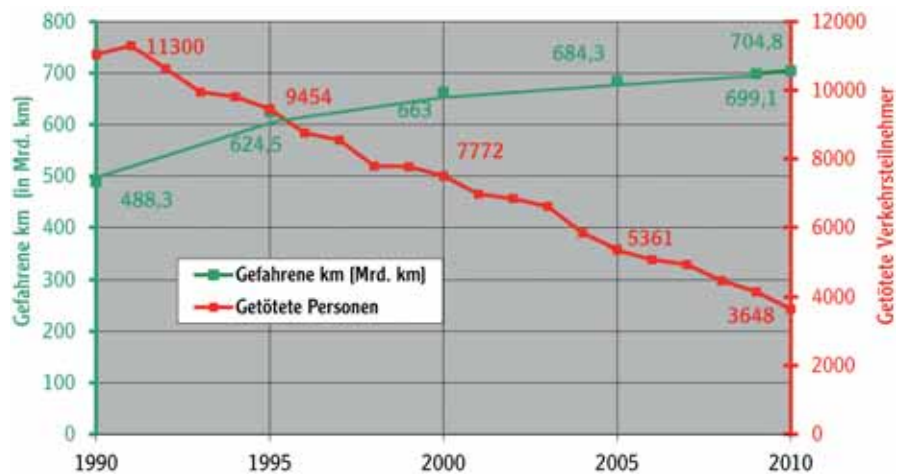


Abb. 1: Bei Verkehrsunfällen seit 1990 getötete Personen im Vergleich zur jährlichen Fahrleistung auf deutschen Straßen [1, 2]

Anforderungen an die Crashstrukturen bei einem Unfall gerade entscheidend sind, hängt unter anderem ab

- von der Relativgeschwindigkeit der beteiligten Unfallpartner (hoch, mittel, gering),
- von den Kollisionspartnern (Pkw, Lkw, Baum, Fußgänger) und
- von deren Lage zueinander (Seiten- oder Frontalaufprall, Axial- oder Schrägaufprall, kleine oder große Überdeckung).

Heutige Crashstrukturen können diese zum Teil gegenläufigen Anforderungen nur durch Kompromisse erfüllen. So besitzt die Frontstruktur hintereinander geschaltete Bauteile (Schaum, Querträger, Crashabsorber, Längsträger) mit in dieser Reihenfolge steigender Aufnahmefähigkeit für axiale Deformationskraft (Abb. 2).

Derartige Konzepte verschenken bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten lebenswichtigen Deformationsweg auf niedrigem Kraftniveau; bei geringen Aufprallgeschwindigkeiten sind demgegenüber teure Reparaturen notwendig. Hier setzt die Entwicklung aktiver Crashstrukturen an, die das Kraftniveau beziehungsweise die Energieaufnahme je nach Unfallsituation verändern können oder sogar den Kraftfluss im Fahrzeug variieren. Dies bedeutet, dass die aktiven Crashstrukturen zur Optimierung der Frontstruktur zwischen mindestens zwei unterschiedlichen Deformationskräften geschaltet werden können. Voraussetzung hierfür ist jedoch die Erkennung der Unfallsituati-

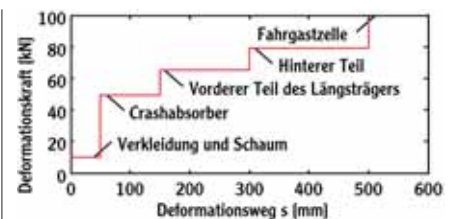


Abb. 2: Gestufter Deformationskraftverlauf als Kompromiss zwischen den einzelnen Anforderungen unter Berücksichtigung der tragenden Komponenten einer Fahrzeughälfte [3]

on, bevor die Crashstrukturen deformiert werden. Bewährte Sensoren für die Airbagaktivierung reichen hier nicht mehr aus, da diese ihre Signale erst abgeben, wenn wesentliche Teile der Frontstruktur bereits zerstört wurden. Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf dem Gebiet der Sensorik führten inzwischen dazu, dass der Unfallgegner relativ frühzeitig (z. B. durch Bildverarbeitung) erkannt oder die Relativgeschwindigkeit zum voranfahrenden Fahrzeug durch Sensoren bestimmt werden kann. So ist mittlerweile bereits wenige Millisekunden vor dem Unfall eine Aussage über dessen Schwere bzw. über den Kollisionspartner (PKW oder Fußgänger) möglich.

Lösungsansätze

Im 1997 angemeldeten Patent DE 19745656 [4] wurden zwei mögliche Wege zum Erreichen unterschiedlicher Kraftniveaus je nach Schaltstellung eines aktiven Crashabsorbers aufgezeigt (Abb. 3). Bei der Verwendung von zwei

¹ Dr.-Ing. Wolfgang Geißler, Dipl.-Ing. Anne Kreyßig, Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger
TU Bergakademie Freiberg, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung
Agricolastraße 1 · 09599 Freiberg
Tel. +49 3731 39-2997
Kroeger@imkf.tu-freiberg.de

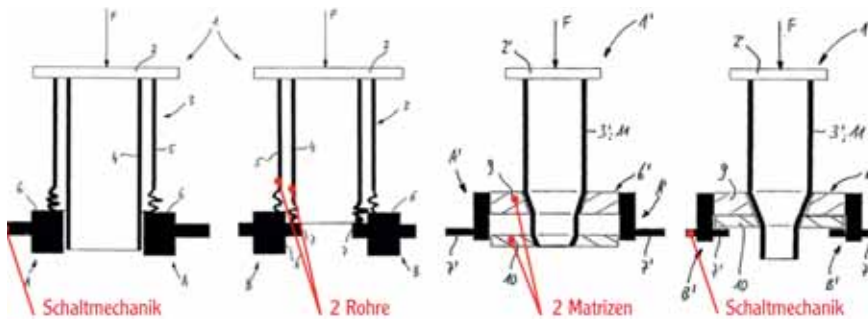


Abb 3: Darstellung der Prinzipien zur Schaltung aktiver Crashabsorber bei Faltung (links) und Verjüngung (rechts) [4]

Profilen parallel zu- oder ineinander besteht die Möglichkeit, durch einen Schaltriegel entweder nur ein Profil oder beide mit der Crashkraft zu beaufschlagen. Werden beide Profile belastet, ist eine größere Crashkraft zum Deformieren notwendig, was zu größerer Energieaufnahme führt. Eine zweite Variante beruht auf dem Prinzip der Verjüngung von Rohren, das häufig in Crashabsorbern Verwendung findet. Hier kann durch eine zweistufige, schaltbare Matrize die Verjüngung auf zwei Enddurchmesser eingestellt und so die Deformationskraft variiert werden. Die hier vorgestellten Lösungen waren so ausgelegt, dass ein Schaltmechanismus den Kraftfluss innerhalb des Crashabsorbers verändert.

Da jedoch die Kräfte in der Crashstruktur sehr hoch sein können, müssen nicht nur die Schaltriegel relativ groß und schwer ausgelegt werden, sondern auch die notwendigen Aktuatoren, um kurze Schaltzeiten im Millisekundenbereich zu realisieren, was die Wirtschaftlichkeit der angestrebten Problemlösung erheblich beeinträchtigt.

Die 2010 zum Patent [5] eingereichte zweite Generation aktiver Crashstrukturen zielt deshalb darauf ab, möglichst kleine Stelleingriffe zu realisieren. Genügt wird dieser Anforderung durch die Nutzung der aus der Bewegung beziehungsweise Deformation der Bauteile resultierenden zusätzlichen Energie während des Crashvorgangs. Dies erfolgt

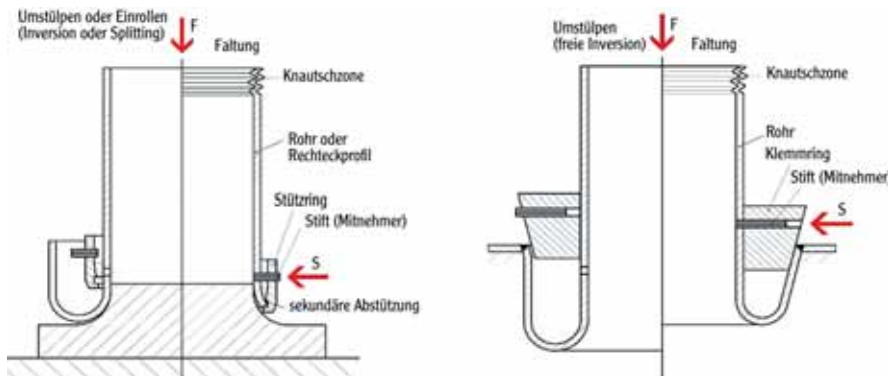


Abb. 4: Links sekundäre Abstützung mittels Stützring, rechts Klemmung zur Steigerung des Kraftniveaus durch Umschalten von Umstülpen auf Faltung

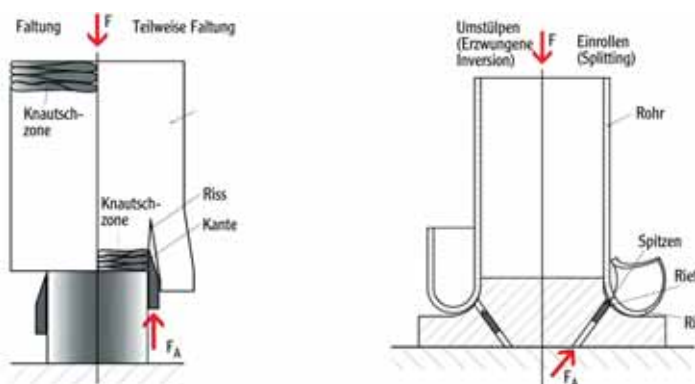


Abb. 5: Links Rissinitiation bei der Faltung; rechts Rissinitiation bei der Inversion

beispielsweise durch Mitführen eines Sperrelementes (Stütz- oder Klemmring) mit der Deformationsbewegung, das eine Veränderung des Deformationsprozesses bewirkt. Die in Abb. 4 rechts gezeigte Lösung nutzt beispielsweise einen Klemmring als Sperrelement, der das Umstülpen des Materials im geschalteten Zustand behindert und dadurch die Faltung des Rohrs auslöst. Dies führt zu höheren Deformationskräften und einer größeren Energieaufnahme der Crashstruktur.

Eine weitere Alternative ist das Erzeugen von Rissen, die ebenfalls den Deformationsprozess verändern und in diesem Fall die Deformationskraft absenken (Abb. 5). Hier verursachen verstellbare Spitzen im Zustand niedriger Deformationskräfte eine Kerbe, die im weiteren Crashverlauf zum Riss wird und die Deformationskraft absinken lässt. Die notwendige Stellkraft und die bewegten Bauteile sind sehr klein, sodass ein leichter, schneller und kostengünstiger Aktuator realisiert werden kann.

Wesentlich für die gezeigten Lösungen ist der lokale Stelleingriff, der damit kostengünstig und mit wenig Masse realisierbar ist. Ihm folgt ein Mitnehmen eines Sperrelementes oder ein weiteres Deformieren (z. B. eine Rissbildung), das durch die Aufprallenergie bewirkt wird und den Deformationsprozess, die Deformationskraft und die Energieaufnahme verändert.

Experimentelle, analytische und numerische Untersuchungen

Am Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung der TU Bergakademie Freiberg wurden zahlreiche Untersuchungen zur Simulation und vergleichend auch experimentelle Untersuchungen zu schaltbaren Crashabsorbern durchgeführt. So wurde unter anderem experimentell nachgewiesen, dass durch die Rissinitiation das Kraftniveau sowohl bei der Faltung als auch bei der Inversion erheblich reduziert werden kann (Abb. 6, 7). Mittels Simulation konnten zunächst die ungeschalteten Kraftniveaus nachgebildet werden.

Neuentwicklungen von Crashstrukturen erfordern zumeist einen erheblichen Aufwand an experimentellen Voruntersuchungen und Erprobungen. Durch den Wunsch, mit einem Crashabsorber mindestens zwei verschiedene Deformationskräfte zu realisieren, steigt der Entwicklungsaufwand für derartige Sys-

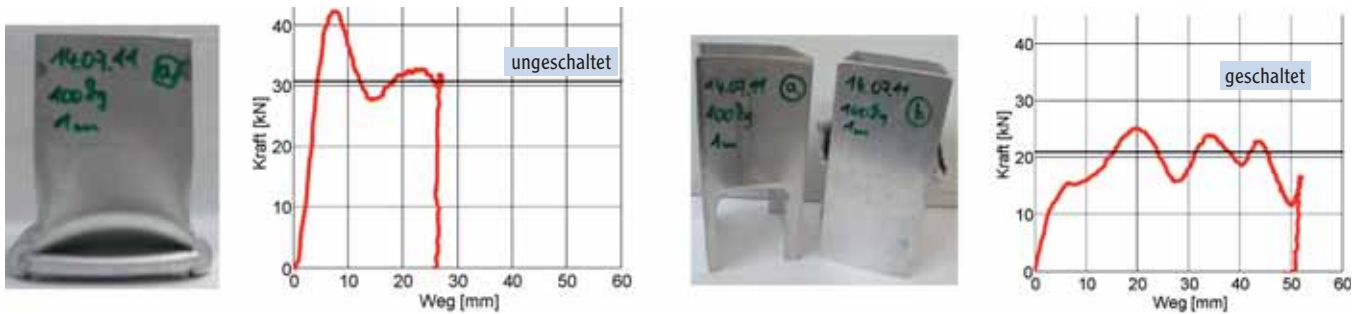


Abb. 6: Verringerung des Kraftniveaus von ca. 30 kN auf 20 kN durch Schaltung bei der Faltung

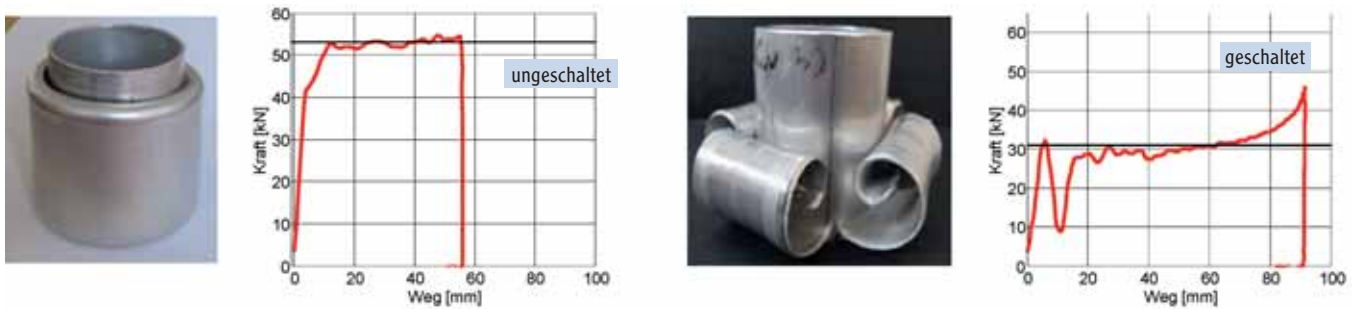


Abb. 7: Verringerung des Kraftniveaus von ca. 54 kN auf 30 kN durch Schaltung bei der Inversion

teme nochmals erheblich an, da nur sehr bedingt auf bestehende Lösungen zurückgegriffen werden kann. Üblich sind daher FE-Simulationen, die aber eine bestehende Konstruktion voraussetzen. Besonders bei Crashabsorbern bietet sich die Möglichkeit an, für die Vorauslegung analytische Berechnungsverfahren zu nutzen. Diese können elementare plastische Deformationen wie Faltung, Verjüngung, Aufweitung oder Inversion von Rohren, basierend auf dem kinematischen Ansatz der Plastizitätstheorie, beschreiben und dadurch die Vorauslegung von Crashabsorbern erheblich vereinfachen.

Mittels Simulation konnten insbesondere bei den ungeschalteten Kraftni-

veaus vergleichbare Ergebnisse zu den experimentellen Untersuchungen erreicht werden (Abb. 8). Simulationen der geschalteten Zustände mit einem geeigneten Schädigungsmodell stehen jedoch noch aus.

Ausblick

Auf der Grundlage der FE-Simulation sowie analytischer und experimenteller Untersuchungen wird gegenwärtig an der Entwicklung von Prototypen schaltbarer Crashabsorber gearbeitet. So lassen sich beispielsweise durch die Schaltung mehrerer Schneiden mittels Hubmagnet relativ einfach Risse in ein Umstülprohr einbringen, wodurch das Deformationsverhalten verändert und das Kraftniveau

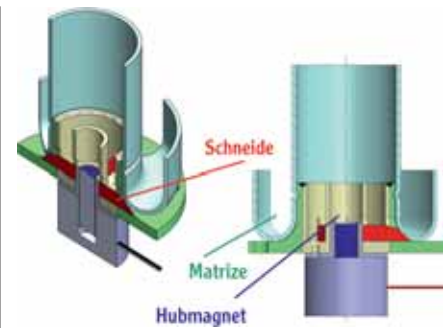


Abb. 9: Prototyp eines schaltbaren Crashabsorbers

entscheidend abgesenkt werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aktive Crashstrukturen Zielkonflikte in der Crashstrukturauslegung lösen und so zu einer höheren passiven Sicherheit beitragen können, wobei eine sensorische Voraberkennung der Unfallsituation und deren Bewertung unbedingt notwendig sind.

Quellenangaben

- 1 Verkehrs- und Unfalldaten, Kurzzusammenstellung der Entwicklung in Deutschland. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Oktober 2011.
- 2 Statistisches Bundesamt: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2010, Wiesbaden 2011.
- 3 Kröger, M.: Methodische Auslegung und Erprobung von Fahrzeug-Crashstrukturen. Dissertation Universität Hannover, 2002.
- 4 Hartlieb, M., Nohr, M., Kröger, M. und Popp, K.: Pralldämpfer für ein Kraftfahrzeug. Patent DE 197 45 656 A1, Anmelder: Daimler Chrysler AG, Anmeldetag 16.10.1997.
- 5 Kröger, M.: Pralldämpfer für ein Kraftfahrzeug. Patent Aktenzeichen 10 2010 047 286.7, Anmelder: TU Bergakademie Freiberg, Anmeldetag 29.09.2010.

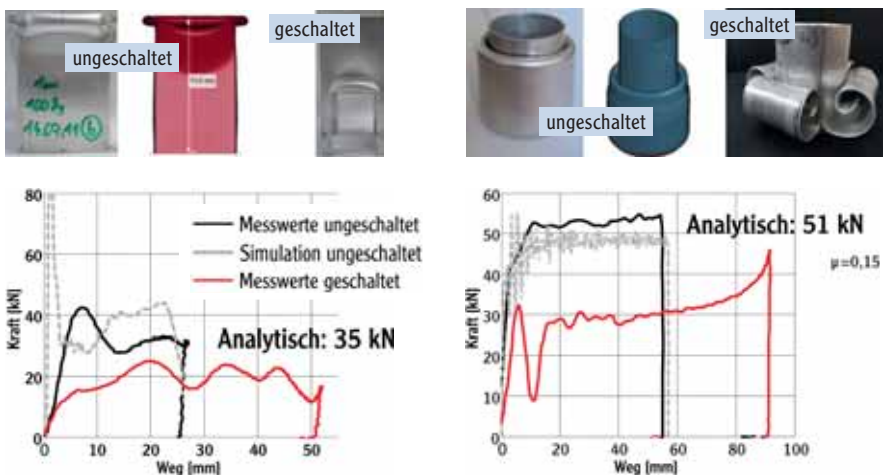


Abb. 8: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für die Kraftverläufe im ungeschalteten Zustand zu den experimentell ermittelten und jenen im geschalteten Zustand sowie Angabe der analytisch berechneten mittleren Kräfte (links: Faltung, rechts: Inversion)

Phosphatrecycling

Zu einem Gebot der Stunde und dessen technischer Umsetzbarkeit

Valentin G. Greb, Peter Fröhlich, Martin Bertau¹

Einleitung

Das Element Phosphor (P) ist für alle Organismen lebensnotwendig. Zusammen mit Calcium ist anorganisches Phosphat als Hydroxylapatit Hauptbestandteil des Knochengewebes und der Zahnschmelze, während bestimmte organische Phosphorverbindungen wie Phosphoglyceride am Aufbau von Zellmembranen beteiligt sind. Phosphate bilden die Grundsubstanz von Nukleinsäuren, die Träger der genetischen Information, und sind in Form von Adenosin-5'-triphosphat (ATP) Basis des Energiestoffwechsels der Zellen. So bedeutend wie Phosphor für Organismen ist, so groß ist auch seine wirtschaftliche Relevanz. Ungefähr 90% der Weltproduktion fließen in die Düngemittelproduktion, die restlichen 10% verteilen sich auf die Produktion von Tensiden, die Pyrotechnik und die Zündholzherstellung, ferner auf die Herstellung von Produkten der Halbleiterindustrie sowie von Pestiziden, nicht zu vergessen die Lebensmittelindustrie, wo Phosphate in Erfrischungsgetränken oder z. B. als Säureregulatoren eingesetzt werden [1].

Damit wird deutlich, dass Phosphor über den Weg der Düngung landwirtschaftlich genutzter Flächen als pflanzliches Nahrungsmittel aufgenommen wird. Auf den Anbauflächen ist das Phosphatangebot maßgeblich für den wirtschaftlichen Ertrag; ist es zu gering, kommt es zu Mangelerscheinungen und möglichen Ernteeinbußen. Die Pflanzen entziehen dem Boden Phosphat, weswegen für eine ausreichende Kompensierung des Nährstoffentzugs durch Ausbringen von Mineräldüngern zu sorgen ist. Angesichts einer Erdbevölkerung von sieben Milliarden Menschen und sinkender Verfügbarkeit fruchtbarer Böden kommt jedoch vor allem der Nährstoffzufuhr in der Landwirtschaft eine global bedeutsame Rolle zu. Dem steht ein zunehmender Mangel an qualitativ hochwertigen Phosphaterzen gegenüber.

Rohstoffsituation

Für die Herstellung von Phosphatdüngemitteln kommen hauptsächlich phosphathaltige Minerale (Rohphosphate) magmatischen und sedimentären Ursprungs zum Einsatz. Von technischer Bedeutung sind im Wesentlichen nur die Phosphatminerale Apatit und – untergeordnet – auch Phosphorit. In der Stahl- und Eisenerzeugung fällt Thomasmehl, ein sehr phosphatreicher Dünger, als Nebenprodukt an. Rezente Vorkommen sind Guano sowie das Mineral Struvit, dessen Verwertbarkeit zur Phosphatgewinnung kontrovers diskutiert wird. Aufgrund seiner relativen Elementhäufigkeit, Phosphor steht mit $\sim 1.120 \text{ ppm (mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ an 11. Stelle, wurde die Versorgungssicherheit bei Phosphor bis noch vor ca. zehn Jahren mit 100 bis 1.000 Jahren prognostiziert. Diese Einschätzung übersieht jedoch, dass der Großteil der heute bekannten Vorkommen einer Ausbeutung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zugänglich ist. So wäre, bei einer geschätzten Größe der Phosphatvorkommen von weltweit rund 15 Mrd. t, diese bei gleichbleibendem jährlichen Phosphatbedarf ($\sim 167 \text{ Mio. t}$) in etwa 90 Jahren erschöpft [2].

Global sind die Lagerstätten auf nur vier Staaten konzentriert: 80% der Vorkommen liegen in den Staaten Marokko, Jordanien, Südafrika und China. Technische Schwierigkeiten ergeben sich zunehmend nicht nur aus dem Erfordernis der wirtschaftlichen Gewinnbarkeit der Phosphaterze, sondern auch aus der Verunreinigung der Minerale mit Spurenmetallen, insbesondere mit Cadmium, aber auch mit Uran, Mangan oder Radium. Die generelle Problematik der Abtrennung mineralischer Begleitkomponenten beim Phosphaterzaufschluss ist hinreichend bekannt und verschärft sich vor dem Hintergrund der verschlechterten Phosphaterzqualität infolge zunehmend höherer Uran- und Cadmiumgehalte. Sie sind einschließlich der enormen Energiekosten Gründe für die wachsenden Produktionskosten für Phosphat, die sich in steigenden Preisen auf den Weltmärkten

widerspiegeln. So stieg der Phosphatpreis im Jahr 2008 binnen weniger Monate um $\sim 900\%$. Er liegt derzeit bei ca. 350% des langjährigen Mittels. Im Rahmen dieser Krise wurde deutlich, dass die Brisanz der Versorgung der Erdbevölkerung mit Phosphat bis dato massiv unterschätzt wurde. Analog zum *Peak Oil* sehen wir uns einem *Peak Phosphorus* gegenüber, über dessen Erreichen im Jahr 2030 [6] nun allgemeiner Konsens besteht. Verschärft wird die Situation durch die zunehmende Nachfrage nach Phosphat, die sich bis zum Jahr 2050 nahezu verdoppeln, die Verfügbarkeit mineralischen Phosphats aber um ca. 25% abnehmen wird. Ein Phosphatrecycling findet bisher nicht statt, obwohl hinreichend bekannt ist, dass das über die Agrarwirtschaft als Düngemittel in die Nahrungskette eingespeiste Phosphat aufgrund seiner starken Bindung an pflanzliches Phytat vom Menschen nicht verwertet werden kann und ausgeschieden wird [3]. Die Konsequenz ist ein Transport des im Düngemittel enthaltenen Phosphats über das Nahrungsmittel ins Abwasser. Deshalb ist nicht nur ein ständiges Nachdüngen, sondern sind auch hohe Anstrengungen vonnöten, den wertvollen Rohstoff Phosphat in Kläranlagen über Fällung zu immobilisieren, um einer Gewässereutrophierung entgegenzuwirken. Langfristig wirkungsvoller und volkswirtschaftlich geboten ist stattdessen ein Umdenken hinsichtlich einer Phosphatrückgewinnung aus Sekundärrohstoffen wie Agrarabfällen (Biomasse, Gärreste) und Industrieabfällen (saure Ablaugen, Beizen etc.). Eine Verknüpfung dieser Probleme würde sich in massiver Weise auf die hiesige und die weltweite Nahrungsmittelindustrie auswirken. Daher ergibt sich die Notwendigkeit, Wege aus der Abhängigkeit der Rohphosphatimporte zu finden sowie sekundäre Rohstoffquellen zu erschließen.

Klärschlamm als sekundäre Rohstoffquelle

Als sekundäre Phosphatrohstoffquelle ist Klärschlamm aufgrund seines hohen Phosphatgehalts ein hervorragender Rohstoff. Das deutschlandweite Potenzial an Phosphat aus Klärschlamm beläuft sich auf rund 200.000 t/a. Bei einem jährlichen Importaufkommen von 99.300 t Phosphat [4] bestünde rechnerisch die Möglichkeit, den Phosphatbedarf durch das im Klärschlamm enthaltene Phosphat zu ersetzen. Naheliegender wäre die

¹ Institut für Technische Chemie,
TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße
29, 09596 Freiberg, Deutschland

direkte Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftliche Flächen, jedoch liegt in ihm ein Großteil des Phosphats in Form schwerlöslicher Salze vor und ist somit nicht bioverfügbar. Zudem bewegt sich der Gehalt an Schwermetallen oft über den in der Düngemittelverordnung (DüMV) vorgeschriebenen Grenzwerten, und organische Kontaminanten wie endokrin wirksame Verbindungen oder Perfluororganika gelangen auf diesem Weg in die Nahrungskette. Gegenwärtig sprechen sich einige Bundesländer daher gegen eine direkte Ausbringung des Klärschlammes aus. Nicht zuletzt bringt die kostenintensive Entsorgung des Klärschlammes auch wirtschaftliche Probleme mit sich. Falls dagegen eine thermische Verwertung des Klärschlammes in einer Monoverbrennungsanlage realisiert würde, wäre der P_2O_5 -Gehalt der entstandenen Asche – je nach Herkunft des Klärschlammes – vergleichbar mit mittel- bis hochhaltigen Phosphaterzen, und es ergäbe sich ein deutlicher Pluspunkt durch die Eliminierung der gesamten organischen Fracht [5].

Vor diesem Hintergrund wurden und werden seit einigen Jahren mit erheblicher Unterstützung der öffentlichen Hand Verfahren zur Phosphatrückgewinnung aus Abwasser, Klärschlamm oder P-haltigen Aschen untersucht; für eine Anwendung im großtechnischen Maßstab erwies sich jedoch bislang noch kein Verfahren als wirtschaftlich. Grundsätzlich ermöglicht aber ein P-Recycling aus sekundären Rohstoffquellen die Schonung der endlichen Rohphosphatvorräte. Prognosen gehen davon aus, dass 30–50% des nach Deutschland importierten Phosphats durch das in der Klärschlammmasche enthaltene Phosphat ersetzt werden könnten. Zusätzlich fällt bei der Aufarbeitung der Klärschlammaschen ein Mineralisat mit den für das Pflanzenwachstum wichtigen Elementen N, K, Ca, Mg an, das als günstiger Düngemittelverbesserer eingesetzt werden kann.

Technische Aspekte des Phosphatrecyclings

Die Technologie zur Phosphatreintegration beruht gegenwärtig prinzipiell auf der Verbrennung von Klärschlamm nach gebräuchlichen technischen Verfahren und auf der Verwertung der Aschen als Rohstoff. Die schon existierenden Varianten erwiesen sich aber allesamt als wirtschaftlich nicht tragfähig; insbesondere der Ansatz zur Phosphatrückgewin-

nung über Fällung von Magnesiumammoniumphosphat (MAP, Struvit) scheiterte. Dieser erscheint vor dem Hintergrund der geringen Substanzlöslichkeit im Kontext mit der sich daraus ergebenden geringen Pflanzenbioverfügbarkeit des Phosphats nur für eine Verwendung als langsam wirkender Mehrkomponentendünger aussichtsreich. Sein Einsatz ist angesichts der Kopräzipitation von Spurenmetallen problematisch. Der für eine höhere Phosphatmobilisierung erforderliche Schwefelsäureaufschluss nach gängigen Verfahren lässt diese Variante unwirtschaftlich erscheinen.

Das gegenwärtig einzige bislang wirtschaftlich arbeitende und markteta-blierte Verfahren ist das RecoPhos-Verfahren. Neben diesem Verfahren gibt es eine Reihe von Prozessansätzen, für die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm bzw. Klärschlamm-asche. Die Firma ASH DEC betreibt seit 2008 in Leoben (Österreich) die weltweit erste Versuchsanlage zur Herstellung von Düngemitteln aus Klärschlamm-asche mit einer Kapazität von 4.000 t/a. Im Mai 2006 erhielt phosphorhaltiger Recyclingdünger zwar eine Produktzulassung in Österreich, doch kämpft ASH DEC mit Korrosionsproblemen in der Anlagentechnik. Obwohl das Verfahren am 1. Februar 2011 von Outotec (Finnland) übernommen wurde, besitzt es derzeit noch keine Marktrelevanz. In weiteren Forschungsprojekten (SUSAN, PASCH, POXNAN, PhoBe etc.) werden Fragen zu Anlagewirkungsgraden, Rückgewinnungskosten, Düngerwirksamkeit, Produktkosten und Energieverbräuchen genauer untersucht.

Es gibt bereits Pilotanlagen sowie eine großtechnische Versuchsanlage. All diese Ansätze haben allerdings das Handicap, dass sie derzeit noch nicht wirtschaftlich arbeiten bzw. entsprechende Angaben zur Wirtschaftlichkeit des Phosphorrecyclings fehlen. Gegenwärtig belaufen sich die Rückgewinnungskosten nach diesen Konzepten auf das etwa Zwei- bis Zehnfache des Importpreises von Rohphosphat bzw. betragen – bezogen auf Phosphatdünger mit 12...36 \$/kg P_2O_5 – das Vier- bis Zwölffache im Vergleich zur klassischen Phosphatdüngemittelproduktion [4].

Der RecoPhos-Prozess

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie Freiberg sowie der Technischen

Hochschule Mittelhessen entwickelte die Firma RecoPhos ein Verfahren, mit dem sich aus Klärschlammaschen ein Phosphatdünger herstellen lässt, der sowohl alle Vorgaben der DüMV einhält als auch unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten produziert werden kann. Das Verfahren ist seit dem vergangenen Jahr erfolgreich am Markt.

Bereits im März 2010 wurde das RecoPhos-Verfahren in einem Probe-lauf bei der Chemischen Fabrik Tangermünde (Abb. 1) erfolgreich getestet. Die Inputqualitäten der eingesetzten Klärschlammaschen sind analytisch seitens des Düngemittelherstellers selbst und durch Paralleluntersuchungen verschiedener akkreditierter Labors ermittelt worden. Die Ergebnisse wurden durch unabhängige Analysen an der TU Bergakademie Freiberg verifiziert. Um die Genehmigung zur Vermarktung des RecoPhos P-38-Düngers zu erhalten, musste unter anderem gezeigt werden, dass dieser Dünger die Vorgaben nach DüMV erfüllt und bezüglich seiner Qualität mit einem herkömmlichen Phosphatdünger vergleichbar ist. Neben dem Parameter Kornfestigkeit wurde auch die Wurfweite ermittelt. Die Wirksamkeit des Düngers wurde an der Humboldt-Universität zu Berlin anhand von Wachstumsversuchen mit Mais und Raps belegt. Eine der größten Herausforderungen zur Erlangung des Produktstatus für den P-38-Dünger lag jedoch außerhalb der wissenschaftlich-technischen Verfahrensentwicklung: die Entlassung der Klärschlammaschen aus dem Regime des Abfallrechts durch die zuständige Fachbehörde. Hier musste gezeigt werden, dass das erzeugte Produkt nicht mehr Abfall, sondern ein Wirtschaftsgut darstellt [1].



Abb. 1: Produktionsgelände der Chemischen Fabrik Tangermünde

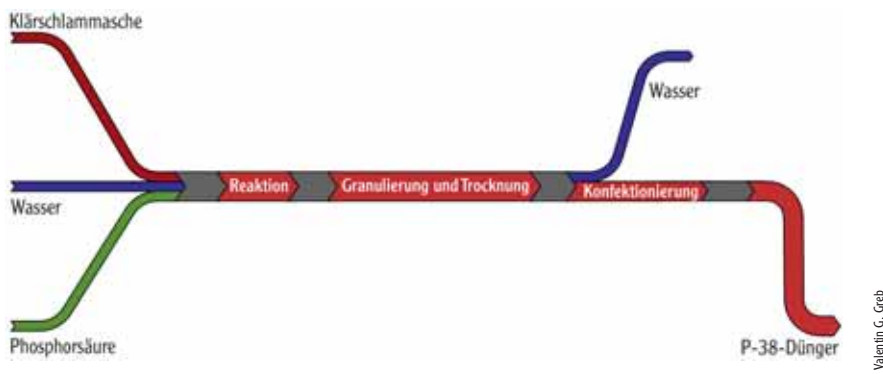


Abb. 2: Vereinfachtes Verfahrensschaubild des RecoPhos-Prozesses

Gegenwärtig wird der RecoPhos-P-38-Dünger mit einer monatlichen Produktionsmenge von 1.000 t in der Chemischen Fabrik Tangermünde hergestellt und zum Preis eines klassischen Phosphatdüngers am Markt angeboten.

Verfahren zur Produktion des P-38-Phosphatdüngers

Das Hauptaugenmerk des RecoPhos-Verfahrens liegt auf der Überführung des in der Klärschlammmasche als geringlösliche Mineralphasen enthaltenen Phosphats in eine bioverfügbare Form. Dafür wird nach dem patentierten RecoPhos-Verfahren die Klärschlammmasche mit technischer Phosphorsäure und Wasser umgesetzt. Abb. 2 zeigt das dreistufige Verfahren zur Produktion des P-38-Düngers.

Der Verfahrensschritt der Granulierung und Trocknung erlaubt es, drei unterschiedliche Kornfraktionen herzustellen (Grob [2–5 mm], Mittel [1–2 mm] und Fein [1 mm]) (Abb. 3). Der im Granulat ermittelte Phosphatanteil (Ammoniumcitrat und wasserlöslich) liegt bei mindestens 38 Gew.-%. Der erhaltene Phosphatdünger besteht hauptsächlich aus löslichem Calciumdihydrogenphosphat (MCP) [5] und ist mit einem handelsüblichen Triple-Superphosphat-Dünger vergleichbar.



Abb. 3: Fraktionierter RecoPhos-Dünger

Qualitätskontrolle

Um bei dem produzierten P-Dünger die Anforderungen nach DüMV einzuhalten, sind sowohl die Inputqualitäten der Klärschlammaschen als auch die Outputqualitäten des Düngers hinsichtlich der Vorgaben der DüMV zu analysieren und zu überwachen. In Tab. 1 sind die in der DüMV geforderten Grenzwerte den Daten für den RecoPhos-Dünger [7] gegenübergestellt.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Grenzwerte nach DüMV zu den Messwerten des RecoPhos-Düngers [8]. Angaben in mg/kg Trockensubstanz

	Grenzwert nach DüMV	RecoPhos P38
As	40	9,1
Pb	150	51,4
Cd	50	2,16
Cr	300	118
Cr (VI)	2	< 0,01
Ni	80	47,4
Hg	1	0,7

Hieraus ist offensichtlich, dass alle durch die DüMV vorgegebenen Grenzwerte beim P-38-Dünger prinzipiell eingehalten werden. Lediglich die Elemente Nickel und Quecksilber unterliegen einer Kennzeichnungspflicht, da ihre Gehalte die in der DüMV festgelegten Kennzeichnungswerte (Kennzeichnungspflicht: Nickel ab 40 mg/kg; Quecksilber ab 0,5 mg/kg) überschreiten. Ein weiteres Kriterium der Produktqualität ist der Anteil an pflanzenverfügbarem Phosphor. Dieser wird anhand des Gehalts an ammoniumcitrat- und wasserlöslichem P_2O_5 ermittelt. Für ein Triple-Superphosphat sollte die Wasserlöslichkeit des Gehalts an P_2O_5 mindestens 85% betragen [9]. Mit einem Wert von 80% kommt der P-38-Dünger diesem Wert sehr nahe [7].

Ausblick

Vor dem Hintergrund des Anstiegs der Nachfrage nach Phosphaten und ih-

rer mittelfristig abnehmenden Verfügbarkeit kann durch das RecoPhos-Verfahren ein wesentlicher Beitrag zur nachhaltigen Nutzung sekundärer P-Rohstoffe geleistet werden.

Durch den erbrachten Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte nach DüMV und Entlassung des Edukts aus dem Regime des Abfallrechts ist der RecoPhos-Prozess gegenwärtig nur als einziges Verfahren geeignet, einen Phosphatdünger aus Klärschlammaschen herzustellen, der in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Düngemiteleigenschaften mit marktta-blierten Phosphatdüngern konkurrieren kann. Das Potenzial des Prozesses spiegelt sich darin wider, dass kurzfristig 14% der Phosphatimporte in die BRD substituiert werden könnten und dass bei einer vollständigen Umstellung auf Klärschlammverbrennung sogar über 50% der Phosphatimporte substituierbar wären [7].

Quellenverzeichnis

- 1 K.-H. Büchel, H.-H. Moretto, P. Woditsch, Industrielle Anorganische Chemie, 3. Aufl., Wiley-VCH, Weinheim, 1999.
- 2 H. Wendenburg, C. G. Bergs, Klärschlamm-trennung 2020 – welche Ziele verfolgt das BMU?, 7. Klärschlamm-tage, 29.–31.03.2011, Fulda.
- 3 S. M. Jasinski, Phosphate. In: Mineral Commodity Summaries 2012. United States Geological Survey, Reston, VA, USA, 2012.
- 4 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe, Hannover, 2007.
- 5 I. Aydin, F. Aydin, A. Saydut, E. G. Bakirdere, C. Hamamci, Hazardous metal geochemistry of sedimentary phosphate rock used for fertilizer. Microchem. J. 2010, 96, 247–251.
- 6 Cordell, D., Drengert, J.-O., White, S., 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Glob. Environ. Change 19, 292–305.
- 7 H. Weigand, M. Bertau, W. Huebner, P-Düngerproduktion aus Klärschlammmasche: Erfolge und Hemmnisse bei der ressourceneffizienten Nutzung eines Abfallstroms, Müll und Abfall 44, 2012, 248–253.
- 8 Anonym, Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV), 2008, Bundesgesetzblatt Teil I, 2524.
- 9 Anonym, Verordnung (EG) Nr. 2076/2004 der Kommission vom 3. Dezember 2004 zur ersten Anpassung des Anhangs I der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 über Düngemittel (EDDHS und Triple-Superphosphat), L 359, 25–27.
- 10 H. Weigand, M. Bertau, W. Hübner, F. Bohn-dick, A. Brückert, RecoPhos: Full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Managem. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.009>.
- 11 BMBF/BMU, Kreislaufwirtschaft für Pflanzen-nährstoffe, insbesondere Phosphor, Berlin, 2011.

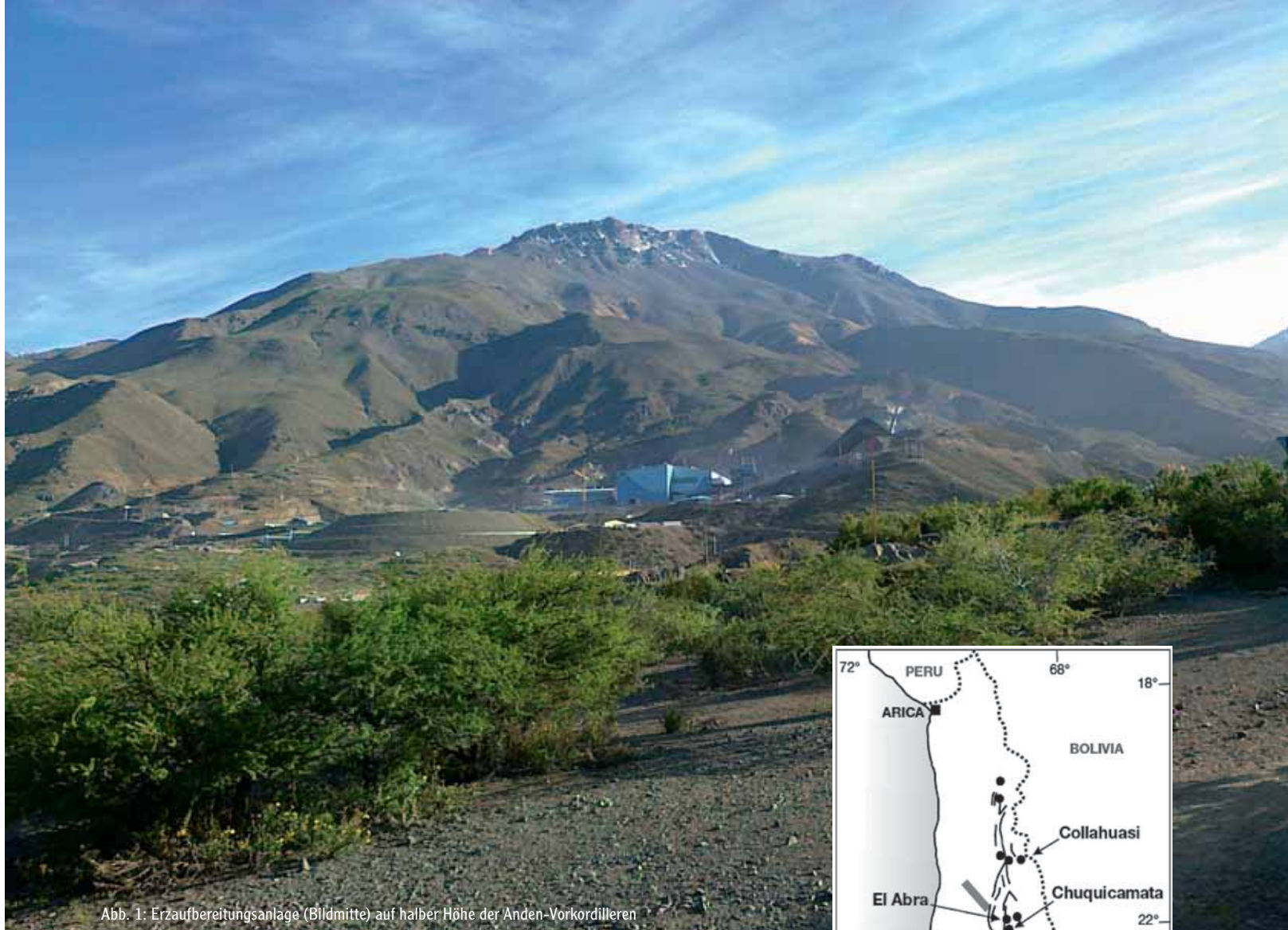


Abb. 1: Erzaufbereitungsanlage (Bildmitte) auf halber Höhe der Anden-Vorkordilleren

Entwicklung eines membranbasierten nachhaltigen Aufbereitungsverfahrens für saure Grubenwässer

Paul Steinberger, Roland Haseneder, Jens-Uwe Repke¹

Kupferbergbau in Chile

Chile ist eines der Länder mit den größten Kupfervorkommen der Welt [1]. Der Reichtum an Mineralien in den chilenischen Anden beruht vor allem auf der Lage Chiles am Pazifischen Feuerring. Praktisch auf der gesamten Länge des Landes „taucht“ am Kontinentalschelf die Nazca-Platte unter der Südamerikanischen Platte ab und sorgt für eine „Verdickung“ der Kontinentalplatte und für ein Auffalten der Anden. Hieraus resultieren

regelmäßig vulkanische und magmatische Aktivitäten, die für den Transport von Erzen in die Oberflächennähe sorgen [1]. Durch das Aufschmelzen der abgetauchten Platte entsteht eine Dynamik unter der Kruste, die zu einer Anreicherung bestimmter Elemente führt. Die relativ leichten und auch mit dem begehrten Kupfer angereicherten Gesteinschmelzen steigen nach oben, durchdringen teilweise als Magmakammern die Kruste bis an die Oberfläche und sind somit ein Grundstein für den Rohstoffreichtum Chiles und anderer Gebiete mit ähnlichen geologischen Gegebenheiten. *Abb. 2* zeigt die aus den genannten tektonischen Aktivitäten resultierenden Störungen im Norden Chiles. Zusätzlich



Paul Steinberger

Abb. 2: Kupferlagerstätten im semiariden bis ariden Teil Chiles nördlich von Santiago [1]

¹ Dipl.-Ing. Paul Steinberger,
Dr. rer. nat. Roland Haseneder,
Prof. Dr.-Ing. habil. Jens-Uwe Repke
Institut für Thermische Verfahrenstechnik,
Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik
Kontakt: Roland.Haseneder@tun.tu-freiburg.de

sind in der Karte die relevanten Minenstandorte dargestellt. Diese reichen vom semiariden „kleinen Norden“ nördlich der Hauptstadt Santiago bis in den ariden „großen Norden“ mit der Atacamawüste, die als die trockenste Wüste der Welt gilt.

Zugang zu Wasser

In den trockenen, niederschlagsarmen Regionen Chiles müssen sich die Minenbetreiber die wenigen Wasservorkommen mit vielen anderen Interessengruppen teilen. Neben der lokalen Bevölkerung, die sich angesichts dieser Konkurrenz um ihre Trinkwasserreserven sorgt, existiert eine breite Gruppe von Großverbrauchern: die landwirtschaftlichen Betriebe, die an den Nutzungsrechten für Wasser interessiert sind.

Eine landesspezifische Besonderheit bezüglich der Wassernutzung in Chile ist, dass die Wasserrechte vom Prinzip her als freie Handelsware deklariert sind. Sie wurden traditionell auf Antrag vergeben. Dies hat zur Folge, dass sich diese Rechte bei einigen wenigen großen Akteuren auf dem Wassermarkt akkumulieren konnten. Die Konsequenz des freien Handels mit Wasserrechten bedeutet folglich, dass derjenige, der die höchsten Einsätze bietet, in der Regel auch das Nutzungsrecht erhält. Die finanziell sehr potenten großen Minengesellschaften sind natürlich in der Lage, sehr hohe Summen für das wertvolle Nass zu bieten. Im Norden Chiles hat dies zu einer derartigen Steigerung des Wasserpreises geführt, dass es sich für Landwirte nicht mehr lohnt, ihrer ursprünglichen Tätigkeit nachzugehen, sondern es für sie vorteilhafter ist, ihre Wasserrechte an die Minenbetreiber zu verkaufen. Da hierdurch immer weniger Wasser für die Bewässerung der Felder verbleibt, sind eine Versteppung der Landschaft und ein gestörter Wasserkreislauf die Folge. Zusätzlich treibt der hohe Rohwasserpreis den Preis für Trinkwasser in unrealistische Höhen. Für zahlreiche Aquifere wurden darüber hinaus deutlich zu viele Wasserrechte vergeben, da entweder der Bedarf oder die Kapazität der Aquifere falsch eingeschätzt wurden.

Wassernutzung im Bergbau

Im Bergbau werden große Mengen an Wasser zur Aufbereitung des Erzes benötigt. In der Mine Los Pelambres, die uns als Beispiel dient, werden für die Aufbereitung einer Tonne Erz nach eigenen Angaben 0,3 m³ Frischwasser verbraucht

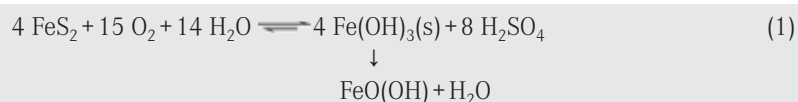
[2]. Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Wert in anderen Minen der Region von 0,7 m³/t wurde hier bereits eine Optimierung erreicht [4].

In Chile findet aufgrund der sulfidischen Zusammensetzung der Lagerstätten die Aufbereitung des Erzes zum Konzentrat vorrangig mittels Flotationsprozessen statt. Das Konzentrat wird zum Teil ins Ausland verschifft und dort weiterveredelt. Neben seiner Hauptrolle als flüssiges Medium im Flotationsprozess kommt dem Wasser auch die Funktion eines Transportmittels zu, das man nutzt, um das Konzentrat über Pipelines zum Hafen zu transportieren. Dort wird es über Hydrozyklone abgetrennt und über einer Eukalyptusplantage verdunstet. Das beim Flotieren vom Erz abgetrennte feinkörnige Gesteinsmaterial wird als pumpfähiger Schlamm ebenfalls abtransportiert. In großen Becken (Tailingponds) sedimentiert der Feststoffanteil des Schlamms, während sich das Wasser an der Oberfläche dieser Tailingponds sammelt. Dieser weitgehend von Feststoffen befreite Überstand kann bedingt in den Wasseraufbereitungskreislauf zurückgeführt werden.

Acid Mine Drainage – das Problem saurer Grubenwässer

Teil der Wasserthematik im Kupferbergbau ist das Auftreten von sauren Grubenwässern. Das Acid Mine Drainage (AMD) an sich ist ein sehr komplexer Vorgang, der als Verwitterung (weathering) schwefelhaltiger Mineralien, vor allem von Pyrit (FeS₂) und Pyrrhotin (FeS), beschrieben wird. Es ist ein natürlich ablaufender Prozess, bei dem diese Minerale durch den Kontakt mit Wasser und Luft zersetzt werden. Es entstehen sehr saure Abwässer mit pH-Werten zwischen eins bis vier, die Schwermetalle wie Eisen, Blei, Mangan, Arsen, Aluminium, Molybdän und Zink auswaschen können (Leaching) [5]. Die sauren Wässer können somit Schwermetalle mobilisieren. Natürlich ist neben dem niedrigen pH-Wert die aus dem Oxidationsprozess resultierende hohe Sulfatkonzentration als wichtiger Parameter relevant.

Die chemischen Vorgänge, die zur Bildung von AMD führen, können durch die stark vereinfachte Reaktionsgleichung (1) beschrieben werden:



Die Folge der Teilschritte ist überaus komplex und kann u. a. in Anwesenheit von *Thiobacillus Ferrooxidans*, einem obligat lithoautotrophen Bakterium, ablaufen. Solche Zersetzungsprozesse finden auch unter natürlichen Bedingungen im Zuge der Verwitterung von Gesteinen statt. Jedoch laufen diese Prozesse sehr langsam ab, da Luft und/oder Wasser nur sehr langsam in das Gestein eindringen können. Über Jahrmillionen hinweg können aber die Mineralien über die Luft mit Sauerstoff in Kontakt kommen oder von sauerstoffreichem Wasser überströmt werden.

Bei bergbaulichen Aktivitäten wird das Gestein aufgeschossen und bietet somit eine sehr viel größere Oberfläche für den Angriff durch Luft, Wasser und Bakterien. Dadurch kommt es rascher zur Bildung von AMD. Betroffen sind Minen mit sulfid- bzw. sulfathaltigen Mineralien [6] wie zum Beispiel Kupferminen, aber auch Gold- und Silberminen sowie Kohlegruben. Nicht nur die Minen selbst, sondern auch die Abraumhalden (Tailings) sind dafür verantwortlich, dass durch AMD Oberflächen- und Grundwasser über Jahrzehnte hinweg kontaminiert werden, selbst wenn die Minen längst nicht mehr betrieben werden. Hat der Prozess der AMD-Bildung einmal begonnen, ist sein Aufhalten in der Regel nicht mehr möglich.

Unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit bergbaulicher Aktivitäten ist AMD somit – neben den Minen selbst wie den Abraumhalden – eine große Herausforderung für die Minenbetreiber [7], da AMD ganze Regionen über mehrere 1.000 km² und viele Jahrhunderte hindurch belasten kann.

Der Weg zur nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen

Wie lässt sich durch geschickte Prozessführung die AMD-Problematik mit Blick auf Tailings und Tailingponds entschärfen? Ein wesentlicher Ansatzpunkt für ihre Lösung ist eine auf Nachhaltigkeit orientierte Wasserwirtschaft.

Schon heute wird im Mining-Bereich – soweit möglich – Wasser kreislaufgeführt und wiederverwendet. In der Mine Los Pelambres wird dabei ein Recyclungsgrad von 85% erreicht [2]. Stand der Technik ist es, den pH-Wert durch do-

sierte Zugabe von Kalkmilch anzuheben und sowohl Sulfat als auch Metallionen dadurch auszufällen. Der Sulfatgehalt kann mit diesem Verfahren jedoch nur bis auf ca. 1.500 mg/l abgesenkt werden. Da perspektivisch mit einer Ausweitung der Produktion auch der Bedarf an zusätzlichem Frischwasser zum Gebrauch als Trinkwasser, zur Verwendung im Flotationsprozess sowie zur Regeneration der Vorfluter zunimmt, muss das aufbereitete Wasser nach aktuellem umweltrechtlichem Stand der Qualität des Wassers der Schmelzwasserzuflüsse aus dem Gebirge entsprechen [9].

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Nutzung von Wasserreserven, die sich durch einen Eingriff in die Abflusscharakteristik aus den Bergen erschließen lassen. Durch das Auffüllen der sonst steilen Täler mit Abraum werden vorher nicht existente große Ebenen geschaffen, die Schnee und Eis speichern und im Sommer für mehr Schmelzwasser über einen längeren Zeitraum sorgen. Dieses ist dann jedoch schon mit dem Haldenkörper in Berührung gekommen und seine Charakteristik entspricht im Extremfall der eines AMD, das behandelt werden muss.

Für die Aufbereitung solcher „extremer“ Medien stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Tab. 1 zeigt einen Überblick mit der jeweils entsprechenden Wertung.

Die naturnahen Methoden punkten zwar durch niedrige Betriebskosten, sind aber aufgrund der immens langen Behandlungszeiten meist kontraindiziert. Der klassische chemische Prozess verlangt gewaltige Mengen an Behandlungsmitteln, führt aber nur mit einer entsprechenden Nachbehandlung an die gewünschten Grenzwerte heran. Die biologische Variante wird zur Zeit ebenfalls intensiv untersucht und liefert bereits vielversprechende Ergebnisse [11]. Das hier ausgewählte rein physikalische Trennverfahren verkörpert eine hohe technologische Herausforderung, da die zu behandelnden Prozesslösungen von hochkomplexer Natur sind. Nur durch intensive Untersuchungen lassen sich die in der Tabelle angeführten Nachteile eliminieren. Gelänge dies, wäre mit Blick auf die Nachhaltigkeit ein wichtiger Schritt in Richtung eines ökologischeren Minenbetriebs getan.

Aufbereitung von AMD für einen chilenischen Minenbetrieb – Projekttablauf

Im Rahmen eines mehrjährigen Verbundprojekts wurde in Kooperation mit der Business Unit „Minerals“ der Siemens AG ein neuer Prozess zur Behandlung von Acid Mine Drainage mittels Membrantechnologie entwickelt.

In Abb. 3 ist der Projekttablauf für die Entwicklung einer multifunktionellen

Membrananlage zur Wasseraufbereitung skizziert. Gestartet wurde zunächst mit einer Machbarkeitsstudie, die die Chancen und Risiken eines rein auf Membranen basierenden Aufbereitungsverfahrens offenlegen sollte. Hieraus abgeleitet wurde mit Screening-Experimenten zur Identifizierung geeigneter Membranmaterialien begonnen. Über Laborexperimente an einer multifunktionellen Membrananlage mit Flat-Sheets im cm²-Bereich ließen sich wichtige Erkenntnisse mit Blick auf Faktoren wie Scaling- und Foulingpotenzial der untersuchten Systeme ermitteln. Im nächsten Untersuchungsschritt erfolgte ein Scale-Up aus den vorher gewonnenen Ergebnissen anhand speziell konfektionierter Membranmodule mit trennaktiven Flächen im m²-Bereich. Langzeitstudien bestätigten die prinzipielle Eignung des entwickelten Verfahrens.

Die letzte Stufe zur Evaluierung des Prozesses und zur Bewertung der Chancen einer erfolgreichen Maßstabsvergrößerung wurde nun im Rahmen von On-Site-Untersuchungen an einer Pilotanlage direkt in Chile realisiert. Hierfür wurden die Untersuchungsergebnisse zur Auslegung eines Membrancontainersystems konstruktiv umgesetzt. Dabei müssen natürlich die Standortfaktoren in besonderer Weise berücksichtigt werden: Die Mine befindet sich auf einer Höhe von 3.000 m in den chilenischen Anden, was gewisse klimatische Extreme mit sich bringt. Ein Mitarbeiter des Instituts betreute die Anlage vor Ort technisch und wissenschaftlich, um mit den gewonnenen Ergebnissen eine Validierung des Gesamtprozesses im Rahmen des Scale-Up durchzuführen.

Tab. 1: Übersicht über mögliche Aufbereitungsverfahren von AMD [10]

	Process	Pro & Contra
Passive process	Wetland	<ul style="list-style-type: none"> ⚠ Long period of time ⚠ Large space required ⚠ Difficult to control ⚠ Difficult keep a constant quality effluent
	Wetland with combination of chemical dosing	<ul style="list-style-type: none"> ✅ Low cost ✅ Low profile of technology
Active process	Chemical Process Lime dosing	<ul style="list-style-type: none"> ⚠ Large amount of lime required ⚠ Generation of large amount of sludge ⚠ Rest sulfate concentration (approx. 1500-2000mg/L) is still higher than most permitted limitation (240mg/L) <ul style="list-style-type: none"> ✅ Low cost ✅ Low profile of technology
	Biological sulfate reduction	<ul style="list-style-type: none"> ⚠ Technological gaps are still existing (performance, efficiency, stability etc.) <ul style="list-style-type: none"> ✅ Final solution for the sulfate ions ✅ Environmental friendly
	Physical Process Membrane filtration	<ul style="list-style-type: none"> ⚠ High cost ⚠ Complex technology ⚠ High potential of fouling & scaling <ul style="list-style-type: none"> ✅ High efficiency to remove the unexpected ions ✅ High quality effluent ✅ Precisely control

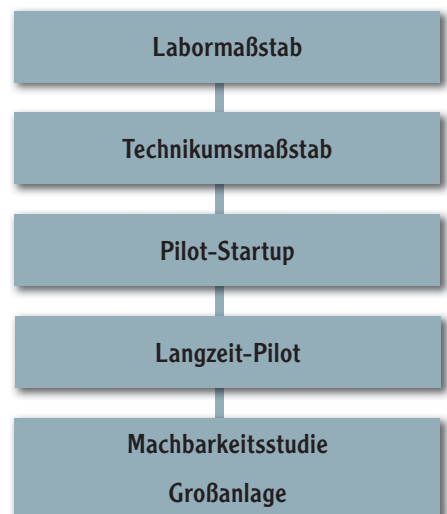


Abb. 3: Projekttablauf – vom Laborversuch zur Großanlage



Abb. 4: Versuchsaufbau mit kleinen 63-cm²-Testzellen (rechts) und Plattenmodulen mit jeweils 7 m² Membranfläche (links) [8]

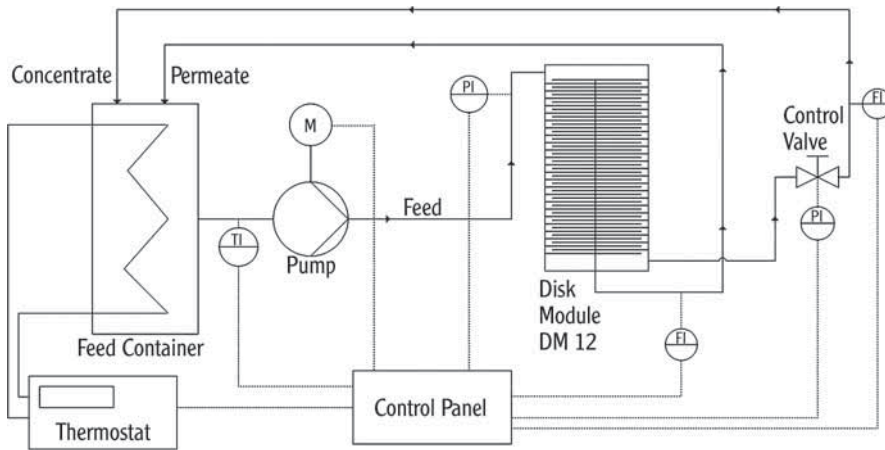


Abb. 5: Flow-Chart der in Abb. 4 gezeigten Membrananlage

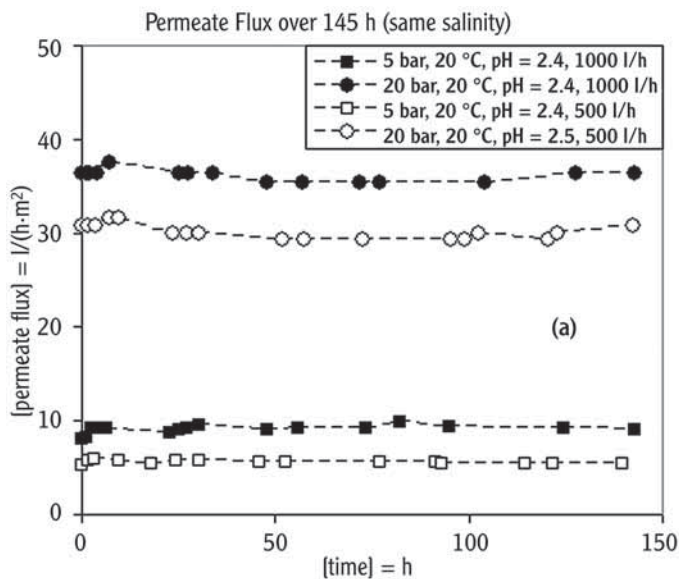


Abb. 6: Permeatflux als Funktion der Zeit bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen

Experimentell wurden im ersten Schritt Membranproben in einer 63-cm²-Testzelle auf Abtrenneigenschaften wie Permeatvolumenstrom und Ionenrückhalt bei unterschiedlichen Betriebsparametern (Druck, Temperatur oder Feedvolumenstrom) untersucht, *Abb. 4 und 5*. Dazu wurde ein gemäß Analysen von Prozesswässern einer chilenischen Kupfermine nachgebildetes Modellwasser verwendet. Unter Kreislaufführung von 30 l Wasservolumen wurden hierbei geeignete Membranen zur Behandlung des sauren Gruben-/Minenwassers identifiziert [12]

Als geeignet erwiesen sich bei den Versuchen die vor allem in der Meerwasserentsalzung etablierten Membranen, deren Trenncharakteristik der der Umkehrosmose und der Nanofiltration entspricht.

Bei der Umkehrosmose kann nur das Wasser durch die Membran permeieren, während die gelösten Ionen zurückgehalten werden (übliche Rückhaltequote rund 98%). Nanofiltrationsmembranen hingegen lassen die einwertigen Ionen größtenteils passieren, halten die mehrwertigen jedoch zurück. Sie eignen sich somit zur selektiven Abtrennung von höherwertigen Ionen und weisen aufgrund der höheren Durchlässigkeit eine deutlich geringere transmembrane Druckdifferenz im Betrieb auf. Dies bedingt einen geringeren Energieaufwand im Aufbereitungsprozess und damit niedrigere Betriebskosten.

Mit einem aus den Laborexperimenten als geeignet identifizierten Membrantyp wurden ein DT-Modul (Plattenmodul) und ein Spacer-Tube-Modul (Wickelmodul) mit jeweils 7 m² Membranfläche ausgestattet und unter Technikumsbedingungen im Dauerbetrieb getestet. *Abb. 6* zeigt den ermittelten Permeatflux im Rahmen eines Belastungstests. Bemerkenswert ist hierbei, dass es zu keinem signifikanten Absinken des Durchflusses bei längeren Versuchszeiten kommt [12].

Gestützt auf die ermittelten Betriebsparameter wurde am Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik (ITUN) der TU Bergakademie ein Membrantankcontainer konzipiert und ausgerüstet. Die On-Site-Installation am chilenischen Bergbaustandort ist in *Abb. 7* dargestellt. Die Containeranlage wurde in Zusammenarbeit mit der Siemens-Minerals am Bergbaustandort Los Pelambres vier Mo-



Abbildung 7: On-Site-Versuche mit dem Membrancontainer [8]

nate lang zur Evaluierung des Wasseraufbereitungsprozesses und zur Bewertung der Maßstabsvergrößerung erfolgreich betrieben. Das gereinigte Wasser konnte wieder in den Aufbereitungprozess zurückgeführt werden.

Fazit

Unsere Forschungsergebnisse zeigen deutlich, dass durch den Einsatz der Membrantechnik selbst hochkomplexe wassergetragene Systeme wie das AMD behandelt werden können. Die durchgeführte On-Site-(Langzeit-)Pilotstudie liefert wichtige Erkenntnisse für ihre mögliche Umsetzung im Rahmen einer Großanlage. Neben der Aufgabe der ei-

gentlichen Wasserreinigung findet sich ein weiterer interessanter Ansatzpunkt. Bei jedem Membrantrennprozess verbleibt neben dem Permeatstrom – hier dem gereinigten Wasser – auch ein Retentat-/Konzentratstrom. Dieser enthält im vorliegenden Fall die abgetrennten Wasserinhaltsstoffe in hoher Konzentration. Das betrachtete Wasser wird zunächst zwischengespeichert und kann anschließend zur Rückgewinnung von nunmehr aufkonzentrierten Wertstoffen einem gesonderten Trennprozess zugeführt werden. Somit ergeben sich für den Minenbetreiber neue Perspektiven mit Blick auf einen zusätzlichen Benefit im Sinne einer größtmöglichen Nachhal-

tigkeit durch Integration eines Prozesses zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus den Konzentratfraktionen.

Literatur

- 1 Camus, F.; Dilles, J. H. (2001): A Special Issue Devoted to Porphyry Copper Deposits of Northern Chile. In: *Economic Geology* 96 (2), S. 233–237.
- 2 Sillitoe, R. H. (2010): Porphyry Copper Systems. In: *Economic Geology* 105 (1), S. 3–41.
- 3 Minera Los Pelambres (2010): Reporte de Sustentabilidad 2010.
- 4 Cochilco (2011): Studie "Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2010".
- 5 Borregaard, N., Lewin, P. et al.: Confronting sustainability in the mining sector – what role for a sustainability fund? Report to UNEP, October 2000.
- 6 Nordstrom, D. K.: Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. In: J. A. Kittrick, et al.: *Acid Sulfate Weathering Soil Science. Soc. America Spec. Pub. 10: 37–56.* (1982).
- 7 Wolkersdorf, C., Bowell, R.: *Contemporary Reviews of Mine Water Studies in Europe, Part 1. Mine Water and the Environment (2004) 23: 162–182.* IMWA Springer-Verlag 2004.
- 8 Bildarchiv Steinberger.
- 9 Persönliche Mitteilung von Rodrigo Bernal, Minera Los Pelambres.
- 10 Persönliche Mitteilung von Zeng, Yun, Siemens AG.
- 11 Heinzel, E., E. Janneck, F. Glombitza, M. Schlömann und J. Seifert. 2009: Population dynamics of iron-oxidizing communities in pilot plants for the treatment of acid mine waters. *Environ. Sci. Technol.* 43: 6138–6144.
- 12 P. Steinberger, P.; Siebdrath, N.; Rieger, A.; Haseneder, R.; Härtel, G.; Zeng, Y.; Repke, J.-U.: Mine water treatment by membrane filtration processes – upscale experiments. 6th IWA Specialist Conference on Membrane Technology for Water and Wastewater Treatment, 4–7 October 2011, Aachen, Germany.

Ressourcenfabrik in Aktion

Kontinentalkollision an der Spitze Indiens (Afghanistan, Tadschikistan)

Lothar Ratschbacher¹

Ich sitze in einem fünf Meter langen, mit Gesteinsproben überladenen Boot auf dem 3.250 m hoch gelegenen Sarezsee im zentralen Pamir Tadschikistans in Zentralasien. Aus dem Nichts ist ein Sturm losgebrochen, dunkle Schneewolken brechen zwischen den 5.000 m hohen Bergen um den See hervor, und der maximal 3,3 km, aber meist nur hunder-

te Meter breite See fokussiert den Sturm wie in einer Röhre. Im Nu sind hohe Wellen aufgekommen, und das Boot rollt gefährlich von einer Seite zur anderen. Wir – der Bootsführer, unser lokaler Führer und Postdoktorandin Konstanze Stübner – versuchen die Rollbewegungen des Bootes auszugleichen und das Eindringen von Wasser zu verhindern. Wir retten uns in den Windschatten einer kleinen Insel und erreichen eine Bucht. Wir sammeln vertrocknete Gräser und wärmen uns an

einem kleinen Feuer. So schnell der Sturm aufgezogen und die Wellen entstanden sind, so schnell sind sie verschwunden, und zwei Stunden später sind wir wieder unterwegs, voll konzentriert auf unsere Arbeit. Es ist September 2011, und eine der ungewöhnlichsten Unternehmungen meines reiseintensiven Lebens neigt sich dem Ende zu. Vor drei Wochen begannen wir in Afghanistan zu arbeiten, durchquerten den Wakhan Korridor, Pferde halfen uns über die Flüsse, und wir stießen in die Täler zu den höchsten Bergen Afghanistans vor. Freundschaften zwischen Einheimischen öffneten nur für uns eine der sensitivsten internationalen Grenzen mitten in der Nach-Ramadan-Ferienzeit. Tagelang fuhren wir dann das Bartang-Tal – 2010 scheiterten wir hier am Hochwasser – hoch; dann verließen

¹ Geologie, TU Bergakademie Freiberg, lothar.ratschbacher@geo.tu-freiberg.de

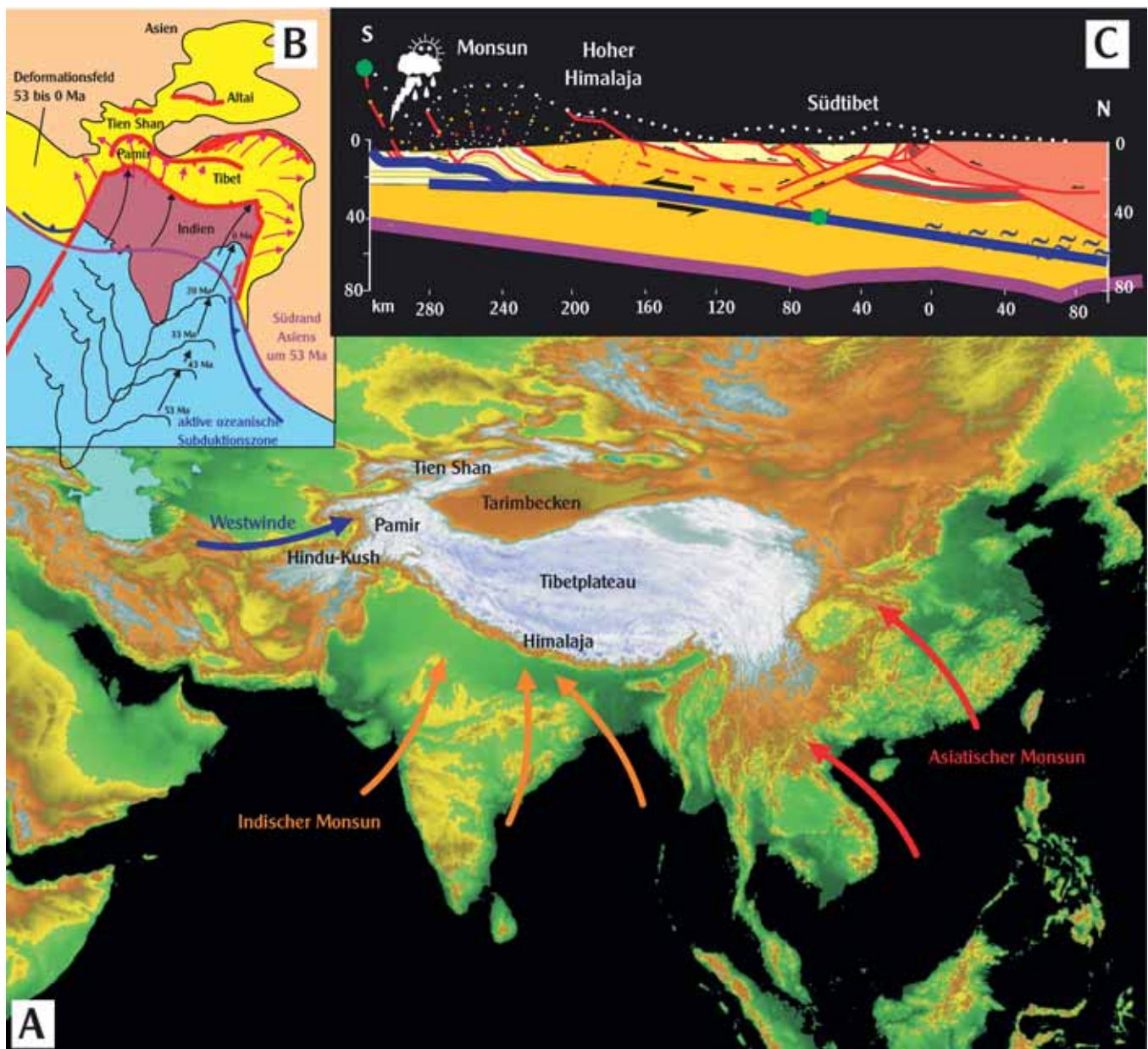


Abb. 1: (a) Topographie (basierend auf <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>) der Indien-Asien-Kollisionszone mit den Trajektorien der wesentlichen Luftmassenbewegungen (Westwindzone, indischer und asiatischer Monsun). (b) Entwicklung der Indien-Asien-Kollisionszone seit dem Kontinent-Kontinent-Kontakt vor ca. 53 Millionen Jahren; modifiziert von 1). (c) Schematisches Profil über den Himalaja und einen kleinen Teil des Tibetplateaus. Extreme Erosion durch Monsunniederschlag an der topographischen Front bewirkt die Lokalisierung der Deformation (rote Linien stellen Deformationszonen dar) und eine rückschreitende Gebirgsverlagerung.

wir es, trafen im letzten Dorf unseren lokalen Führer, einen patenten Alleskönner (Schulbauer, Lehrer, Infrastrukturplaner und Fremdenführer ohne Fremde) und kletterten acht Stunden mit unserer Eselkarawane über wackelige Drahtseilbrücken auf den Damm des Sees. Nun sind wir schon seit einer Woche auf dem 56 km langen See unterwegs. In der Sowjetzeit war und auch heute ist das Gebiet streng abgeschirmt. Lange Bemühungen, basierend auf Jahren wissenschaftlicher Arbeit in Tadschikistan und einer finalen Unterschrift des Präsidenten der tadschikischen Akademie der Wissenschaften, ermöglichten es uns hierherzukommen. In der Sowjetzeit gab eine regelrech-

te Hysterie um diesen See und seinen Damm. Der See entstand am 19. Februar 1911 durch ein Magnitude-7,4-Erdbeben, das einen 2,2 km³ großen Felssturz auslöste, das Dorf Usoi (deshalb Usoi-Damm) unter sich begrub und den wasserreichsten Zubringer im Oberlauf des Amu Darja (= Panj)-Flusses blockierte. Berechnungen zeigen, dass bei einem Bruch des über 600 m hohen Damms noch 500 km flussabwärts eine 10 m hohe Flutwelle zu erwarten ist.

Warum sind wir in Zentralasien? Aus dem plattentektonischen Modell der 1960/70er-Jahre, das eine kinematische Beschreibung der Plattenbewegungen der Erde lieferte, entwickelte sich eine

global gültige Grundfrage: Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen dem Mantel – den thermisch konvektierenden oberen 2.800 km der Erde –, der Lithosphäre – den obersten relativ starren 150 km der Erde mit einer bis 80 km dicken Kruste – und der Atmosphäre (und dem Menschen) über zehn Millionen Jahre? Lithosphärenplatten subduzieren (schieben sich untereinander) und führen zur Kontinent-Kontinent-Kollision (Zentralasien: Indien-Asien) und zur Bildung von Gebirgen und Gebirgsplateaus (Zentralasien: Hindu-Kush/Himalaya und Pamir-Tibet-Plateau, Abb. 1a, b). Diese Gebirgsketten und Plateaus beeinflussen die Atmosphäre durch die Bil-

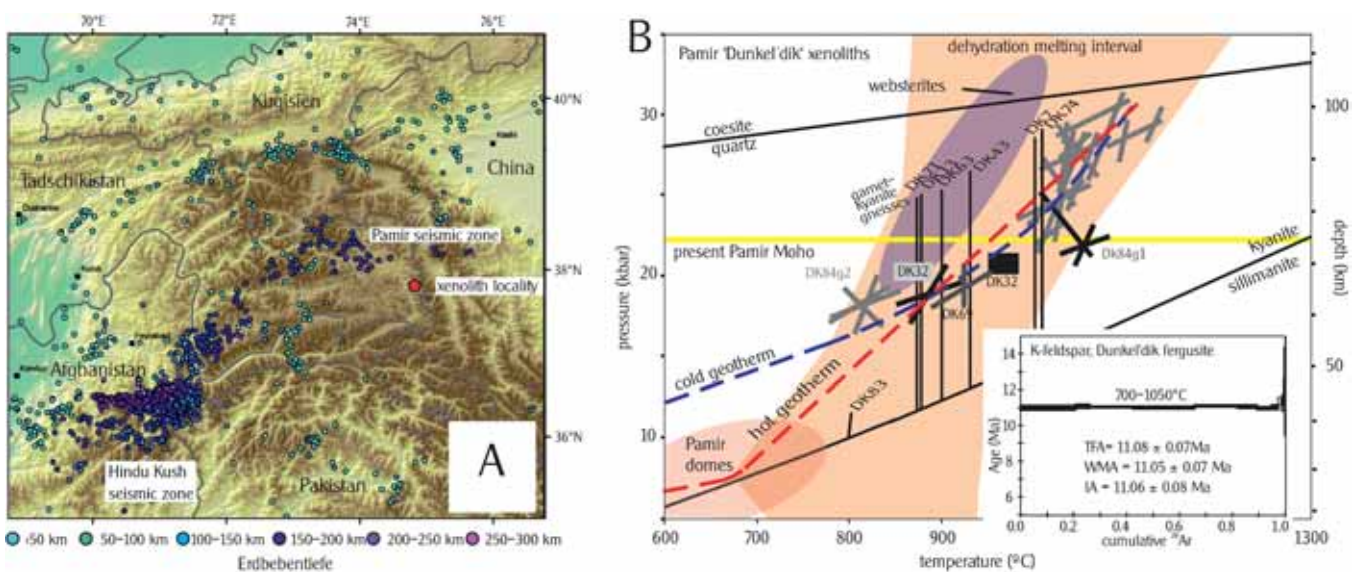


Abb. 2: (a) Pamir-Hindu-Kush-Erdbebenzone (Seismizität von 2) und die Lokalität der Pamir-Xenolithe. (b) Druck-Temperaturdiagramm der Eklogit- und Granulitxenolithe des Dunkel'dik-Vulkanfelds nach 3,4; das Inset unten rechts zeigt das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Entgasungsspektrum eines Kali-Feldspats aus den fergusonitischen Vulkaniten (Eruptionsalter circa 11 Ma); Argon-Labor Freiberg

derung von saisonalen atmosphärischen Konvektionszellen (die asiatischen Gebirge/Plateaus sind sensible Wärmequellen) und orographischen Barrieren (Steigungsregen entlang Randgebirgen). So unterstützte die Tektonik durch die Indien-Asien-Kollision über die letzten 50 Millionen Jahre eine Phase extremer Abkühlung des Weltklimas (durch erhöhte Erosion und CO_2 -Absorption) und verlagerte die in der nördlichen Hemisphäre dominierende Westwindzone weit in das Innere des Kontinents; wichtiger jedoch, sie dominiert bis heute durch die Ausbildung der atmosphärischen Konvektionszelle des asiatischen Monsuns den jährlichen Lebenszyklus von zwei Dritteln der Erdbevölkerung. Sind diese Klimaanomalien etabliert, beeinflussen sie rückkoppelnd die Gebirgsbildung. So bewirkt der konzentrierte Monsunniederschlag eine fokussierte Erosion entlang des Südrands des Pamir-Tibet-Plateaus. Diese lokalisierte Erosion führt zu einer mechanischen Gebirgsschwächung (tektonischer Aneurysmus), die wiederum die Deformation in diesem Bereich lokalisiert (Abb. 2c). Anthropogene Einflüsse, z. B. Vegetationsänderungen, überlagern diese Rückkopplungsprozesse.

Nach fast eineinhalb Jahrzehnten Forschung am Tibetplateau haben wir unsere Arbeiten nun auf den Pamir und den Hindu-Kush konzentriert. Diese Gebiete haben für die Geo-Forschung bedeutende Vorteile. Hindu-Kush und Pamir weisen die spektakulärste mitteltiefe (bis 300 km, Abb. 2a) seismische Zone der Erde auf, die außerhalb ozeanischer

Subduktionszonen liegt. Globale Erdbeben- und Daten legen die Existenz einer subduzierenden kontinentalen Lithosphäre – wahrscheinlich einen Teil Indiens – nahe. Da die Pamir-Hindu-Kush-Zone aktiv ist, ist sie mit geophysikalischen Methoden zu analysieren. Hindu-Kush und Pamir haben ein Entwässerungsnetz, das das Gebirge/Plateau verlässt. Angetrieben von Niederschlägen, die die Westwinde heranbringen, erodieren große Flüsse tief in das östliche Plateau (Abb. 3). Im Gegensatz dazu wird der Großteil Tibets intern entwässert; dort verhindert der Regenschatten des Himalajas die Erosion. So sind im Pamir riesige Gebiete mit hochgradig metamorphen Gesteinen in Grundgebirgsdomen aufgeschlossen, die es erlauben, die mittlere und untere Kruste in einem aktiven Orogen direkt zu untersuchen. Weltweit einmalige Vorkommen von krustalen Xenolithen – Gesteinsbruchstücken, die eingebettet in Magma, an die Oberfläche geschossen wurden – gestatten es des Weiteren, Prozesse in den tiefen Krusten direkt zu quantifizieren (Abb. 2b). Sie belegen eine fast 100 km dicke Kruste unter dem Pamir von vor 11 Millionen Jahren; die mit 80 km dickste momentan unter Gebirgen der Erde bekannte Kruste befindet sich in Südtibet. Magmatite im Pamir erlauben es, ihre geodynamischen Ursachen, wie die konvektive Ausdünnung der Mantellithosphäre, das Abbrechen subduzierender Platten und die Aufschmelzung von Kruste durch Dekompression, zu untersuchen. Das Entwässerungssystem des Pamirs ist eines der ungewöhnlichsten

der Welt (Abb. 3). Alle großen Flüsse entspringen am östlichen Plateau und fließen nach Westen, so auch der größte Fluss und Vorfluter für alle Flüsse der Region, der Panj. Kurz bevor der Panj jedoch das Gebirge in das afghanisch-tadschikische Becken hinein verlässt, wendet er sich um 90° nach Norden und durchbricht in tiefen Schluchten zwei Drittel des Pamirgebirges senkrecht zu den Gebirgszügen und den aktiven Deformationszonen; dann wendet er sich nach Südwesten und fließt den halben Weg zurück, bevor er das Hochgebirge in das Becken verlässt und seinen Weg in den Aralsee nimmt. Flusssysteme sind für die letzten Millionen Jahre der Erdgeschichte die sensitivsten geomorphologischen Marker. Durch die Bestimmung einer Vielzahl geomorphologischer Parameter, wie Abweichung vom Gleichgewichtsprofil, Lage von Knickpunkten, Talformen, Variabilität der Einschneidungsrate, können Aussagen über beeinflussende Prozesse, wie tektonische Deformation oder Klimavariationen, abgeleitet werden. Der Vorfluter des Tien-Shan-Pamir-Hindu-Kush-Entwässerungssystems war über einen Großteil der Geschichte der Indien-Asien-Kollision das afghanisch-tadschikische Vorlandbecken (Abb. 3). Es wurde mit bis zu 10 km mächtigen Sedimenten gefüllt. Vorlandbeckensedimente sind sensitive Anzeiger der tektonischen und klimatischen Änderungen im Hinterland und erlauben es, langzeitliche Entwicklungen des Entwässerungssystems sowie den Aufbau und die Zerstörung von orographischen Barrieren zu untersuchen. Die-

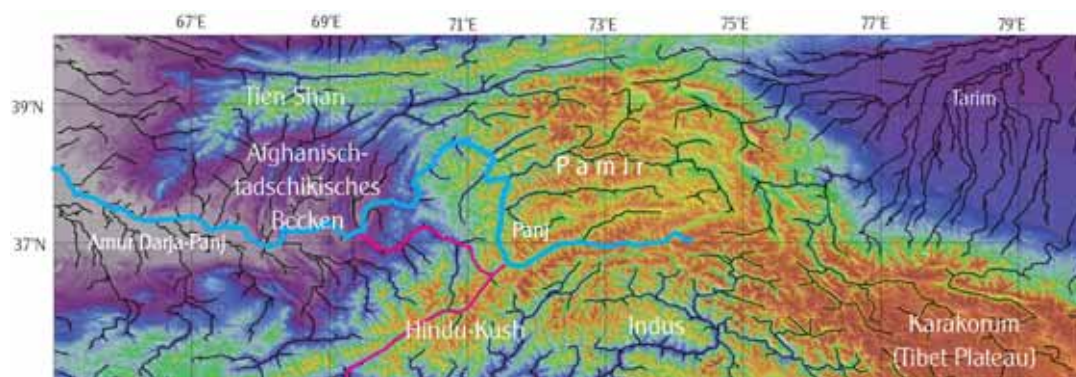


Abb. 3: Topographie und Flusssysteme des Pamirs, des Hindu-Kush und des Tien Shan. Die blaue Linie betont den heutigen Verlauf des Amu Darja = Panj-Flusses, der in den Aralsee entwässert. Magentafarbene Linien zeigen interpretierte Paläoflusssysteme vor der Bildung des heutigen Panj-Flussverlaufs.

ses Vorlandbecken wurde in den letzten Millionen Jahren in den Deformationsbereich des Pamirs und des Hindu-Kush einbezogen. Teile des Beckens liegen heute auf über 3.000 m Höhe, und die Flüsse des Pamirs schneiden sich in die Beckenfüllung. Schließlich ist der gleiche Konvergenzbetrag zwischen Indien und Asien seit der Kollision vor ca. 53 Millionen Jahren – ungefähr 2.000 km – im Pamir in einem heute 500 km breiten Bereich absorbiert worden; in Tibet sind es 1.300 km. Da unter dem Pamir und Tibet eine ähnliche Krustendicke von 70 km vorliegt, müssen die Verkürzungsprozesse unterschiedlich sein.

Diese einmalige Ballung von geodynamischen Besonderheiten erlaubt methodisch integrative und regional fokussierte Studien, die viele Bereiche der Geowissenschaften integrieren müssen. Durch seismologische Methoden werden die Erdbebenaktivität und ihre petrophysikalischen Parameter in der seismogenen Zone – hier von 300 km Tiefe bis fast zur Oberfläche – bestimmt. Leitfähigkeitsdaten lassen Rückschlüsse auf die Temperaturverteilung in der Kruste zu. Solche Kurzzeitdaten werden direkt mit petrologisch, strukturell und geo-thermochronologisch bestimmten horizontalen und vertikalen Langzeitbewegungsraten verbunden. Die Bewegungen im Hinterland reflektieren sich in Änderungen der Sedimentarchitektur im Vorlandbecken. Klimavariationen, so die Fluktuation der Lage der Monsun- und Westwindzone, offenbaren sich in der Sedimentzusammensetzung.

Momentan treiben drei stufenweise gestartete Großprojekte die Untersuchung dieser Wechselwirkung von Prozessen in Mantel, Lithosphäre und Atmosphäre über die letzten 50 Millionen Jahre voran. Im DFG-Paket TIPAGE (Tien Shan Pamir GEodynamic Program) zeichneten 60 Stationen für ein Jahr Erdbeben im Pamir und im Tien Shan auf; 2012

werden sie in Nordafghanistan und im afghanisch-tadschikischen Becken vergraben. Die Leitfähigkeitswerte weisen auf heiße Krusten unter den Pamirdomen hin. TIPAGE erlaubte es, Druck-Temperatur-Deformations-Zeitpfade für alle aktiven Regionen des Pamir zu berechnen; „4x4-Wege“, Eselspfade, zwei Beine und ungewöhnliche „Autobahnen“ wie der Sarezsee ließen uns ins Herz des Gebirges vordringen. Höchst ungewöhnlich erwiesen sich die Pamirdome als einige der weltweit größten magmatisch-metamorphen Kernkomplexe, die durch Krustenextension entstanden sind; entlang großer Abschiebungen sind die Domgesteine aus 30–40 km Tiefe an die Oberfläche gebracht worden. Solche Extension im mittleren und oberen Teil der Kruste in einem rasch konvergierenden Orogen ist nur als Resultat von gravitativen Angleichungen an Prozesse in der Unterkruste und im Mantel denkbar. Die aus den TIPAGE-Studien abgeleiteten Erosions- und Einschneidungsraten spiegeln die Dominanz der Westwindzone in der Gebirgsbildung wider. Unter all diesen Aspekten ist TIPAGE auf der Spur der Wechselwirkung zwischen Mantel, Lithosphäre und Atmosphäre. Das BMBF-Verbundprojekt TIPTIMON (Tien Shan-Pamir-Tibet MONitoring Program) erlaubt die regionale Erweiterung und Vertiefung der TIPAGE Studien und soll als finale Stufe Kompilationen einer Reihe unserer Geo-Proxis für Geodynamik und Klima als Ansatz zur Risikobewertung im zentralasiatischen Raum vorlegen. Schließlich erlaubt ein Projekt mit der französischen Ölfirma TOTAL eine Neubearbeitung des Vorlandbeckens: Nicht nur die Kopplung Vorland-Hinterland über den Verlauf der Indien-Asien-Kollision mit Variationen im Klima (Nord-Süd-Fluktuationen der Grenze Westwindzone-Monsun) werden sichtbar, sondern auch die extrem junge Invertierung des Beckens in einen

Vorlandüberschiebungsgürtel mit fast völliger Ablösung der Beckensedimente entlang eines basalen Abscherhorizonts in rheologisch schwachen Evaporiten. Die aus Thermochronologie (Spaltspuren- und (U-Th)/He-Analyse) hergeleiteten Paläotemperaturen weisen auf neue Explorationsmöglichkeiten mit Fallen unter dem Abscherhorizont in einer noch durch Bohrungen erreichbaren Tiefe hin.

Basis der Projekte sind die Integration der Ressourcen der kombiniert methodisch-angewandt grundlagenforschenden Bereiche in den Geowissenschaften an der TU Bergakademie Freiberg und die Einbeziehung externer Partner. So werden an der TU Bergakademie Freiberg fast alle Festgesteinsgruppen untersucht. Aspekte der Sedimentologie und der Geo-Thermochronologie werden von den Universitäten Jena und Tübingen und den Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen in Dresden vertreten. Die geophysikalischen Experimente werden vom Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam beigesteuert. International sind die University of California, Santa Barbara, die nationalen Akademien der Wissenschaften und das FOCUS Humanitarian Network mit seiner Disaster Mitigation Initiative vertreten.

Zu der Zeit, da ich dies schreibe, sind alle TIPAGE- und TIPTIMON-Gruppen wieder im Aufbruch. Besonders stolz bin ich dabei auf unsere Doktoranden und Postdoktoranden. So können zum Beispiel die Freiburger Gruppenleiter Matthias Franz, Richard Gloaguen, Raymond Jonckheere, Matthias Krbetschek, Jörg Pfänder, Jörg Schneider und ich nur punktuell die Felduntersuchungen führen; oft laufen diese in Verantwortung der Doktoranden und Postdoktoranden. In einer Zeit, in der für künftige Führungskräfte Lehrmodule für den Umgang mit unbekanntem Situationen und die Entwicklung berufsbezogener Persönlichkeitseigenschaften angeboten werden, haben

unsere Jungs und Mädels neben der wissenschaftlichen Arbeit auch die Logistik von Expeditionen gut zu Ende gebracht, sich bis auf hohe Berge gequält und in einem fremden und teils gefährlichen Umfeld vernünftig, teamfähig, konfliktlösend, entscheidungs- und leistungsbereit gehandelt. Es bleibt zu hoffen, dass Personalchefs einen CV-Eintrag „Feldarbeiten in Afghanistan-Tadschikistan“ wie eine Modulnote A+ einstufen; falls nicht, bleiben noch die leuchtenden Augen der Rückkehrer und Philipp Borchers (1931)

Gewissheit „*Wer aber je auf Asiens Erdbeiden schlief, wer jemals in Asiens Bergen und Wüsten wanderte, dessen Seele bleibt diesem geheimnisvollsten aller Erdteile ewig verbunden*“.

Danksagung

Finanziert durch DFG-PAK 443, BMBF Verbundprojekt WTZ-Zentralasien und TOTAL E&P Recherche Development SAS Agreement FR00004081. Richard Gloaguen und Bernd Schurr kompilierten einen Teil der Abbildungen. Meiner Frau, Anne-Charlott Trepp, verdanke ich eine Durchsicht meines in österreichisch-amerikanischem Deutsch

abgefassten Textes.

Literatur und Quellen

- 1 Mattauer, M., Ph. Matte, J-L. Olivet, C-R. Acad. Sci. Paris, 328, 499-508, 1999.
- 2 Engdahl, E. R., R. van der Hilst, R. Buland, Bulletin Seismological Society of America, 88, 722-743, 1998.
- 3 Gordon, S. M., P. Luffi, B. R. Hacker, J. Valley, M. Spicuzza, R. Kozdon, P. Kelemen, L. Ratschbacher, V. Minaev, J. metamorphic Geol., 30, 413-434, 2012.
- 4 Hacker, B. R., P. Luffi, V. Lutkov, V. Minaev, L. Ratschbacher, T. Plank, M. Ducea, A. Patiño-Douce, M. McWilliams, J. Metcalf, J. Petrology, 46, 1661-1687, 2005.

Forschung zum Einsatz von Bitumen und Asphalt bei geotechnischen Verschlussbauwerken für Untertagedeponien und Endlagern für radioaktive Abfälle – ein Überblick zu bisherigen und laufenden Untersuchungen am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

Uwe Glaubach¹, Wolfram Kudla²

Einleitung

Chemisch-toxische und radioaktive Abfälle werden in Deutschland in tiefen geologischen Formationen (meist Steinsalz oder Tonstein als geologische Barriere) endgelagert. Für die Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen ist geplant, ein neues Einlagerungsbergwerk aufzufahren. Der Standort dafür ist noch nicht festgelegt.

Das Grubengebäude von bestehenden oder auch neuen Einlagerungsbergwerken muss durch mindestens zwei Schächte erschlossen werden. In *Abb. 1* ist der prinzipielle Aufbau eines Einlagerungsbergwerks (allerdings mit nur einem Schacht) dargestellt. Die Abfälle werden in Strecken oder in Bohrlöchern eingelagert, die durch geotechnische Verschlüsse abgedichtet werden.

Der Abfall wird bei einem Endlager bzw. einer Untertagedeponie durch die geologische Barriere von der Lithosphäre getrennt. Durch die Schächte wird die Integrität der geologischen Barriere lokal beeinträchtigt. Am Ende der Betriebsphase des Einlagerungsbergwerks muss daher für die Nachbetriebsphase der Schacht langzeitsicher verschlossen werden. Der Verschluss – oder dieses Verschlussystem – muss derartig dimensioniert und ausgeführt sein, dass die Integrität des umgebenden Wirtsgesteins nahezu vollständig und dauerhaft wiederhergestellt wird. Dafür kommen technische und geotechnische Barrieren zum Einsatz. Zu den technischen Barrie-

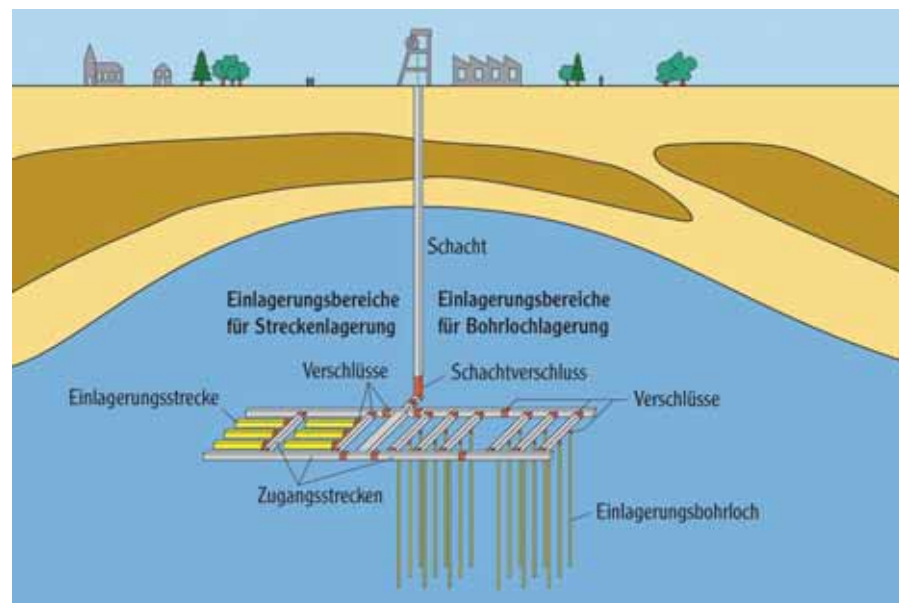


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau eines Endlagers für hoch-radioaktiven Abfall [nach Müller-Lyda, I. und Sailer, M. (2008)]

ren zählen bei einem Endlager vor allem die Einlagerungsbehälter für die Abfälle. Zu den geotechnischen Barrieren zählen im Einzelnen:

- der Bohrlochverschluss,
- der Versatz,
- der Streckenverschluss
- und der Schachtverschluss.

In *Abb. 2* ist das Schema eines Endlagers in der Nachbetriebsphase dargestellt.

Für die Bohrlochverschlüsse und den Versatz kommt häufig arteigenes Material (Salzgrus) zum Einsatz, während für Schacht- und Streckenverschlüsse häufig Bentonit als Hauptdichtmaterial vorgesehen ist. Bentonit ist ein quellfähiges Tonmineral, das unter Wasser- bzw. Lö-

sungszutritt einen abdichtenden Quelldruck aufbaut.

Der Schachtverschluss ist der sicherheitstechnisch wichtigste Teil des gesamten Verschlussystems. Seine Aufgabe ist es, einen Grundwasserzutritt oder einen Lösungszutritt aus dem Deckgebirge in das Endlager zu verhindern. Des Weiteren muss er bei einer Untertagedeponie den Austritt von toxischen Stoffen (z. B. in gelöster Form) und bei einem Endlager den Austritt von Radionukliden durch Konvektion oder Diffusion verhindern. Die Abdichtfunktion von Schachtverschlüssen muss also in beiden Richtungen, von oben nach unten und von unten nach oben, gewährleistet sein. Das

1 Dipl.-Ing. Uwe Glaubach
2 Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla

gesamte Schachtverschlussystem muss damit für beide Flüssigkeitsdruckbeanspruchungen eine möglichst geringe Permeabilität aufweisen. Zudem soll das Dichtsystem redundant und diversitär (verschiedene Dichtungsmaterialien) aufgebaut sein. Um dies zu gewährleisten, wodurch die Gesamtsicherheit des Systems erhöht wird, kann beispielsweise Bitumen bzw. Asphalt (Gemisch aus Bitumen und Gesteinskörnungen/Mineralstoffen) als Material für das/die weitere(n) Dichtelement(e) verwendet werden.

Hauptvorteile von Bitumen bzw. Asphalt sind

- das chemisch inerte Verhalten gegenüber dem Gebirge und gegenüber wässrigen Lösungen,
- das rheologische Verhalten und damit die Fähigkeit, Risse im Wirtsgestein abzudichten
- sowie der Selbstheilungseffekt bzw. die Selbstabdichtung bei schnellen Belastungen.

Bitumen bzw. Asphalt muss bei den im Rahmen des Langzeitsicherheitsnachweises zu betrachtenden Zeiträumen von mehreren Tausend Jahren als zähe Flüssigkeit mit entsprechend hoher Viskosität aufgefasst werden.

Das Gesamtziel der bisherigen und der laufenden Arbeiten war bzw. ist, geeignete bitumenhaltige Materialien und konstruktive Lösungen zu finden, mit denen zu den bereits bekannten Bentonitdichtelementen mindestens ein weiteres Dichtelement auf Bitumenbasis realisiert werden kann. Bitumen oder Asphalt (z. B. Asphaltmastix, Gussasphalt, Walzasphalt) hat keinen Durchlässigkeitsbeiwert wie Bentonit, sondern kann auch für hohe Flüssigkeitsdruckbeanspruchungen absolut dicht hergestellt werden, wenn der Asphalt einen sehr kleinen Hohlraumanteil ausweist. Im Wasserbau wird ein Hohlraumgehalt von weniger als 3% als Anforderung bei Wasserdruckhöhen von etwa 200 m zugrunde gelegt.

Aktuelle Beispiele (Abb. 3) für ein diversitär und redundant ausgelegtes Schachtverschlussystem sind die geplanten Schachtverschlüsse für die Schächte Marie und Bartensleben des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERA Morsleben).

Die bitumenhaltigen Abdichtelemente (Dichtelement 2 und 3) des ERA Morsleben sollen aus verdichtetem Schotter bestehen, der lagenweise eingebaut wird. Der Porenraum des Schotters soll lagenweise mit Bitumen bzw. einem Bitumen-

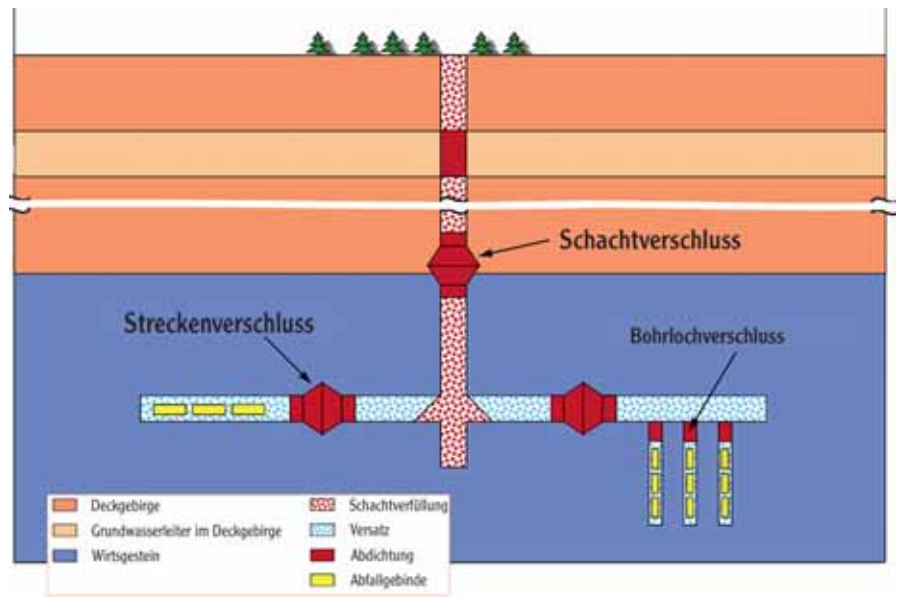


Abb. 2: Schema eines Endlagers in der Nachbetriebsphase (nach Müller-Lyda, I. und Sailer, M. (2008))

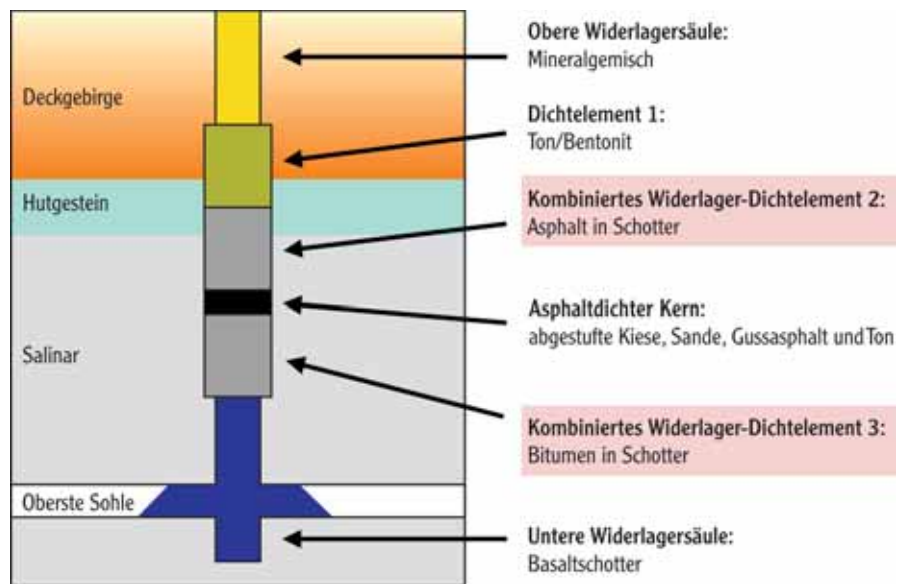


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau der geplanten Schachtverwahrung für das ERAM nach Rauche, Sitz et al. (2004), (leicht abgewandelt)

Mineralgemisch heiß vergossen werden, um eine dichte bitumenverfüllte Schottersäule zu erreichen.

Gegenwärtig werden am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau umfangreiche Untersuchungen zu den noch offenen fachlichen Fragen hinsichtlich der Herstellung und Errichtung von bitumenverfüllten Schottersäulen durchgeführt. Dazu zählen Grundsatzuntersuchungen im Labor, im halbtechnischen Maßstab und Großversuche über und unter Tage.

Wirkprinzipien einer bitumenhaltigen Abdichtung

Die langzeitsichere Abdichtung des Asphalts gegenüber den angreifenden Fluiden beruht auf dem chemisch iner-

ten Verhalten von Bitumen gegenüber wässrigen Lösungen und dem Dichtunterschied zwischen den beiden Flüssigkeiten Bitumen und Salzlösung bzw. Bitumen-Mineralgemisch (Asphaltmastix) und Salzlösung. Da hier eine hochviskose Flüssigkeit (Bitumen, Asphalt) gegen die niedrigviskose Salzlösung bzw. Wasser abdichten soll, spricht man von hydrostatischen Abdichtsystemen.

Bei einer Fluidbelastung von unten auf die Abdichtung (Abb. 4), also aus dem Einlagerungsbereich heraus, muss das Abdichtfluid (Bitumen) leichter als das angreifende Fluid (Salzlösung) sein. Dadurch steht das abdichtende und leichtere Bitumen unter Auftrieb gegenüber der angreifenden schwereren Salzlösung.

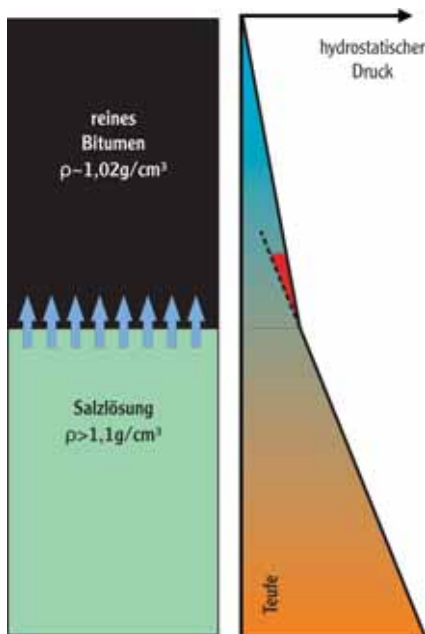


Abb. 4: Hydrostatischer Druck bei einem Fluidangriff von unten

Bei einer Fluidbelastung von oben auf die Abdichtung (Abb. 5), also aus überlagernden Grundwasserleitern oder von der Oberfläche her, muss das Abdichtfluid (Bitumen-Mineralgemisch) schwerer als die angreifenden wässrigen Lösungen sein. Dadurch steht das abdichtende und schwerere Bitumen-Mineralgemisch unter einem höheren hydrostatischen Druck als die angreifenden und leichteren wässrigen Lösungen.

In den Abbildungen 4 und 5 stellt der rot eingefärbte Bereich den abdichtend wirkenden hydrostatischen Überdruck dar. Im Belastungsfall wird der Druck des angreifenden Fluids auf das Abdichtfluid nahezu sofort übertragen. Für eine sichere Funktion der Abdichtung muss das Abdichtfluid hydrostatisch wirken bzw. muss der hydrostatische Zustand schnell aufgebaut werden.

Problemstellungen beim Einsatz von Bitumen und Asphalt

Um eine sichere Funktion einer Bitumen- bzw. Asphaltabdichtung zu gewährleisten, sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

1. Der gesamte Hohlraumquerschnitt, einschließlich des Kontaktbereichs zum Gebirge, muss abgedichtet werden.
2. Dichtheit und Korrosionsstabilität der Abdichtung müssen bei allen auftretenden Spannungszuständen gewährleistet sein.
3. Es darf keine Zwischenschichtung von Lösung bzw. keine Entmischung oder Separation des Bitumens in-

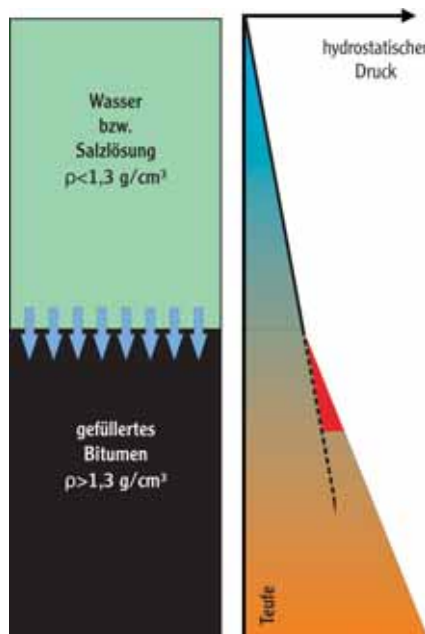


Abb. 5: Hydrostatischer Druck bei einem Fluidangriff von oben

ge von Dichteunterschieden sowohl langfristig als auch bereits beim Einbau auftreten.

4. Die Asphaltabdichtung muss auch bei kleinen axialen Widerlagerverschiebungen dauerhaft funktionstüchtig (gebrauchstauglich) sein.
5. Das Bitumen soll auch in eventuell auftretende Risse im konturnahen Bereich eindringen und diese dauerhaft verschließen; dabei darf jedoch nur so viel Bitumen in die Risse eindringen (einkriechen), dass die Gebrauchstauglichkeit der Dichtung erhalten bleibt.
6. Damit die unter 5. genannte Anforderung eingehalten werden kann, muss ein ausreichendes Reservevolumen (Opfervolumen) an Bitumen vorhanden sein, um die Funktionstüchtigkeit bei Materialverlusten infolge Eindringens in Risse oder axialer Verschiebungen des Widerlagers zu gewährleisten.
7. Bitumenhaltige Abdichtmaterialien müssen dauerhaft an der Gebirgskonstrukturen haften, was eine intensive Benetzung voraussetzt.

Des Weiteren sind bei der Einbautechnologie von Bitumen und Asphalt deren temperaturabhängige Dichte, das Wärmeausdehnungsverhalten, die Wärmeleitfähigkeit und die Viskosität von großer Bedeutung.

Aktuelle Untersuchungen

In den letzten sieben Jahren wurden durch die Autoren – und davor bereits

unter Leitung von Prof. Sitz – umfangreiche Untersuchungen zur untertägigen Anwendung von Bitumen bzw. Asphalt durchgeführt. Diese Arbeiten werden fortgesetzt. Folgende Projekte wurden durch das Institut für Bergbau und Spezialtiefbau in den letzten Jahren zum Abschluss gebracht:

- *Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke* im Auftrag des BMBF (Förderkennzeichen 02C1124)

- *Untersuchungen und modelltechnische Beschreibung heterogener Strukturen aus Bindemittel und Zuschlag* im Auftrag des BMWi (Förderkennzeichen 02E10457) in Zusammenarbeit und unter Projektleitung des Instituts für Geotechnik

- *CARLA – Entwicklung eines Grundkonzepts für langzeitstabile Streckendämme im leichtlöslichen Salzgestein (Carnallit), Teil 1: Grundsatzuntersuchungen* von 2000 bis 2004 (Ltg. Prof. Sitz) und *Teil 2: Test von Funktionselementen in situ* von 2005 bis 2010 (Ltg. Prof. Kudla), im Auftrag des BMBF

- *Bergtechnische Erprobung von Bitumen/Asphalten als Dichtmaterialien in langzeitstabilen Schachtverschlussbauwerken* (2009–2013) im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz über die Firma ERCOSPLAN

- *ELSA – Schachtverschlüsse für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle, Teil 1, Verbundvorhaben* der TU Bergakademie Freiberg (Institut für Bergbau und Spezialtiefbau) und der DBE Technology GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMW), FKZ 02E10921

Laufende und in Anbahnung befindliche Projektthemen sind:

- *Durchführung eines Großversuchs über Tage zur Optimierung der Einbringungstechnologie bei der Herstellung von Widerlager-Dichtelementen aus Bitumen und Schotter* im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz

- *Gegenständlicher Nachweis zum Eindringen von Bitumen in permeables Salzgestein*

- *Durchführung eines Großversuchs unter Tage zur Optimierung der Einbringungstechnologie bei der Herstellung von Widerlager-Dichtelementen aus Bitumen und Schotter*

- *ELSA – Schachtverschlüsse für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle, Teil 2*

Die Untersuchungen haben bzw. hatten drei Hauptschwerpunkte:

- Bestimmung der mechanischen und physiko-chemischen Materialeigenschaften von bitumenhaltigen Abdichtmaterialien,

- Nachweis der standortspezifischen Gebrauchstauglichkeit bitumenhaltiger Abdichtmaterialien durch Untersuchungen des Zusammenwirkens von Bitumen mit den anstehenden Gesteinen,

- Entwicklung und Optimierung von Verarbeitungs- und Einbautechnologien für die untertägige Anwendung von bitumenhaltigen Abdichtmaterialien.

Die Bestimmung der mechanischen und physiko-chemischen Materialeigenschaften von bitumenhaltigen Abdichtmaterialien ist eine wichtige Grundlage für die Bemessung, Optimierung und Qualitätssicherung.

Bitumen ist ein erdölstämmiges natürliches Kohlenwasserstoffgemisch von hoher molekularer Masse. In Abhängigkeit von der Temperatur ändert sich seine Konsistenz von nahezu fest bis flüssig, wobei kein Schmelzpunkt existiert. Auch im quasi-festen Zustand handelt es sich um eine nahezu newtonsche Flüssigkeit wie Wasser, jedoch mit einer um mehrere Zehnerpotenzen höheren Zähigkeit (Viskosität) bei Raumtemperatur. Die Kenntnis der temperaturabhängigen Viskosität ist für den Einsatz von bitumenhaltigen Abdichtmaterialien essenziell, insbesondere wenn Vorhersagen zum Langzeitverformungsverhalten getroffen werden sollen.

Die Viskosität des Bitumens wird im Labor mit einem dynamischen Scherrheometer (Abb. 6) bestimmt.



Abb. 6: Dynamisches Scherrheometer für die Bestimmung der temperaturabhängigen Viskosität von Bitumen



Abb. 7: Ein liegender Bitumentropfen, dessen seitliche Randwinkel vermessen werden

Abb. 8: Eine optische Bank zur Bestimmung von Randwinkeln

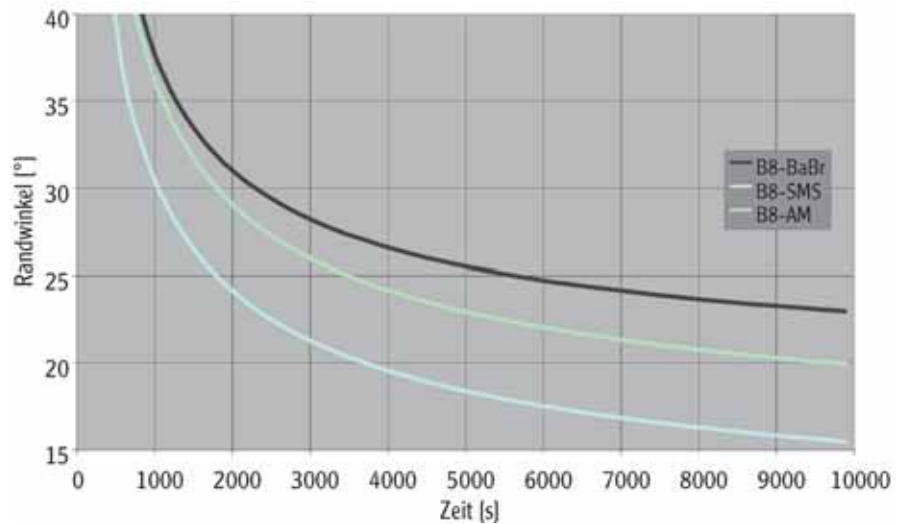


Abb. 9: Die mittleren zeitabhängigen Randwinkel von reinem Bitumen 70/100 auf Basalt, Steinsalz und Anhydrit

Da es sich bei Bitumen um eine Flüssigkeit handelt, ist sein Haftvermögen von seiner Benetzungsfähigkeit abhängig. Aber auch die Benetzbarkeit der Verbundpartner, z. B. Salzgestein oder Basaltschotter, spielt eine wichtige Rolle für das Haftvermögen von Bitumen.

Für die Bewertung der Benetzung von Bitumen auf verschiedenen Materialien wurden in großem Umfang Randwinkelmessungen an liegenden Bitumentropfen durchgeführt (Abb. 7). Die Messungen erfolgten mit kommerziellen sowie mit Geräten, die am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau entwickelt worden sind (Abb. 8). Abb. 9 zeigt beispielhaft Ergebnisse von Randwinkelmessungen von Bitumen B70/100 auf Basalt, Steinsalz und Anhydrit. Je niedriger der gemessene Randwinkel ist, umso besser benetzt das Bitumen das Gestein.

Die gewonnenen Erkenntnisse zum Benetzungsverhalten von bitumenhaltigen Abdichtmaterialien wurden in Laborversuchen zum Haftverbund mit Steinsalz angewendet und ein speziel-

ler Voranstrich entwickelt. Dieser ist auf die Erfordernisse des Einsatzes von Bitumen unter Tage abgestimmt und konnte erfolgreich patentiert werden (DE102008050211).

Mittels Versuchen im halbtechnischen Maßstab wurde der schnelle hydrostatische Druckaufbau im Bitumen bei Fluidrücken bis 10 MPa messtechnisch nachgewiesen. Zudem wurden bitumenhaltige Abdichtungen mit Fluidrücken bis zu 10 MPa belastet. Die Versuche fanden in Druckzellen aus Stahl statt, die umfangreich mit Drucksensoren und Temperatursensoren instrumentiert waren (Abb. 10). Die Kenntnis des Temperaturverlaufs ist beim Eingießen des Bitumens von Bedeutung. Die Temperatur wurde während der Druckbeanspruchung über einen Heizmantel eingestellt (Abb. 10).

Für den Einbau bitumenhaltiger Abdichtmaterialien gibt es mehrere Verfahren, die in Versuchen im halbtechnischen Maßstab und auch in Großversuchen getestet und optimiert wurden und werden.



Abb. 10: Druckzelle für Untersuchungen zum Abdichtverhalten

Hinsichtlich des Einbaus von bitumenhaltigen Abdichtungen in untertägigen Strecken wurden spezielle Asphaltformsteine entwickelt und erfolgreich patentiert (DE102006059478). Diese ermöglichen es, eine Abdichtung durch einfaches Aufeinandersetzen in den Streckenquerschnitt einzubauen. Auf Grund der speziellen rheologischen Eigenschaften kann ein Verschmelzen (Monolithisieren der Asphaltformsteine) und eine Benetzung an der Gebirgskontur durch Beaufschlagung mit einem Druckstempel und moderate Temperaturerhöhung (bis ca. 60 °C) erreicht werden. Diese Technologie wurde entwickelt, weil das Einbringen von Heißbitumen bei 180 °C bei einigen Gebirgsarten (z. B. Carnallit) zu einer irreparablen Schädigung der Gebirgskontur führt.

In Steinsalz kann dagegen Heißbitumen mit Temperaturen von 180 °C problemlos heiß eingebaut werden. Eine spezielle Einbaumethode ist dabei das bereits beschriebene Verfahren der bitumenverfüllten Schottersäule, das für die Schachtverschlüssen im Endlager Morsleben geplant ist. Durch halbtechnische Versuche in hitzebeständigen Borosilikatglaszylindern konnten wichtige Erkenntnisse zum Fließverhalten heißer Bitumenmassen in einem Schotterporenraum gewonnen werden (Abb. 11).

Ziel der Untersuchungen war es festzustellen, bis zu welcher Höhe der Schottersäule mit bestimmten Bitumensorten nahezu hohlraumfrei vergossen werden kann. Bei diesen Versuchen müssen der

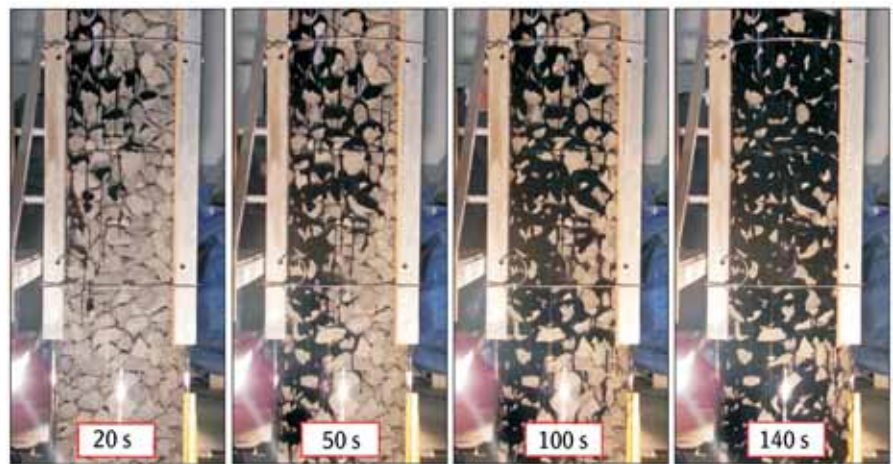


Abb. 11: Versuch zur Bestimmung des temperaturabhängigen Fließverhaltens von heißem Bitumen in einem Schotterporenraum

Staub- und der Wassergehalt des Schotters ausreichend klein sein, da ansonsten keine praktisch hohlraumfreie Aufsättigung des Schotterporenraums und keine Benetzung zwischen Bitumen und Schotter möglich sind.

Gerade die Ergebnisse der halbtechnischen Versuche und der Großversuche liefern wichtige Informationen für die Erstellung numerischer Modelle. Durch sie wird die Simulation des thermodynamischen Verhaltens heiß eingebauter Bitumen- bzw. Asphaltabdichtungen erst möglich.

Ausblick

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen konnten wesentliche wissenschaftliche Erkenntnisse und Erfahrungen zur Anwendung von Bitumen und Asphalt unter Tage gewonnen werden. Bei allen zukünftig geplanten Endlagern (z. B. für schwach- bis mittelradioaktiven Abfall, wie z. B. im Schacht Konrad) müssen standortspezifische Untersuchungen beim Einsatz von bitumenhaltigen Abdichtungen auf Basis der genannten Grundsatzuntersuchungen durchgeführt werden. Vor einem Einsatz bei einem so maßgeblichen und sicherheitsrelevanten Bauwerk wie einem Schachtverschluss für ein Endlager für radioaktive Abfälle müssen zudem weitere Großversuche auch im 1:1-Maßstab erfolgen, da viele Probleme und Fragestellungen erst aus der Praxis heraus aufgetreten sind. Nur mit Großversuchen im 1:1-Maßstab kann der Nachweis der Funktionsfähigkeit einer Abdichtung wirklichkeitsnah erbracht werden. Nicht zuletzt gebietet auch unsere Verantwortung zukünftigen Generationen gegenüber eine ständige Optimierung geplanter Endlagerkonzepte

und der hiermit verknüpften Schachtverschlusskonzepte und Einbautechnologien.

Unseren Auftraggebern und Unterstützern bei den genannten Forschungsarbeiten sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Literatur

- Krone, J.; Weber, J. R. und Mönig, J. (2008): *Überprüfung und Bewertung des Instrumentariums für eine sicherheitliche Bewertung von Endlagern für HAW – ISIBEL*; DBE TECHNOLOGY GmbH; Peine.
- Kudla, W.; Glaubach, U. und Gruner, M. (2009): *Diversitäre und redundante Dichtelemente für langzeitstabile Verschlussbauwerke mit Schwerpunkt Asphalt*, Fachgespräch Verschlussbauwerke, veranstaltet vom Projektträger Karlsruhe des BMBF am 20./21.10.2009 in Freiburg,
- Kudla, W. und Gruner, M. (2010): *Geotechnical barrierers – shaft and drift sealings – selected German research projects*, International Workshop Underground Disposals of Hazardous Waste, veranstaltet von der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 30.11.2010, Braunschweig.
- Müller-Lyda, I. und Sailer, M. (2008): *Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland*; GRS mbH.
- Rauche, H.; Sitz, P. et al. (2004): *Konzeptplanung der Schachtverschlüsse Bartensleben und Marie des ERA Morsleben*; TU Bergakademie Freiberg, ERCOSPLAN, K+S Consulting; Erfurt.
- Sitz, P. (2001): *Langzeitstabile Verschlussbauwerke in Strecken und Schächten*, *Bergbau - Zeitschrift für Rohstoffgewinnung, Energie, Umwelt*. 52 (2001) Nr. 11, S. 520–526.
- Sitz, P. und Gruner, M.; Rumphorst, K. (2003): *Bentonitdichtelemente für langzeitsichere Schachtverschlüsse im Salinar*, *Kali und Steinsalz* (2003) Nr. 3, S. 6–13.
- Wagner, K. (2005): *Beitrag zur Bewertung der Sicherheit untertägiger Verschlussbauwerke im Salinargebirge*, Dissertation. TU Bergakademie Freiberg. Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, 2005.
- Wilsnack, Th.; Sitz, P.; Heinemann, K.-H.; Rumphorst, K. und Hunstock, F.: *Flüssigkeitsdichte Verwahrung von Schächten*, *Kali und Steinsalz* (2008) Nr. 3, S. 24–35.

Wie kann man Nachhaltigkeit messen?

Der bundesdeutsche Nachhaltigkeitsindikator für Artenvielfalt und Landschaftsqualität als Beispiel

Roland Achtziger

Nachhaltigkeit und deren Implementierung in alle Handlungsfelder ist – angestoßen durch den Weltgipfel in Rio de Janeiro 1992 – erklärtes politisches Ziel der Bundesregierung. Wie in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie formuliert, steht unsere Gesellschaft vor einer großen Herausforderung: „Wir wollen eine ausgewogene und gerechte Balance zwischen den Bedürfnissen der heutigen Generation und den Lebensperspektiven künftiger Generationen erreichen.“ (Bundesregierung 2012). Auch die Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg hat sich diesem Konzept der Nachhaltigkeit – nicht nur wegen seiner historischen Verknüpfung mit Freiberg über Hannß Carl von Carlowitz – verpflichtet und dieses als grundlegende Säule in ihrem Wertedreieck (Nachhaltigkeit, Wertschöpfung, Ausstrahlung) verankert. Grundsätzlich stellen sich dabei die Fragen, was eine nachhaltige Nutzung oder ein nachhaltiger Umgang mit Ressourcen eigentlich ist, wie man den Grad der Nachhaltigkeit messen kann und wie diese Erkenntnisse auf einzelne Prozesse in der Wertschöpfungskette zurückwirken können, um etwa die Nachhaltigkeit bei der Rohstoffgewinnung oder beim Umgang mit Natur und Landschaft zu erhöhen bzw. zu optimieren.

Seit ihrer Etablierung im Jahr 1996 beschäftigt sich die AG Biologie/Ökologie am Institut für Biowissenschaften und am Interdisziplinären Ökologischen Zentrum IÖZ mit der Frage, wie man Nachhaltigkeit, speziell den angestrebten nachhaltigen Umgang mit Natur und Landschaft, messen bzw. quantifizieren kann. Der Schwerpunkt der Forschungen liegt dabei einerseits auf bundesweiten Konzepten zum Monitoring (Stickroth et al. 2003) oder zu Nachhaltigkeitsindikatoren (Achtziger et al. 2004) und andererseits auf der Entwicklung von praktikablen Bioindikatoren für Entwick-

lungs- und Renaturierungsprozesse auf ehemaligen bzw. in Betrieb befindlichen Bergbauarealen (Bergbaufolgelandschaft Lausitz, Kohlehalden in Vietnam) (z. B. Kästner et al. 2012). Die Arbeitsgruppe von Prof. Heilmeier verfolgt dabei den Ansatz, auf Basis der entwickelten Bioindikatoren wissenschaftsbasierte Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Umgang mit Natur und Landschaft zu geben und damit einen Beitrag für die Entwicklung einer nachhaltigen Ressourcennutzung zu leisten (z. B. Heilmeier & Achtziger 2008).

Bundesdeutscher Nachhaltigkeitsindikator für Artenvielfalt und Landschaftsqualität

Indikatoren dienen generell dazu, Rückschlüsse auf nicht oder nur mit hohem Aufwand zu messende Eigenschaften oder Zustände von Systemen machen zu können. Das Spektrum von Indikatoren reicht von gemessenen Einzelparametern, die Aussagen über bestimmte Eigenschaften des Systems zulassen, bis hin zu komplex aufgebauten Indizes, die aus Einzelindikatoren aggregiert werden (Beispiel: DAX, Warenkorb). Im Bereich der Biologie werden zudem Indikator- oder Zeigerarten genutzt, deren Vorkommen und Häufigkeit bestimmte Aussagen über Lebensräume, Ökosystemeigenschaften oder -belastungen zulassen (z. B. der Saprobienindex im Rahmen des DIN-Verfahrens zur Ermittlung der Gewässergüte). Auch die Bundesregierung hat in ihrer Nachhaltigkeitsstrategie ein Set von 21 Indikatoren aus den Politikfeldern Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft aufgestellt (Tabelle 1), mit denen sie in regelmäßig erscheinenden Indikatorenberichten aufzeigen will, „wo wir auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung stehen“ (Bundesregierung 2002).

Neben anderen umweltbezogenen Indikatoren wie Treibhausgasemissionen (2), Stickstoffüberschuss (12a) oder Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche (4) macht der Nachhaltigkeitsindikator für Artenvielfalt und Landschaftsqualität (5) Aussagen über den Grad der Nachhaltigkeit im Umgang mit Biodiversität, Natur und Landschaft in Deutschland. Es han-

Tabelle 1: Aktuelle Indikatoren der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, aufgeschlüsselt nach Themenfeldern (Bundesregierung 2012)

Nr.	Themenfeld und Indikator
Generationengerechtigkeit	
1a	Energieproduktivität
1b	Primärenergieverbrauch
2	Treibhausgasemissionen
3a	Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch
3b	Anteil des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien
4	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche
5	Artenvielfalt und Landschaftsqualität
6a	Staatsdefizit
6b	strukturelles Defizit
6c	Schuldenstand
7	Verhältnis der Bruttoanlageinvestitionen zum BIP
8	Private und öffentliche Ausgaben für Forschung und Entwicklung
9a	Bildung: 18- bis 24-Jährige ohne Abschluss
9b	Bildung: 30- bis 34-Jährige mit tertiärem oder postsekundärem nicht-tertiärem Abschluss
9c	Bildung: Studienanfängerquote
Lebensqualität	
10	BIP je Einwohner
11a	Gütertransportintensität
11b	Personentransportintensität
11c/d	Anteile des Schienenverkehrs und der Binnenschifffahrt
12a	Stickstoff-Überschuss
12b	Ökologischer Landbau
13	Schadstoffbelastung der Luft
14a/b	Vorzeitige Sterblichkeit
14c/d	Raucherquote von Jugendlichen und Erwachsenen
14e	Anteil der Menschen mit Adipositas (Fettleibigkeit)
15	Straftaten
Sozialer Zusammenhalt	
16a/b	Erwerbstätigenquote
17a/b	Ganztagsbetreuung für Kinder
18	Verdienstabstand zwischen Männern und Frauen
19	Ausländische Schulabsolventen mit Schulabschluss
Internationale Verantwortung	
20	Anteil öffentlicher Entwicklungsausgaben am Bruttoinlandseinkommen
21	Deutsche Einfuhren aus Entwicklungsländern

delt sich um einen politischen Indikator und damit um einen Index, der - wie andere Indikatoren im Kontext mit Natur- und Umweltschutz - vornehmlich der Politikberatung und der Information der Öffentlichkeit dient, indem er in anschaulicher Weise die Erfolge oder Misserfolge bei der Erreichung der politisch festgelegten Ziele aufzeigt (s. Sukopp 2009).

Der Nachhaltigkeitsindikator für Artenvielfalt und Landschaftsqualität (NHI)

1 Dr. Roland Achtziger, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften und Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum IÖZ, Arbeitsgruppe Biologie/Ökologie
Leipziger Straße 29 · 09599 Freiberg,
Tel. +49 3731 39-3397 · Fax +49 3731 39-3012
E-Mail: achtzig@ioez.tu-freiberg.de
http://tu-freiberg.de/fakult2/bio

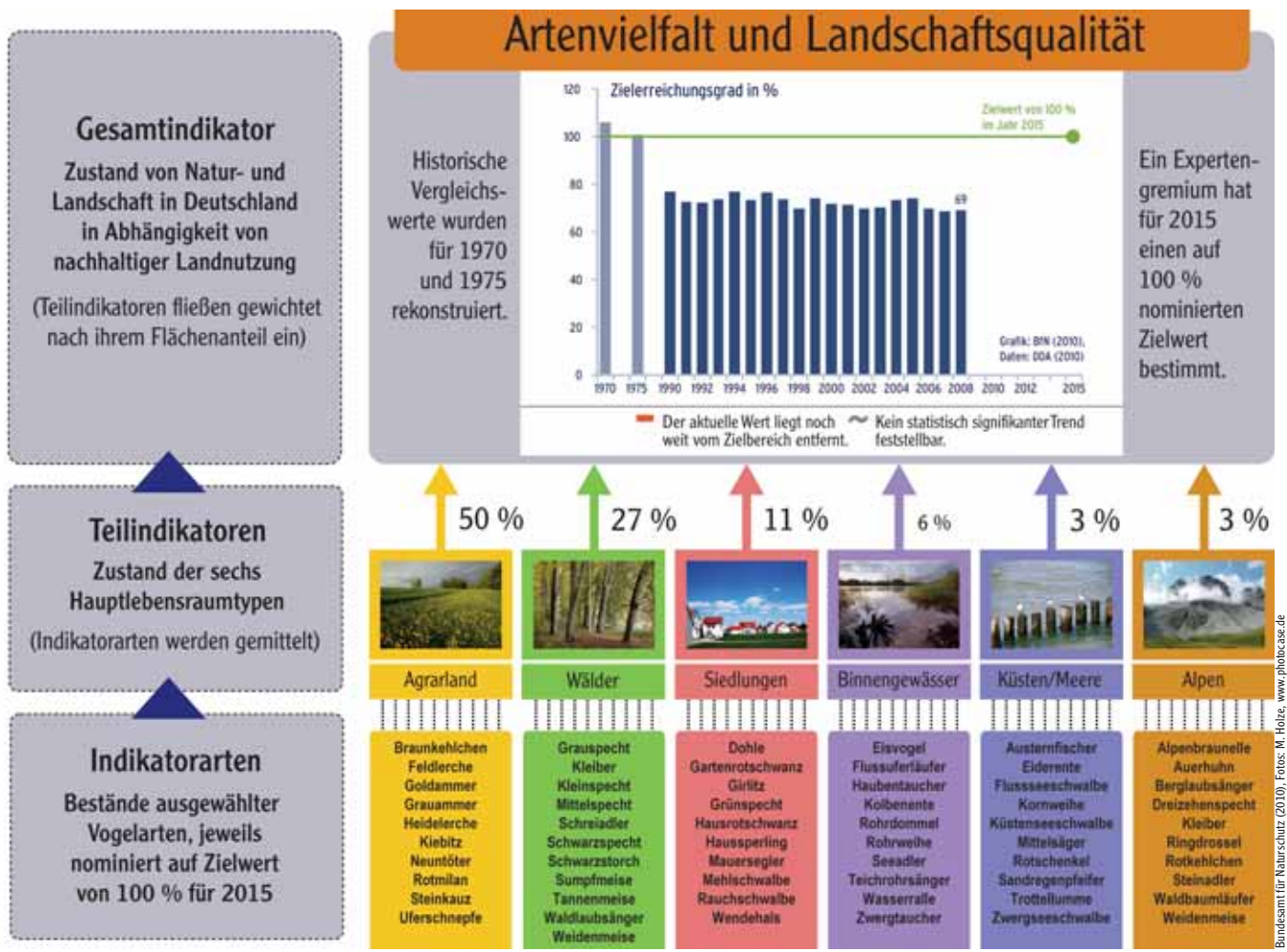


Abb. 1: Aufbau des Nachhaltigkeitsindikators für Artenvielfalt und Landschaftsqualität

wurde in den Jahren 2004 bis 2007 im Rahmen von F&E-Projekten des Bundesamtes für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter der Federführung der AG Biologie/Ökologie (Projektleiter Dr. Achtziger) konzipiert. Als Ergebnis wurde – beginnend mit dem Jahr 1990 – ein jährlicher Indikatorwert berechnet (Achtziger et al. 2004, Achtziger et al. 2007, unpubl.), der bisher bis 2009 fortgeführt worden ist (s. Statistisches Bundesamt 2012). Mittlerweile hat sich der NHI als wichtigster Indikator für Aussagen zum nachhaltigen Umgang mit Natur und Landschaft sowie zur Entwicklung der biologischen Vielfalt (Biodiversität) in Deutschland etabliert (s. Dröschmeister & Sukopp 2009). Entsprechend wurde der Indikator über die Nachhaltigkeitsstrategie hinaus in weitere nationale Indikatorenssysteme aufgenommen, etwa in das Indikatorenset der Nationalen Biodiversitätsstrategie (Sukopp et al. 2010) oder in das Kernindikatorensystem KIS des Umweltbundesamts (Sukopp et al. 2008).

Prinzip und Aufbau des Indikators

Die wesentlichen Vorgaben für die Entwicklung des Indikators waren, dass er (a) Aussagen zur Nachhaltigkeit des Umgangs mit Natur und Landschaft in Deutschland und zu dessen Hauptlebensraumtypen (Agrarland, Wälder, Siedlungen, Gewässer, Küsten/Meere, Alpen) erlauben, (b) auf vorhandenen Daten von Beständen ausgewählter Tierarten (Indikatorarten) basieren und (c) zugleich wissenschaftlich fundiert als auch anschaulich sein sollte, um unterschiedliche Adressaten (Politik und Öffentlichkeit bis Fachpublikum) bedienen zu können. Um diesen vielfältigen Ansprüchen gerecht zu werden, wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Naturschutz, dem Büro Dr. Hermann Stickroth (Augsburg), der Forschungsstelle für Umweltpolitik der FU Berlin, dem Naturschutzinstitut Freiberg sowie unter Mitwirkung zahlreicher Länderbehörden und Fachverbände ein Index entwickelt, der drei Ebenen aufspannt (Abb. 1):

(1) Die unterste Ebene bilden die Bestände von 59 ausgewählten Vogelarten, die repräsentativ für jeden der

sechs Hauptlebensraumtypen ausgewählt wurden und für die langjährige Bestandsdaten aus Deutschland durch das Monitoring ehrenamtlicher Ornithologen vorlagen (z. B. Wahl et al. 2011). Diese Vogelarten stehen stellvertretend für zahlreiche andere Tier- und Pflanzenarten in ihren Lebensräumen und dienen als Indikatoren für die Qualität ihrer Lebensräume und den nachhaltigen Umgang mit Natur und Landschaft. Verbessert sich die Lebensraumqualität etwa in Folge einer Verringerung von Belastungen oder einer Verbesserung der Nachhaltigkeit von Nutzungen bzw. der Umsetzung der dafür vorgesehenen Maßnahmen, dann drückt sich dies in zunehmenden Bestandszahlen der in den Indikator einbezogenen Arten und letztlich in einem positiven Trend des Gesamtindikators aus.

(2) Die zweite, mittlere Ebene bilden die sechs Hauptlebensraumtypen Agrarland, Wälder, Siedlungen, Gewässer, Küsten/Meere und Alpen. Diese Teilindikatoren geben Auskunft über den nachhaltigen Umgang mit der Landschaft und die daraus resultierende Landschafts-

qualität in den wichtigsten Landschaftstypen Deutschlands. Die Informationen auf dieser Ebene sind z. B. für Nutzerverbände oder andere Akteure als Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmenprogrammen wichtig.

(3) Die oberste Ebene bildet der Gesamtindikator, der summarisch Aussagen zur Artenvielfalt, zu Landschaftsqualität und zur Nachhaltigkeit der Landnutzungen in Deutschland trifft und Informationen für die allgemeine Öffentlichkeit und die Politik bereitstellt.

Zielwerte und Berechnung des Indikators

Um politischen Handlungsbedarf zu signalisieren und zu entfalten, ist die Festlegung eines künftigen Ziels notwendig (vgl. Zieschank et al. 2004), denn erst dadurch wird in der Berichterstattung zum Indikator sichtbar, wie groß der Abstand des aktuellen Indikatorwerts zum Zielwert noch ist und in welche Richtung er sich bewegt (Sukopp et al. 2011). Daher wurden in der Nachhaltigkeitsstrategie für alle Indikatoren bestimmte Zielwerte (zumeist normiert auf 100%) in einem zukünftigen Zieljahr angegeben (vgl. Statistisches Bundesamt 2012). Für das Festlegen des Ziels (Norm) werden einerseits fachliche Grundlagen herangezogen; dies muss andererseits aber auch politisch-gesellschaftlich legitimiert sein (Sukopp et al. 2011). Im Falle des NHI wird angestrebt, bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (hier 2015) die vorgegebenen Ziele eines nachhaltigen Umgangs mit Natur und Landschaft, die für die einzelnen Hauptlebensräume formuliert wurden (z. B. Richtlinien für nachhaltige Land- und Forstwirtschaft etc.), zu erreichen. Für die Festlegung der Zielwerte stellte sich nun im Projekt die Frage, wie der nachhaltige Umgang mit der Landschaft anhand der Bestandsentwicklung von Indikator-Vogelarten gemessen oder abgeschätzt werden kann. Dies wurde mit Hilfe eines Delphi-Verfahrens gelöst, indem ein Expertengremium für jede einzelne Vogelart auf der Grundlage der bisherigen Populationsentwicklung einen Bestandswert für das Jahr 2015 ermittelt bzw. abgeschätzt hat, der erreicht werden kann, wenn die gesetzlichen Vorgaben im Naturschutz und die formulierten Leitlinien einer nachhaltigen Entwicklung vollständig umgesetzt werden (Details s. Stickroth et al. 2005).

Für die Berechnung der Teilindikatoren und des Gesamtindikators wurden die

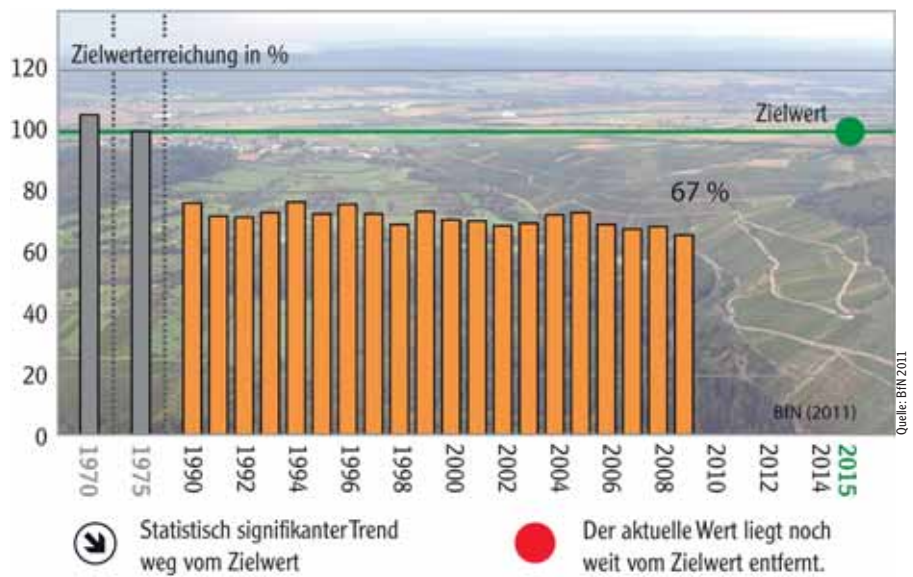


Abb. 2: Verlauf des Gesamtindikators für Artenvielfalt und Landschaftsqualität

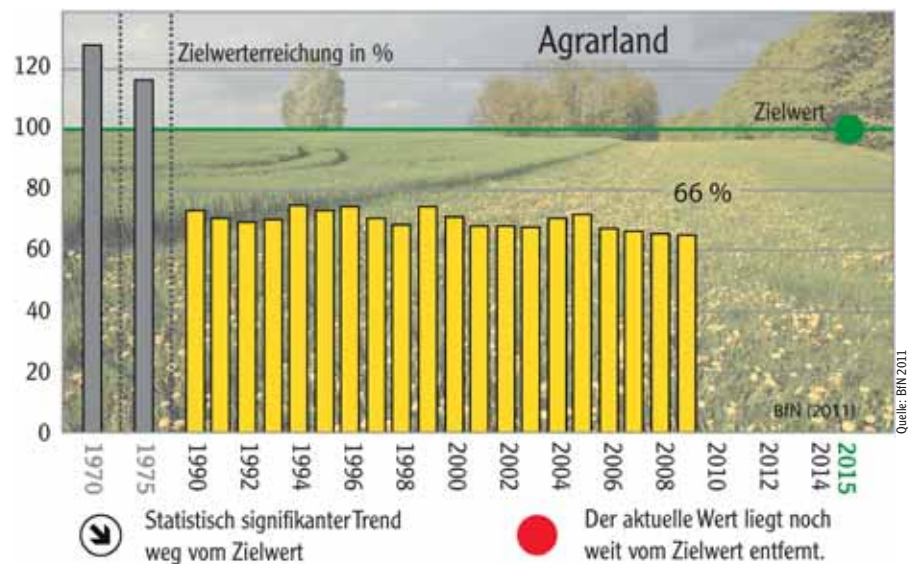


Abb. 3: Verlauf des Teilindikators Agrarland

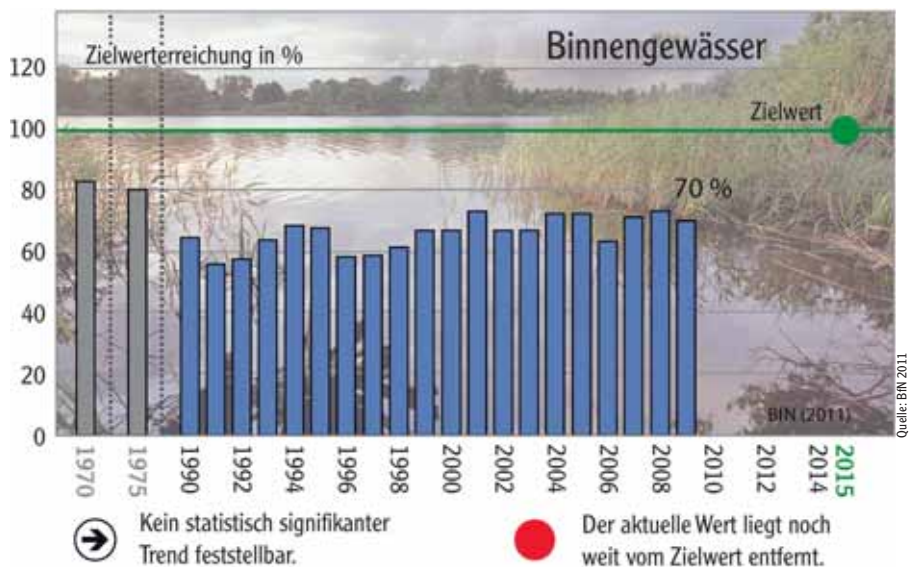


Abb. 4: Verlauf des Teilindikators Binnengewässer

Quelle: BIN 2011

Quelle: BIN 2011

Quelle: BIN 2011

Zielwerte aller Arten auf jeweils 100% normiert, wodurch sich jährlich für jede Art ein Prozentwert für den Grad der Zielerreichung ergibt (Achtziger et al. 2005). Die Mittelwerte der Zielerreichungsgrade über die zugehörigen Vogelarten ergeben dann den (jährlichen) Indikatorwert für jeden der sechs Hauptlebensraumtypen (Abb. 1). Der Verlauf der Teilindikatorwerte über die Zeit erlaubt somit Aussagen zur Entwicklung der Nachhaltigkeit von Nutzungen in den Hauptlandschaftstypen Deutschlands. Der Gesamtindikator errechnet sich aus dem Mittel der Teilindikatoren, gewichtet entsprechend dem jeweiligen Flächenanteil in Deutschland (Agrarland z.B. 50%, s. Abb. 1). Der zeitliche Verlauf des Gesamtindikatorwerts und der Abstand zum festgelegten Zielwert zeigen damit in hochkonsensierter Form Erfolge bzw. Misserfolge in der Umsetzung nachhaltiger Nutzungsformen von Natur und Landschaft an.

Zeitliche Entwicklung der Indikatoren

In Abb. 2 ist der aktuelle Verlauf des Gesamtindikators von 1990 bis 2009 zusammen mit zwei rekonstruierten Vergleichswerten für 1970 und 1975 dargestellt (Statistisches Bundesamt 2012). Demnach hat sich der Gesamtwert gegenüber den Vorjahren auf nur 67% Zielerreichung nochmals verringert, sodass über die letzten 10 Jahre ein signifikanter Trend weg vom Zielwert 2015 zu erkennen ist (Abb. 2).

Der Vergleich mit den Werten für 1970 und 1975 zeigt bis zu Beginn der 1990er-Jahre deutliche Bestandseinbrüche bei den einbezogenen Indikatorarten. Dies betrifft neben dem Gesamtindikator vor allem die Vögel des Agrarlands (Abb. 3), der Siedlungen (nicht dargestellt) sowie der Binnengewässer (Abb. 4).

Mit Ausnahme der Teilindikatoren Wälder und Binnengewässer (Abb. 4), für die kein statistischer Trend vorhanden ist, sind bei den übrigen Teilindikatoren – Agrarland (Abb. 3), Siedlungen, Küsten/Meere und Alpen – jeweils statistisch signifikante negative Entwicklungen weg vom Zielwert feststellbar (Statistisches Bundesamt 2012). Alle Indikatorwerte waren im letzten Berichtsjahr 2009 noch weit vom Zielwert 2015 entfernt.

Ableitung von Handlungsbedarf für eine nachhaltige Nutzung

Der ungünstige Verlauf des Nachhaltigkeitsindikators für Artenvielfalt und Landschaftsqualität zeigt an, dass die

formulierten Ziele und Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung in den Hauptlandschaften Deutschlands (z. B. BMELV 2008 für Agrarland und Wälder) sowie die eingeleiteten Maßnahmen für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität (BMU 2007) bis jetzt nicht ausreichend gegriffen haben. Wie der negative Trend zeigt, muss man vielmehr davon ausgehen, dass sich die Belastungen von Natur und Landschaft durch intensive Nutzung, Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft, Versiegelung von Flächen sowie Stoffeinträge und zunehmende Freizeitnutzung eher erhöht haben (Statistisches Bundesamt 2012, S. 17). Der Indikator zeigt damit weiteren Handlungsbedarf für die Förderung und Umsetzung nachhaltiger Nutzungsformen in Natur und Landschaft auf. Auf dieser hochaggregierten Ebene des Gesamtindikators können allerdings keine konkreten Maßnahmen zum Erreichen der formulierten Nachhaltigkeitsziele abgeleitet werden. Diese müssen auf der Ebene der Landnutzer entwickelt werden, wobei man wohl nie eine vollständige „Nachhaltigkeit“ der Nutzung erreichen, sondern nur den Grad der Nachhaltigkeit erhöhen kann. Hochaggregierte Indizes wie Nachhaltigkeitsindikatoren oder Wirtschaftsindikatoren (Beispiel DAX) können die Richtung der Gesamtentwicklung indizieren und damit öffentlichen und politischen Handlungsdruck auslösen.

Literatur

- Achtziger, R. & Kästner, A. (2008): Zikadengemeinschaften als Indikatoren für die Entwicklung der Biodiversität in der Bergbaufolgelandschaft in Ost-Sachsen (Deutschland). DGaE-Nachrichten 22 (1): 56–57.
- Achtziger, R., Stickroth, H. & Zieschank, R. (2004): Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland. Angewandte Landschaftsökologie 63: 137 S.
- Achtziger, R., Stickroth, H. & Zieschank, R. (2005): From monitoring to indicators – calculation of the German sustainability indicator for species diversity. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 35: 437.
- Achtziger, R., Stickroth, H., Zieschank, R., Wolter, C. & Schlumprecht, H. (2007): F+E-Projekt „Nachhaltigkeitsindikator für den Naturschutzbereich - Phase 2“. Endbericht Teil A: Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt. Unveröff. Forschungsbericht im Auftrag des BfN (FKZ 804 86 010): 196 S.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (Hrsg.) (2008): Nachhaltigkeit konkret – Nachhaltigkeitskonzept des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Broschüre, Berlin, 36 S.

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Küchler-Krischun, J., Walter, A. M. & Hildebrand, M. (Red.), BMU, Berlin: 178 S.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Berlin: 235 S.
- Bundesregierung (2012): Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. Berlin, 246 S.
- Dröschmeister, R. & Sukopp, U. (2009): Indicators and conservation policy: the German Sustainability Indicator for Species Diversity as an example. Avocetta 33: 149–156.
- Heilmeier, H. & Achtziger, R. (2008): Bioindication from the biochemical to the landscape scale: Case studies from Central Europe. Scientific Bulletin of the National Mining University No. 6: 46–50 (Dnipropetrovsk, Ukraine).
- Kästner, A., Achtziger, R., Günther, A. & Heilmeier, H. (2012): Naturschutzfachliche Bewertung des Renaturierungserfolgs in der Bergbaufolgelandschaft am Beispiel des Tagebaus Nochten (Lausitz). mining+geo 02/2012: 318–323.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2012. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 80 S.
- Stickroth, H., Schlumprecht, H., Achtziger, R. (2005): Zielwerte für den „Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt“ – Messlatte für eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland aus Sicht des Natur- und Vogelschutzes. Berichte zum Vogelschutz 41: 78–98.
- Stickroth, H., Schmitt, G., Achtziger, R., Niggmann, U., Richert, E. & Heilmeier, H. (2003): Konzept für ein naturschutzorientiertes Tierartenmonitoring am Beispiel der Vogelfauna. Angewandte Landschaftsökologie 50: 398 S.
- Sukopp, U. (2009): A tiered approach to develop indicator systems for biodiversity conservation. In: BfN (Hrsg.): Second Sino-German Workshop on Biodiversity Conservation. Management of Ecosystems and Protected Areas: Facing Climate Change and Land Use. Bonn. BfN-Skripten 261: 38–40.
- Sukopp, U., Ackermann, W., Fuchs, D. & Schweiger, M. (2008): Policy-related Indicators Measure the Effectiveness of the German National Strategy on Biological Diversity. Federal Agency for Nature Conservation (BfN), Bonn: 15 S.
- Sukopp, U., Neukirchen, M., Ackermann, W., Fuchs, D., Sachteleben, J. & Schweiger, M. (2010): Bilanzierung der Indikatoren der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt: Wo steht Deutschland beim 2010-Ziel? Natur und Landschaft 85 (7): 288–300.
- Sukopp, U., Neukirchen, M., Ackermann, W., Schweiger, M. & Fuchs, D. (2011): Die Indikatoren der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. In: Bundesverband Beruflicher Naturschutz (Hrsg.): Ergebnisse des 30. Deutschen Naturschutztages 2010 in Stralsund. Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege 58: 12–33.
- Wahl, J., Dröschmeister, R., Langgemach, T. & Sudfeldt, C. (2011): Vögel in Deutschland – 2011. DDA, BfN, LAG VSW, Münster, 76 S.
- Zieschank, R., Stickroth, H. & Achtziger, R. (2004): Seismograph für den Zustand von Natur und Landschaft. Der Indikator für die Artenvielfalt. politische ökologie 91–92: 58–59.

Monitoring mikrobiologischer Prozesse mittels Kalorimetrie

Nicole Frank, Joachim Harmel, Andreas Lißner, Tobias Weling, Mario Winkelmann, Regina Hüttl

Die Entwicklung und Anwendung kalorimetrischer Systeme hat am Institut für Physikalische Chemie der TU Bergakademie Freiberg eine lange Tradition. Unter der Leitung von Professor Gert Wolf wurden die Forschungsarbeiten ab den 1990er-Jahren verstärkt auf den Einsatz der Kalorimetrie zur Lösung biochemischer und biotechnologischer Fragestellungen orientiert. Dazu bieten die besonderen Charakteristika kalorimetrischer Untersuchungsmethoden – die Nicht-Invasivität der Messung, die Unabhängigkeit von Färbung bzw. Trübung des Mediums und der komplexe Informationsgehalt des thermischen Signals – beste Voraussetzungen. In den letzten Jahren wurden dazu einerseits etablierte methodische Ansätze erfolgreich eingesetzt und andererseits kalorimetrische Neu- und Weiterentwicklungen entsprechend den speziellen Anforderungen mikrobiologischer Systeme vorangetrieben. Jede chemische/biochemische Reaktion bzw. mikrobiologische Stoffumwandlung ist mit einer Wärmetönung verbunden. Aus der kalorimetrischen Messung können sowohl thermodynamische Größen (Reaktionsenthalpie, Umsatz, Temperaturdifferenz) als auch kinetische Parameter (thermische Leistung, Aktivität, Geschwindigkeitskonstante) ermittelt werden. Die kalorimetrische Untersuchung des mikrobiellen Stoffwechsels ermöglicht die Quantifizierung der während der Kultivierung ausgetauschten Wärme und damit die Aufstellung von Bilanzgleichungen für die betrachteten metabolischen Prozesse. Messungen der Wärmeproduktion unter definierten Bedingungen liefern zudem wichtige Informationen über den zeitlichen Verlauf mikrobieller Wachstumsprozesse. Die Wärmeentwicklung pro Zeiteinheit korreliert direkt mit der metabolischen Aktivität und gibt damit Auskunft über den physiologischen Zustand einer mikrobiellen Kultur, ohne in das System einzugreifen oder etwa eine Probenahme vornehmen zu müssen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der kalorimetrischen Untersuchung des bakteriellen Abbaus von Schadstoffen, die thermische Detektion mikrobieller Aktivität und die im Rahmen von Verbundprojekten mit dem Kurt-Schwabe-

Institut für Mess- und Sensortechnik e.V., Meinsberg (KSI), und dem Ingenieurbüro Müller, Mittweida, (IMM) entwickelten Sensor-Kalorimeter vorgestellt.

Bakterieller Schadstoffabbau

Die Etablierung des Studienganges Angewandte Naturwissenschaft an der TU Bergakademie Freiberg und die Aktivitäten der AG Umweltmikrobiologie unserer Universität unter Leitung von Professor Schlömann auf dem Gebiet des bakteriellen Schadstoffabbaus haben die Untersuchung mikrobieller Systeme mittels Kalorimetrie initiiert. Studenten der Angewandten Naturwissenschaft sind durch ihre interdisziplinäre Ausbildung hervorragend geeignet, fachübergreifende Aufgaben, bestehend aus Anwendungen physikalischer Messprinzipien, physikalisch-chemischen Auswertestrategien und mikrobiologischen Fragestellungen, zu bearbeiten.

Diverse terrestrische und marine Bakterien sind zum Abbau von umweltschädlichen, wasserunlöslichen Kohlenwasserstoffen befähigt. Zur Erhöhung der Bioverfügbarkeit dieser Schadstoffe setzen die Bakterien Strategien wie die Hydrophobisierung ihrer Oberfläche oder die Abgabe von Tensiden in ihre Umgebung ein. Das in der AG Umweltmikrobiologie intensiv untersuchte Bodenbakterium *Rhodococcus opacus* 1CP ist beispielsweise in der Lage, beim Wachstum auf langkettigen Alkanen (Ölen) sog. Biotenside zu produzieren. Bedingt durch die Wasserunlöslichkeit der Substrate und die inhomogenen Kulturansätze können hierbei die Wachstumsuntersuchungen nicht mit den klassischen mikrobiologischen Methoden bzw. mit Arbeitsweisen, die eine mehrfache Beprobung des Systems erfordern, vorgenommen werden. Für ein derartiges System bietet sich der Einsatz der Kalorimetrie an, die neben der zeitnahen kontinuierlichen und nichtinvasiven Aufzeichnung des Wachstumsprozesses einen Einblick in die bakterielle Aktivität gestattet.

Die kalorimetrischen Messungen zum bakteriellen Abbau der Modellsubstanz Hexadecan erfolgten in einem konventionellen Kalorimeter (LKB 8700, Details in [1]). Zur Verdeutlichung der guten Reproduzierbarkeit der Messungen in derarti-

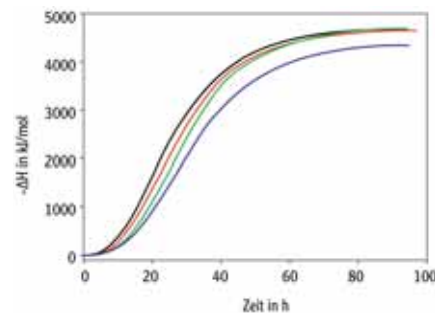
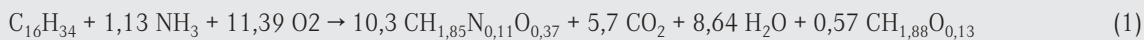


Abb. 1: Molare Reaktionsenthalpie für das Wachstum von *R. opacus* 1CP auf Hexadecan; die unterschiedlichen Farben repräsentieren Wiederholungsmessungen

gen inhomogenen Kulturlösungen ist in Abb. 1 die insgesamt produzierte Wärme (entspricht der Reaktionsenthalpie) pro Mol eingesetztes Hexadecan dargestellt. Auf Basis dieser experimentellen Werte gelingt die Bilanzierung des bakteriell bewirkten Abbaus. Obwohl das bakterielle Wachstum aus einer Vielzahl von parallel ablaufenden Reaktionen gespeist wird, kann die Gesamtheit der Stoffwechselreaktionen im thermodynamischen Sinne als Bruttoreaktion formuliert werden. Bei der Umsetzung einer beliebigen Kohlenstoffquelle werden unter aeroben Bedingungen sowohl Biomasse (Wachstum) als auch Kohlendioxid und Wasser (Atmung) gebildet. Die kalorimetrische Messung erfasst summarisch alle energetischen Veränderungen, die durch die Stoffwechselprozesse in der Zellkultur vorstangehen. Die ausgewiesene Übereinstimmung von berechneter und experimentell ermittelter Reaktionsenthalpie des Wachstumsprozesses bestätigt die korrekte Formulierung der chemischen Reaktionsgleichung. Zur genauen Formulierung der Summenreaktion müssen die Zusammensetzung der Biomasse und der Biomassertrag bekannt sein. Die Biomassezusammensetzung wurde deshalb elementaranalytisch und der Ertragskoeffizient durch Trockenmassebestimmung ermittelt [1]. Daraus resultiert eine Reaktionsenthalpie von $\Delta_R H = -5296 \text{ kJ/mol Hexadecan}$.

Die Differenz zu dem experimentell ermittelten Wert (Abb. 1) liegt in der Bildung eines Biotensids als extrazelluläres Produkt begründet: Bei dem gebildeten Biotensid handelt es sich um ein Trehalose-lipid, das Trehalosedinocardiolipid ($\text{CH}_{1,88}\text{O}_{0,13}$) [2]. Mit dieser Identifizie-



rung [3] kann die summarische Reaktionsgleichung (1) durch Einbeziehung der Biotensidbildung vervollständigt werden.

Durch Biotensidquantifizierungen mittels kalorimetrisch über die Zeit verfolgte Kultivierungen von *R. opacus* 1CP auf Hexadecan konnte eine wachstumsassoziierte Biotensidbildung nachgewiesen werden. Aus Gleichung (1) erhält man eine Reaktionenthalpie von $\Delta_R H = -4641 \text{ kJ/mol}$, die sehr gut mit dem experimentell ermittelten Wert (Abb. 1, $\Delta_R H = -4690 \pm 80 \text{ kJ/mol}$) übereinstimmt. Das Ergebnis weist überzeugend aus, dass mittels kalorimetrischer Messungen Voraussagen über den Ertrag an Bioprodukten in mikrobiellen Kultivierungen getroffen werden können.

Zudem ermöglichen experimentell ermittelte Reaktionsenthalpien Rückschlüsse auf den Umfang der bakteriellen Aktivität. Als Beispiel können in diesem Zusammenhang der kalorimetrisch detektierte unvollständige Abbau (Primärabbau) des synthetischen Tensids Tween 80 durch die o.g. Rhodococcen-Spezies und der vollständige Abbau des Rhamnolipids (Biotensid) durch eine Bodenbakterienmischkultur genannt werden [4].

Mikrobielle Aktivität

Für die unterschiedlichen Anwendungen von Mikroorganismen, die von der biotechnologischen Stoffsynthese über die Lebensmitteltechnologie bis zum oben diskutierten Schadstoffabbau reichen, ist die Optimierung der mikrobiologischen Wirksamkeit von essenziellem Interesse. Dabei spielen Prozessparameter wie Temperatur, pH-Wert, Wahl der Kulturmedien und die Nährstoffversorgung eine zentrale Rolle. Die folgenden Ergebnisse verdeutlichen die Möglichkeiten der kalorimetrischen Techniken zum online-Monitoring der Kultivierungen und zur Erfassung des Einflusses verschiedener Substrate auf die mikrobielle Aktivität.

Abb. 2 zeigt das Ergebnis des kalorimetrischen Monitorings zweier statischer Kultivierungen von *Paracoccus pantotrophus* DSM 65 auf Glukose (100 μmol). Die sehr gute Reproduzierbarkeit der kalorimetrisch erfassten Wachstumskurven gestattet eine sichere Interpretation. Die Zugabe des Nährstoffs Glukose löst sofort einen intensi-

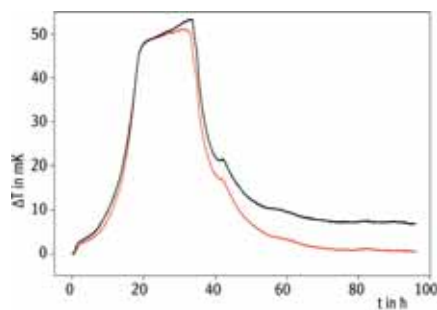


Abb. 2: Kalorimetrische Messkurve von *P. pantotrophus* DSM 65, Nährstoff: Glukose

ven Metabolismus in der Bakterienkultur aus, der mit einem sprunghaften Anstieg der Kalorimetertemperatur verbunden ist. Im weiteren Verlauf ist ein unlimitiertes Wachstum (steiler Anstieg der Messkurve) bis ca. 20 Stunden zu beobachten. Die anschließende Limitierung des Wachstums (Plateau) wird durch eine begrenzte Sauerstoffversorgung im Kalorimeter hervorgerufen. Der starke Abfall der Messkurve auf Basislinienniveau nach ca. 35 Stunden korreliert mit der begrenzten Glukosemenge der statischen Kultivierung. Die Veränderungen der mikrobiellen Aktivität infolge verschiedener Limitierungen sind in der kalorimetrischen Messkurve damit deutlich zu erkennen. Als Messgrößen eignen sich dabei die Temperaturänderung im Verlauf des bakteriellen Wachstums (unser Beispiel, isoperibole Kalorimeter) oder die thermische Leistung (Wärmeleistungskalorimeter s. u.). Die Ursachen der Limitierung können in Kombination der kalorimetrischen Messung mit zusätzlichen Sensoren (s. Abschnitt Sensor-Kalorimeter) oder mit offline-Analysen – beispielweise des Nährstoffgehalts – aufgeklärt werden.

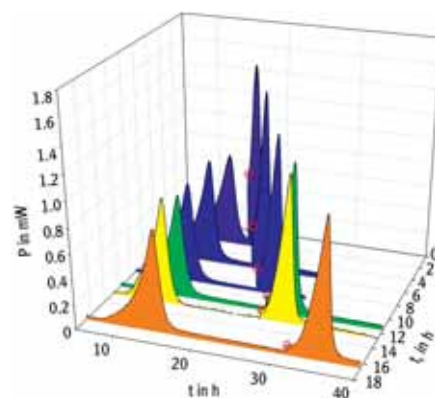


Abb. 3: Zweifaches Wachstum von *P. putida* auf Phenol, zeitlich variable zweite Zugabe von Nährstoff – Dauer der Hungerphase unterschiedlich

Die Nährstoffversorgung einer Kultur entscheidet sehr häufig über den Verlauf des biotechnologischen Prozesses. Praktisch relevant sind in diesem Zusammenhang die Wirkung toxischer Substrate und die Bildung von ökonomisch sehr interessanten Speicherstoffen unter Nährstoffverknappung, wie die von Biopolymeren für die Kunststoffherstellung oder die o.g. Biotensidproduktion. In unserer Arbeitsgruppe haben wir uns speziell mit der Untersuchung der Reaktion von Bakterien auf einen sogenannten Hungerstress beschäftigt. Ein solcher Stress wird von den Bakterien sehr unterschiedlich verkräftet. Während die Verknappung von Glucose als Kohlenstoff- bzw. Nahrungsquelle auch über einen längeren Zeitraum keine bedeutende Abnahme der mikrobiellen Aktivität bewirkt, ist eine schnelle Reduzierung dieser bei der Verwendung von aromatischen Wachstumssubstraten wie Natriumbenzoat oder Phenol zu verzeichnen. Abb. 3 zeigt die Wärmeleistung bei sechs unterschiedlichen Experimenten mit einer *Pseudomonas putida*-Kultur bei jeweils zweifacher Zugabe von Phenol. Der Hungerstress wurde durch die zeitlich variable Pause zwischen einer ersten und zweiten Zugabe von Nährstoff (Phenol) realisiert. Zur Vermeidung einer Sauerstofflimitierung wurde während der kalorimetrischen Messung Sauerstoff eingeleitet. Der einheitliche erste Peak in Abb. 3 indiziert das reproduzierbar ausgelöste erste Wachstum der Kultur auf Phenol. Die erneute Zugabe von Phenol in die kalorimetrische Zelle erfolgte minimal nach 2,5 und maximal nach 16 Stunden. Während die Fläche unter den jeweiligen Wachstumskurven bei allen Experimenten unverändert ist und der konstant umgesetzten Phenolmenge entspricht, sind die Peakformen der zeitlich variabel ausgelösten zweiten Wachstumsphasen markant unterschiedlich. Insbesondere die Startwärmeleistungen P_0 (rote Kreise) nehmen mit der Dauer des Hungerstresses ab. Der damit verbundene Verlust der Aktivität ist jedoch nicht auf das Absterben der Bakterien zurückzuführen. Vielmehr wird der spezielle Stoffwechselweg für aromatische Verbindungen unterdrückt, was exemplarisch am Aktivitätsverlust der Catechol-2,3-Dioxygenase nachgewiesen werden konnte [5].

Eine andersgeartete Stresswirkung auf die Mikroorganismen wurde nach Zugabe von Silberionen beobachtet. In der Medizin ist die Verwendung von silberhaltigen Verbandsmaterialien schon lange bekannt. Der Einsatz von Silberionen in der antimikrobiellen Ausrüstung von Textilien zur Verhinderung des Wachstums von Bakterien auf der Haut und zur Unterdrückung der damit verbundenen unangenehmen Gerüche ist hochaktuell. Die Wirkungsweise der Silberionen beruht auf der Inhibierung des mikrobiellen Stoffwechsels durch Wechselwirkung mit den DNS-Bestandteilen bzw. mit schwefelhaltigen Enzymen. *Abb. 4* zeigt beispielhaft die Herabsetzung der mikrobiellen Aktivität einer *P. putida*-Kultur bei Verwendung von Silberkonzentrationen im Bereich von 0–2.000 µg/L. Schon niedrige Konzentrationen (0–50 µg/L) bewirken eine Absenkung der bakteriellen Aktivität im Zeitintervall von 20–80 min. Konzentrationen oberhalb von 200 µg/L haben eine vollständige Inhibierung des mikrobiellen Wachstums zur Folge [6].

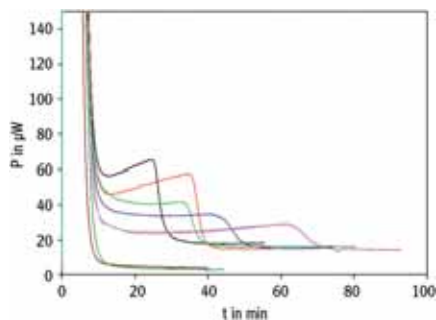


Abb. 4: Inhibierung des Wachstums von *P. putida* durch Silberionen, Silber-Konzentration schwarz, rot, grün, blau, rosa, grau, braun und dunkelgrün – 0, 20, 25, 35, 40, 50, 200 und 2000 µg/L

Sensorkalorimeter

Während in den beiden ersten Abschnitten die Möglichkeiten kalorimetrischer Untersuchungen in konventionellen Kalorimetern dargelegt worden sind, geht es im Folgenden um die Eigenentwicklung zweier zweckorientierter Sensorkalorimeter. Zur erweiterten Interpretation der kalorimetrisch detektierten Wachstumskurven (s. Abschnitt mikrobielle Aktivität) sind zusätzliche Kultivierungsparameter wie Kohlendioxid- bzw. Sauerstoffgehalte oder pH-Wert sehr nützlich. Kommerziell sind dazu Reaktionskalorimeter im Volumenbereich >500 mL zugänglich. Ziel unserer Entwicklungen war die kalorimetrische Untersuchung kleinvolumiger Kultivierungen im Bereich 15 bis 25 mL

mit gleichzeitiger Erfassung von zwei weiteren Kultivierungsparametern. Die dazu notwendigen miniaturisierten elektrochemischen Sensoren bzw. die Sensorarrays wurden vom Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik e. V., Meinsberg, entwickelt; die Ausarbeitung der elektronischen Messsignalerfassung und -verarbeitung erfolgte beim IMM Ingenieurbüro, Mittweida. Im Rahmen des Programms „Innovative technologieorientierte Verbundprojekte auf dem Gebiet der Zukunftstechnologien im Freistaat Sachsen“ wurden zwei Sensorkalorimeter konzipiert, gebaut und getestet, die sich insbesondere im thermischen Detektionsprinzip und in der Ausführung der elektrochemischen Sensorik unterscheiden.



Abb. 5: oben: Sensorkalorimeter komplett, unten: Ausschnittsvergrößerung der Reaktionszelle mit Glaselektrode, Rührer und Kapillaren

Abb. 5 zeigt ein Sensorkalorimeter und eine Ausschnittsvergrößerung des Reaktorgefäßes mit den Sensoren. Dieses System ist zur Untersuchung sowohl kontinuierlicher als auch statischer Kultivierungen geeignet.

Im Unterschied dazu ist das in *Abb. 6* dargestellte Miniaturkalorimeter ein batch-System zur Analyse statischer Kultivierungen. Es arbeitet mit einer sog. Leistungskompensation und enthält ein Sensorarray (*Abb. 6, links*). Das Miniaturkalorimeter ist ein Standgerät und mit einem eigenen Thermostaten (Peltierelement s. *Abb. 6*) ausgestattet. Zur Stabilisierung der Temperatur des Außenmantels des Sensorkalorimeters (*Abb. 5*) dient ein kommerzieller Kryostat.

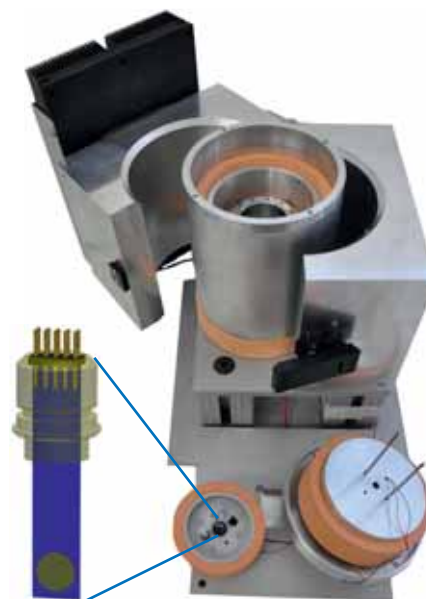


Abb. 6: Miniaturkalorimeter mit Sensorarray (links)

Das Sensorkalorimeter wurde durch umfangreiche physikalisch-chemische Untersuchungen optimiert. Im Reaktionsgefäß beträgt die Temperaturstabilität über 90 Stunden ± 2 mK. Es sind sehr kleine Wärmeleistungen bis zu 0,2 mW detektierbar. Als Beispiel ist in *Abb. 7* zeitabhängig eine Kultivierung von *P. pantotrophus* dargestellt. Für diese wurde die kalorimetrische Messung mit einer Sensorkombination, bestehend aus Redoxsensor (Erfassung des Redoxpotenzials) und amperometrischem Sauerstoffsensor (Ermittlung des gelösten Sauerstoffs), kombiniert. Eine integrierte Kapillare gestattet die sequenzielle Zugabe von Nährstofflösung und damit die Erfassung von mehreren Wachstumskurven in einem Kulturansatz.

Während der in *Abb. 7* vorgestellten Messung wurden dreimal je 100 µmol Glucose zugegeben. Die Korrelation der Signale aller drei Sensoren bezüglich Wachstumsbeginn und Wachstumsabbruch auf Grund des vollständigen Verbrauchs der Kohlenstoffquelle ist sehr gut zu erkennen. Der zeitliche Verlauf des kalorimetrischen Signals in den drei Wachstumskurven reflektiert sehr eindrucksvoll die Zunahme der mikrobiellen Aktivität bei jeder Nährstoffzugabe. Dies äußert sich sowohl in einem steileren Anstieg der kalorimetrischen Messkurve als auch in der Abnahme des Zeitbedarfs für die vollständige Verstoffwechslung der Glucose. Durch die im Verlauf des Prozesses zunehmende Biomasse erhöht sich die mikrobielle Aktivität der Zellkultur. Das kalorimetrische Signal kann diesen Prozess sehr gut wi-

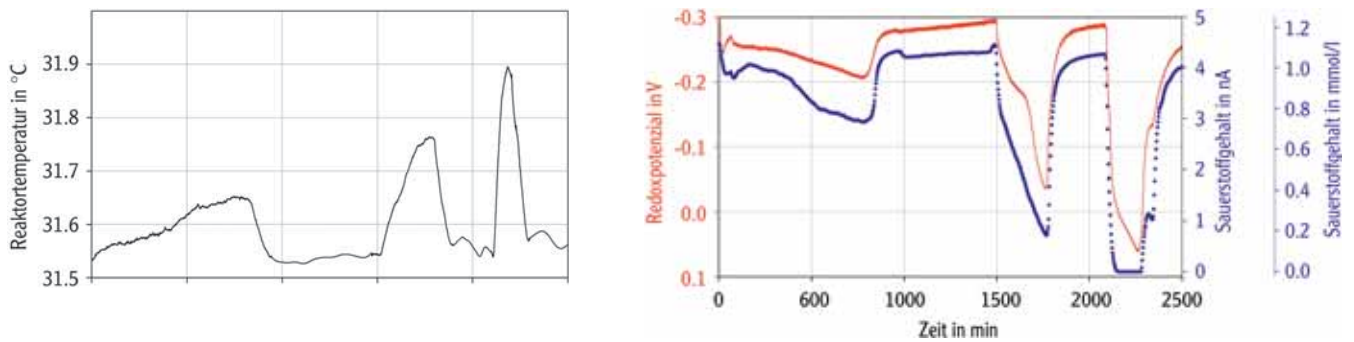


Abb. 7: Kultivierung von *P. pantotrophus*, dreifache Zugabe von 100 µmol Glucose, links: kalorimetrisches Messsignal, rechts: rot – Redoxsensor, blau – Sauerstoffsensor

derspiegeln. Indessen wird der steigende Bedarf an Sauerstoff für das aerobe Wachstum von *P. pantotrophus* bei zunehmender Biomassekonzentration im Signal des Sauerstoffsensors verdeutlicht. Während das kalorimetrische Signal bei der dritten Wachstumskurve noch keine Limitierung erkennen lässt, zeigt der Sauerstoffsensor mit dem Plateauwert an gelöstem Sauerstoff nahe 0 mmol/L eine Sauerstoffverarmung der Kulturbrühe an (vgl. Abschnitt Mikrobielle Aktivität).

Die vorgestellten Ergebnisse belegen die vielfältigen Möglichkeiten der Bearbeitung und Lösung von mikrobiologischen Problemstellungen mit unterschiedlichen kalorimetrischen Systemen. Durch eine gezielte Auswahl aus dem Methodenspektrum können einerseits thermodynamische Größen zur Aufstellung von Stoffbilanzen ermittelt und zur

Umsatzermittlung ausgewertet werden. Andererseits gestattet die Kalorimetrie auch die Erfassung kinetischer Parameter im Hinblick auf die Bestimmung mikrobieller Aktivität durch die zeitliche Verfolgung der thermischen Leistung. Durch die Kombination aus kalorimetrischer und elektrochemischer Sensorik können Ursachen für Wachstumslimitierungen zeitnah erfasst werden. Die ausgewählten Beispiele repräsentieren die große Anwendungsbreite und die gute Anpassungsfähigkeit der Kalorimetrie zum Monitoring mikrobiologischer Prozesse. Die weitere Entwicklung der Biotechnologie und ihre Anwendung wird durch diese Methode des Monitoring progressiv beeinflusst.

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen der Technologie-

förderung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Freistaates Sachsen (Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit) gefördert. Die Autoren danken außerdem der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung und der Arbeitsgruppe von Prof. Schlömann an der TUBAF sowie den Mitarbeitern des KSI, Meinsberg, und dem IMM Ingenieurbüro, Mittweida, für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- 1 Dissertation M. Winkelmann, TU Bergakademie Freiberg 2007.
- 2 Niescher, S. et al. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2006 70, 605.
- 3 Winkelmann, M.; Hunger, N.; Hüttl, R., Wolf, G.: Thermochimica. Acta 2009 482, 12.
- 4 Frank, N., Lißner, A., Winkelmann M., Hüttl, R., Mertens, F. O., Kaschabek, S. R., Schlömann, M. Biodegradation, (2010), 21(2), 179.
- 5 Lißner, A., Hüttl, R., Frank, N.; Mertens, F. O.: J. of Applied Microbiology 2009 107, 1984.
- 6 Dissertation A. Lißner, TU Bergakademie Freiberg 2011.

Förderbescheid für Genomforscher an der TU Bergakademie Freiberg

Mit der Genomforschung in Geobiotechnologie und Weißer Biotechnologie beschäftigt sich eine neue transnationale Nachwuchsforschergruppe der TU Bergakademie Freiberg. Den Förderbescheid für die Einrichtung des Projekts hat im Juni Dr. Ronald Werner vom Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst an Prof. Michael Schlömann, den Leiter des Instituts für Biowissenschaften an der Ressourcenuniversität, überreicht. In den nächsten drei Jahren wird die Nachwuchsforschergruppe mit 1,3 Millionen Euro aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) und des Freistaates Sachsen unterstützt. Tatkräftige Unterstützung erhielten die Freiburger Forscher bei der Antragsstellung vom Verein InnoRegio Mittelsachsen, der den Landkreis nachhaltig als Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort stärken will. In der Geobiotechnologie werden Mikroorganismen für die Reinigung von Bergbauwässern oder die Gewinnung von Metallen durch biologische Laugung von Erzen genutzt. Weiße Biotechnologie verfolgt das Ziel, Chemikalien, die rein chemisch nur schwierig herzustellen sind, über geeignete Enzyme, also Stoffe, die biochemische Reaktionen beschleunigen, einfach, kostengünstig und umweltschonend zugänglich zu machen. Hierbei arbeitet die Bergakademie eng mit Bioinformatikern der Hochschule Mittweida und der Universität Göttingen zusammen. Die Nachwuchsforschergruppe kooperiert aber nicht nur mit deutschen Forschungseinrichtun-



Adriana Hotho, Verein InnoRegio Mittelsachsen, Prof. Bernd Meyer, Rektor, Thomas Schumann, InnoRegion Mittelsachsen, Dr. Ronald Werner, Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, Prof. Michael Schlömann, Institut für Biowissenschaften

gen. Ein besonderes Merkmal ist ihr transnationaler Charakter (Partner: Universität Wageningen in den Niederlanden, Universität Bangor in Wales). Durch Workshops, Projektbesprechungen sowie mehrmonatige Aufenthalte in den Partnerlaboren sollen die Wissenschaftler der Gruppe an allen Standorten von der Förderung profitieren und auf den internationalisierten Arbeitsmarkt vorbereitet werden.

■ Simon Schmitt

Sorbent Enhanced Reforming

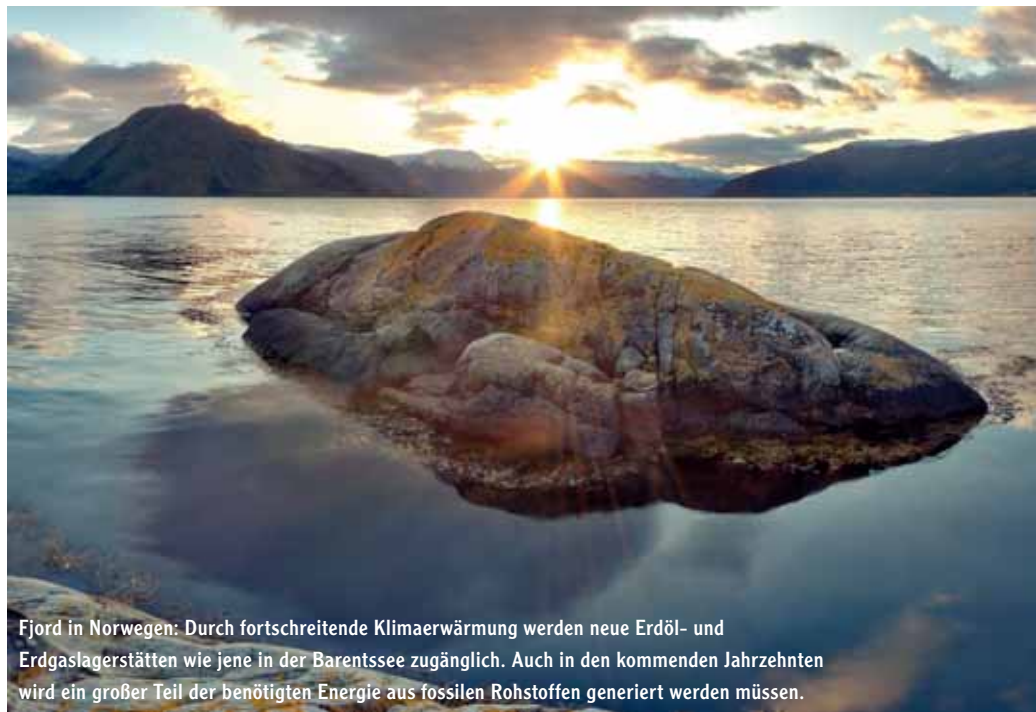
Ein alternativer Weg zur Wasserstoffproduktion aus Erdgas

Christoph Sprung¹

Das fortschreitende Wachstum der Erdbevölkerung erfordert eine immer umfangreichere Bereitstellung von Energie. Alternative Energieressourcen und Produktionsmethoden werden benötigt, um dem wachsenden Energiebedarf und dem Umweltbewusstsein sowie zunehmender Rohstoffknappheit gerecht zu werden.

Mobilität ist ein hohes Gut im Sinne des Transports von Personen und Gütern zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Ausgereifere Regelungs- und Katalysatorkonzepte dämpfen den Verbrauch von Kraftstoffen und den Ausstoß von Rußpartikeln, Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und Stickoxiden. Weiterhin bieten modifizierte Kraftstoffe mit Beimischungen von Ethanol (E 10) sowie Biodiesel, reines Ethanol, Methanol, Autogas, Erdgas und Wasserstoff Alternativen, um die CO₂-Emission zu verringern. Fahrzeuge mit Elektroantrieb werden entweder mit Strom aus einer Batterie oder einer Brennstoffzelle (Wasserstoff) gespeist. Je nach Art der Strom- bzw.

¹ Der Autor hat an der TU Bergakademie Freiberg Chemie studiert und in diesem Rahmen schon ein fünfmonatiges Praktikum am VTT-Technical Research Centre of Finland absolviert. Nach dem Diplom in Freiberg promoviert er an der Universität Oslo. Die Ratschläge und das internationale Netzwerk der Freiburger Professoren haben ihm bei der Planung der Auslandsaufenthalte sehr geholfen. Einen Teil der Untersuchungen im Rahmen seiner Dissertation zum Prozess der katalysierten Dampfreformierung von Methan konnte er während eines Forschungsaufenthalts an der University of California, Berkley, in den USA durchführen. Nach dem erfolgreichen Abschluss im Mai 2012 setzt er nunmehr seine wissenschaftliche Karriere als Postdoktorand an der Universität Utrecht in den Niederlanden fort. Mit dem Chemiestudium in Freiberg schuf er sich eine solide wissenschaftliche Grundlage für die Meisterung der multidisziplinären Herausforderungen in seiner weiteren Entwicklung.



Fjord in Norwegen: Durch fortschreitende Klimaerwärmung werden neue Erdöl- und Erdgaslagerstätten wie jene in der Barentssee zugänglich. Auch in den kommenden Jahrzehnten wird ein großer Teil der benötigten Energie aus fossilen Rohstoffen generiert werden müssen.

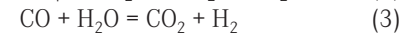
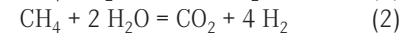
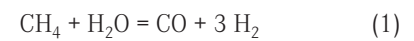
Wasserstoffbereitstellung ist eine CO₂-freie Fortbewegung möglich [1].

Die Erschließung neuer Lagerstätten und ausgereifere Gewinnungsmethoden garantieren zwar bis auf Weiteres eine unverminderte Produktion von Erdöl und -gas und zögern damit eine dramatische Verknappung der Ressourcen hinaus. Durch die fortschreitende Klimaerwärmung werden aber auch neue Lagerstätten wie jene im Nordmeer (Barentssee) zugänglich. Die Gewinnung von Erdgas aus Schieferschichten, von sogenanntem *Shale gas*, gewinnt an Bedeutung.

Dem Wasserstoff wird im Zusammenhang mit der langfristigen Energieversorgung eine zentrale Rolle als Energieträger zugesprochen. U. a. soll er auch einen wesentlichen Beitrag zur Kraftstoffversorgung liefern [2]. Bei seiner „kalten“ Verbrennung in Brennstoffzellen, verbunden mit der Erzeugung elektrischer Energie, entsteht als einziges Produkt Wasser. Er ist damit ein verwendungsseitig emissionsfreier Energieträger. Zum jetzigen Zeitpunkt wird Wasserstoff fast ausschließlich auf der Basis von fossilen Brennstoffen produziert, insgesamt zu 48% aus Erdgas, zu 30% aus Raffineriegasen und zu 18% aus Kohle. Die H₂-Produktion durch Elektrolyse von Wasser spielt eine nur untergeordnete Rolle (etwa 4%) [3]. Die Optimierung dieser Basisprozesse ist eine ständig aktuelle Aufgabe.

Die Erzeugung von Wasserstoff aus Erdgas (hauptsächlich durch Dampfreformierung) ist im industriellen Maßstab die kostengünstigste Methode. Hierbei

entstehen pro Tonne produziertem H₂ etwa 0,9 Tonnen CO₂ [4]. Die Gleichungen (1) und (2) beschreiben die Umsetzung von Methan zu CO bzw. CO₂. Die Beziehung (3) formuliert das sogenannte Wassergasgleichgewicht.



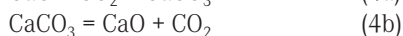
Diese Gleichungen offenbaren die direkte Verknüpfung von Wasserstoffherzeugung und CO₂-Bildung. Die Stöchiometrie der chemischen Umsetzung ist durch die aufgeführten Reaktionsgleichungen definiert, bietet aber auch Ansatzpunkte für die Effektivierung der Prozesse und die Verwertung des anfallenden CO₂. Nach dem sogenannten *Carbon Capture and Storage*-Konzept (kurz CCS) [5, 6] wird CO₂ aus Prozessströmen herausgefiltert und hoch angereichert in tief unter der Erde liegende poröse Gesteinsschichten oder in ausgebeutete Gas- und Öllagerstätten zur langfristigen Speicherung eingespeist. Damit wird eine CO₂-Freisetzung in die Atmosphäre vermieden und CO₂ steht für eine Nutzung als chemischer Rohstoff zur Verfügung. Das CCS-Konzept wird bereits seit 2008 in einer Pilotanlage am Kraftwerk Schwarze Pumpe ausführlich getestet [7].

Alternative, neuartige Prozessführungskonzepte zur Methanreformierung kommen mit einer geringeren Anzahl von Prozessschritten aus, die die Trennung von Wasserstoff und Kohlenstoff-



GAZPROM / Public Domain

oxid realisieren. Ein Beispiel hierfür ist das sogenannte *Sorbent enhanced reforming* (kurz SER) [8].



Das *Sorbent enhanced reforming* ist ein zweistufiger Prozess: Erdgasumwandlung und Sorbensregenerierung; vgl. Gl. (1)–(4). Im Reaktor befinden sich gleichzeitig ein Reformingkatalysator (gewöhnlich Nickel, geträgert auf Aluminiumoxid) und ein Sorbens (geeignet sind u. a. Erdalkalimetalloxide [8], z. B. Calciumoxid). Am Katalysator wird das Methan mit Wasserdampf gemäß den Gleichungen (1)–(3) zu einer Mischung aus H_2 , CO und CO_2 umgesetzt. Wird nun das CO_2 durch das Sorbens gebunden, wie es Gleichung (4a) verdeutlicht, verringert sich sein Partialdruck im Reaktor. Dadurch wird mehr Methan umgesetzt, um das Konzentrationsverhältnis zwischen Ausgangsstoffen und Produkten in Gleichungen (1)–(3) dem Massenwirkungsgesetz entsprechend neu einzustellen. Auf diesem Weg werden Methanumsätze von bis zu > 98 % erreicht, wobei der Produktgasstrom zu > 99 % aus Wasserstoff besteht, der nur noch CO_2 -Konzentrationen im ppm-Bereich aufweist [8, 9].

Im Vergleich zum herkömmlichen Steamreforming-Prozess bei 950 °C und 20–30 bar [4] sind wesentlich mildere Reaktionsbedingungen möglich: etwa 600 °C und ≤ 15 bar [8]. Die Anforderungen an das Reaktormaterial und der

Energieaufwand sind damit geringer. In einem zweiten Reaktionsschritt wird das Sorbens regeneriert, indem das gebundene CO_2 freigesetzt wird (Gleichung (4b)) und in Form eines separaten Produktgasstroms anfällt. Die Regeneration kann durch Temperaturerhöhung (auf über 800 °C) und/oder Druckminderung erzielt werden. Danach steht das Sorbens für einen erneuten Sorptions-/Desorptions-Zyklus zur Verfügung. Für die Realisierung der beiden Prozessschritte werden mehrere Konzepte empfohlen. Diskontinuierlich betriebene Festbettreaktoren (alternierende Gasströme für Reforming und Regeneration) ermöglichen hohe Methanumsätze und H_2 -Ausbeuten [8,9]. In Fließbettreaktoren zirkuliert das Gemisch aus Katalysator und Sorbens zwischen Reforming- und Regenerationsreaktor, aus denen kontinuierlich ein H_2 - bzw. CO_2 -reicher Produktstrom entnommen werden kann [8, 10]. Mit der *Sorbent enhanced reforming*-Technologie wird somit eine Trennung von Wasserstoff und CO_2 in zwei hoch angereicherte Prozessströme mittels nur zweier Prozessschritte (Reforming and Regeneration) erreicht.

Der notwendige Reinigungsaufwand als Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Wasserstoff in Brennstoffzellen hat sich erheblich verringert. Das CO_2 fällt ebenfalls in hoch angereicherter Konzentration an, sodass es direkt mittels CCS-Technologie gespeichert werden kann. Der Wasserstoff steht damit in notweniger Reinheit zur emissionsfreien, dezentralen Nutzung zur Verfügung.

Die Menschheit wird auch in den kommenden Jahrzehnten einen signifikanten Teil der benötigten Energie aus fossilen Rohstoffen generieren [11]. In Bezug auf die dezentrale Nutzung, umweltverträgliche Produktion und eine flächendeckende Bereitstellung von alternativen Energieträgern sind noch weitere Herausforderungen zu meistern. Insbesondere die Speicherung von Wasserstoff wird noch Gegenstand intensiver Forschung bleiben müssen. Auch die Energiekonzepte für die Zukunft unterliegen natürlich chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Eine Reduzierung des Energieverbrauchs durch Maschinen lässt sich mit fortschreitender Entwicklung in Wissenschaft und Technik erreichen. Nachhaltig wird sich eine Verringerung von Emissionen jedoch nur durch eine umsichtigeren Nutzung der Ressourcen erzielen lassen.

Forschung für die Energiewende BioRedKat untersucht Biokraftstoffe

An der TU Bergakademie Freiberg arbeitet seit Anfang des Jahres eine neue Nachwuchsforschergruppe unter dem Namen BioRedKat. Diese Wissenschaftler untersuchen alternative biogene Kraftstoffe (aus öl-, stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen) für Motoren. Sie erforschen, wie sich Schadstoffe bilden und wollen mit ihren Erkenntnissen bessere Abgaskatalysatoren entwickeln. „Kraftstoffe aus Bioethanol, die beim Verbrennen im Motor möglichst wenig klimaschädliche Stoffe erzeugen, sind eine wichtige Voraussetzung zur nachhaltigen Energiewandlung und tragen somit unter anderem zu einer Kohlendioxidreduktion bei“, erklärt Prof. Sven Kureti. Das Projekt wird mit 1,8 Millionen Euro durch den Freistaat Sachsen und den Europäischen Sozialfonds unterstützt. Acht Nachwuchswissenschaftler gehören zum Team von BioRedKat. Die Nachwuchsforschergruppe arbeitet interdisziplinär auf den Gebieten der Verbrennungstechnik, der Abgaskatalyse und der numerischen Thermofluidynamik unter Beteiligung der Freiburger Professoren Sven Kureti (Reaktionstechnik), Prof. Dimosthenis Trimis (Gas- und Wärmetechnische Anlagen) und Prof. Christian Hasse (Numerische Thermofluidynamik).

■ Stefan Voß

Literatur

- 1 F. Frick: Abgasfrei um den Globus, FOCUS Online 15.11.2011.
- 2 J. Schindler, R. Wurster, M. Zerta, V. Blandow, W. Zittel: Woher kommt die Energie für die Wasserstoffherzeugung, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband, Mai/2011.
- 3 Hydrogen Production & Distribution, IEA Energy Technology Essentials ETE 05, 2007.
- 4 J. Rostrup-Nielsen, L. J. Christiansen: Concepts In Syngas Manufacture (Catalytic Science Series), Imperial College Press; 1. edition (July 21, 2011).
- 5 The illusion of clean coal, The Economist, (March 05 2009).
- 6 The Global Status of CCS: 2011, Global CSS Institute, (October 04 2011).
- 7 G. Lindgren, S. Görtz, D. Müller, M. von Gyllenpalm: Vattenfall and CCS – Carbon Capture and Storage.
- 8 D. P. Harrison: Ind. Eng. Chem. Res. 47 (2008) 6486.
- 9 M. H. Halabi, M. H. J. M. de Croon, J. van der Schaaf, P. D. Cobden, J. C. Schouten: Fuel 99 (2012) 154.
- 10 B. Arstad, J. Probst, R. Blom: Chem. Eng. J. 189–190 (2012) 413.
- 11 International Energy Agency – Energy Technology Perspectives 2012.

Bilanzierung von Emissionsrechten in Deutschland – eine Analyse ausgewählter Geschäftsberichte

Silvia Rogler

Seit der Einführung des Emissionsrechtshandels im Jahr 2005¹ stehen die Unternehmen vor dem Problem, wie die Emissionsrechte im Jahresabschluss zu erfassen sind. Es besteht noch immer ein „regelungsfreier“ Raum, da weder im HGB noch in den International Financial Reporting Standards (IFRS) – seit der Rücknahme von IFRIC 3² – spezielle Regelungen existieren. Daraus resultieren verschiedene Bilanzierungsalternativen, die in der Bilanzierungspraxis internationaler Unternehmen auch ausgenutzt werden, wie eine aktuell am Lehrstuhl für Rechnungswesen und Controlling der TU Bergakademie Freiberg durchgeführte Untersuchung der Geschäftsberichte großer Energieversorger aus verschiedenen Ländern gezeigt hat.³

Die unterschiedliche Vorgehensweise bei der Bilanzierung erschwert die Beurteilung von Unternehmen durch Externe, da keine Vergleichbarkeit gegeben ist. Die Bilanzierung der Emissionsrechte beeinflusst die Höhe des vom Unternehmen ausgewiesenen Vermögens und damit, bei konstanten Schulden, auch das ausgewiesene Eigenkapital. Je höher das Vermögen und das Eigenkapital sind, umso besser wird das Unternehmen üblicherweise eingeschätzt. Ein hoher Ansatz zu Beginn kann aber in den Folgeperioden dazu führen, dass der Wertansatz nach unten korrigiert werden muss, mit negativen Auswirkungen auf den ausgewiesenen Gewinn. Wenn Bilanzierungsalternativen bestehen, kann das Unternehmen bzw. das Management diese bewusst ausnutzen, um die Darstellung des Unternehmens im Jahresabschluss in einem von ihm gewünschten Sinne zu beeinflussen.

Die Frage, die im Rahmen der durchgeführten Untersuchung geklärt werden sollte, war, ob Bilanzierungsalternativen bestehen und inwieweit sie von den Unternehmen ausgenutzt werden. Da die untersuchten Unternehmen nach IFRS bilanzieren, konzentrieren sich die folgenden Ausführungen auf diese Vorschriften.⁴ Emissionsrechte erfüllen die Definition eines *asset* (CF 4.4a).⁵ Ihr Nutzen besteht darin, dass die Unternehmen

entsprechend ihren Emissionsrechten Schadstoffe ausstoßen dürfen. Üblicherweise werden sie – entsprechend der alten Regelung in IFRIC 3.6 – als *intangible assets* angesehen.⁶ Dies entspricht auch der üblichen Einschätzung in der Praxis. Der konkrete Ausweis ist aber uneinheitlich. Teilweise werden sie als immaterielle Vermögenswerte mit unbestimmbarer Nutzungsdauer unter den langfristigen Vermögenswerten ausgewiesen, teilweise als Sonstige oder als eigener Posten unter den kurzfristigen Vermögenswerten. Drei Unternehmen⁷ ordnen die produktionsbezogenen Emissionsrechte den Vorräten zu. In der Literatur wird sowohl der Ausweis unter den Vorräten als auch der Ausweis als langfristige Vermögenswerte teilweise kritisch gesehen.⁸

Bei Klassifizierung der Emissionsrechte als immaterielle Vermögenswerte hat die Bewertung auf Basis von IAS 38 zu erfolgen. Nach IAS 38.24 ist ein immaterieller Vermögenswert beim Zugang grundsätzlich zu Anschaffungs- oder Herstellungskosten anzusetzen. Zudem ist geregelt, dass bei Zuwendungen der öffentlichen Hand, die kostenlos oder zum Nominalwert der Gegenleistung erfolgen, entweder der beizulegende Zeitwert oder der Nominalwert zugrunde zu legen ist (IAS 38.44 i.V.m. IAS 20.23).⁹ Die Bestimmung des *fair value* ist bei Emissionsrechten unproblematisch, da sie an der Börse gehandelt werden. In gleicher Höhe ist ein passiver Abgrenzungsposten (*deferred income*) zu bilden, der über die Perioden, in denen die zugehörigen Aufwendungen anfallen, erfolgswirksam aufzulösen ist (IAS 20.12). Die Unternehmen bevorzugen auch bei unentgeltlich zugeteilten Emissionsrechten überwiegend einen Ansatz zu Anschaffungskosten oder zum Nominalwert und damit zu einem Wert von Null. Nur drei Unternehmen¹⁰ weisen die Emissionsrechte zum Marktwert des Zuteilungstags mit gleichzeitiger Bildung eines passiven Abgrenzungspostens aus.

Für immaterielle Vermögenswerte besteht bei der Folgebewertung – aufgrund des Vorhandenseins eines aktiven Marktes (z. B. EEX Leipzig) – nach IAS 38.72 ein Wahlrecht zwischen dem *cost model* und dem *revaluation model*, wobei durch die *fair-value*-Bewertung entstehende Zeitwertgewinne erfolgsneutral zu erfassen sind.¹¹ Das *revaluation model* wird von keinem Unternehmen verwendet. Des Weiteren stellt sich die Frage, ob die Emissionsrechte planmäßig abzu-

schreiben sind. Da der Nutzen aus den Emissionsrechten erst dadurch realisiert wird, dass sie bei Inanspruchnahme zur Erfüllung der Verpflichtung zurückgegeben, oder dass sie verkauft bzw. in das Folgejahr übertragen werden, kommen planmäßige Abschreibungen nicht in Betracht.¹² Durchzuführen ist aber jährlich ein Impairmenttest – entweder bei Vorliegen von Anhaltspunkten für eine Wertminderung (IAS 36.9) oder unabhängig davon bei immateriellen Vermögenswerten mit unbegrenzter Nutzungsdauer (IAS 36.10). Wenn der dabei geschätzte erzielbare Betrag geringer ist als der Buchwert, sind außerplanmäßige Abschreibungen vorzunehmen. Spätere Wertaufholungen dürfen beim *cost model* nur bis zu den Anschaffungskosten erfolgen. Die betrachteten Unternehmen weisen zwar darauf hin, dass ein Impairmenttest erfolgt, außerplanmäßige Abschreibungen sind aber nicht ersichtlich.

Wurde im Zeitpunkt des Erstansetzes aufgrund der Bewertung unentgeltlich zugeteilter Emissionsrechte zum *fair value* ein passiver Abgrenzungsposten gebildet, ist dieser unstrittig erfolgswirksam aufzulösen, beispielsweise im Verhältnis zum Schadstoffausstoß. Dies entspricht auch dem üblichen Vorgehen bei den maßgeblichen Unternehmen.

Bislang wurde die Frage vernachlässigt, ob die für die Unternehmen bestehende Verpflichtung, die gewährten Emissionsrechte entsprechend ihrer Inanspruchnahme zurückzugeben sowie eine Strafe für nicht gedeckte Emissionen zu zahlen, den Ansatz einer Rückstellung erfordert. Ein solcher Ansatz ist geboten, da sowohl die Definition einer *liability* (IAS 37.10) als auch deren Ansatzvoraussetzungen (IAS 37.14) erfüllt sind. Fraglich ist aber, ob Rückstellungen für die Gesamtmenge der Emissionen zu bilden sind (Bruttomethode) oder nur insoweit, wie keine ausreichenden Emissionsrechte zur Deckung vorhanden sind (Nettomethode). Unseres Erachtens sollte der Ansatz unabhängig vom Vorhandensein entsprechender Emissionsrechte gemacht werden, da die Verpflichtung unabhängig davon und grundsätzlich ein Saldierungsverbot besteht.¹³ Das Vorgehen der Unternehmen ist wiederum uneinheitlich. In den Geschäftsberichten der deutschen Unternehmen findet sich die Formulierung, dass Rückstellungen „für getätigte Emissionen“ gebildet werden, in den Geschäftsberichten der ausländischen Unternehmen dagegen die

Formulierung, dass Rückstellungen „für nicht gedeckte Emissionen“ gebildet werden. Ob die unterschiedlichen Formulierungen de facto eine unterschiedliche Bilanzierung bedeuten, ist im Zusammenhang mit der Bewertung der Rückstellungen zu sehen.

Rückstellungen sind nach IAS 37.36 zum besten Schätzwert für den erforderlichen Erfüllungsbetrag zu bewerten. Dies sollte der aktuelle Marktpreis der Emissionsrechte sein.¹⁴ Alternativ wird auch vorgeschlagen, die Rückstellungen bei Vorhandensein ausreichender Emissionsrechte mit deren Preis zu bewerten.¹⁵ Die Unternehmen folgen, sofern Angaben zur Bewertung gemacht werden, der zweiten Alternative. Für nicht gedeckte Emissionen erfolgt die Bewertung zum Marktpreis, für gedeckte Emissionen zum Wert der Emissionsrechte. Für unentgeltlich zugeteilte und zu den Anschaffungskosten bzw. zum Nominalwert bewertete Emissionsrechte bedeutet dies einen Ansatz von Null. Damit werden im Endeffekt nur Rückstellungen für nicht gedeckte Emissionen angesetzt. Anderes gilt für die Unternehmen, die die unentgeltlich zugeteilten Emissionsrechte mit dem *fair value* bewerten. Hier würden sich Unterschiede zwischen den beiden Ansatzalternativen (Rückstellungen für die Rückgabepflichtung bzw. Rückstellung nur für die nicht gedeckten

Emissionen) ergeben. Inwieweit dies der Fall ist, ist aus den Geschäftsberichten nicht eindeutig ersichtlich.

Zum Zeitpunkt der Rückgabe der Emissionsrechte sind sowohl die Emissionsrechte als auch die Rückstellungen auszubuchen.¹⁶ Der ggf. gebildete Abgrenzungsposten wurde bereits parallel zum Schadstoffausstoß aufgelöst und ist somit nicht mehr vorhanden. Dies gilt nur dann nicht, wenn Emissionsrechte auf das Folgejahr vorgetragen werden. Dann verbleiben immaterielle Vermögenswerte und ein Abgrenzungsposten entsprechender Höhe in der Bilanz.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Bilanzierung von Emissionsrechten nicht nur in der Literatur umstritten ist, sondern auch von den Unternehmen unterschiedlich vorgenommen wird. Konkrete gesetzliche Regelungen sind deshalb wünschenswert, um den Aussagewert und die Vergleichbarkeit der Geschäftsberichte zu erhöhen.

Anmerkungen

- 1 Rechtliche Grundlage in Deutschland ist das Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) sowie das Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen, aktuell in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (ZuG 2012). Zu den Grundlagen des Emissionshandels vgl. Rogler/Lange/Straub, Bilanzierung von Emissionsrechten, Zeitschrift für internationale und kapital-

marktorientierte Rechnungslegung 6/2009, S. 371–382, S. 371 f.

- 2 Vgl. dazu Hommel/Wolf, IFRIC 3: Bilanzierung von Emissionsrechten nach IFRS – mehr Schadstoffe im Jahresabschluss, in: Betriebs-Berater 6/2005, S. 315–321.
- 3 Geschäftsberichte 2010 der EnBW AG, E.ON AG, MVV Energie AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG aus Deutschland; ENEL SpA. aus Italien; GDF S.A. aus Frankreich; Gas Natural SDG S.A. sowie Iberdrola S.A. aus Spanien; Energias de Portugal aus Portugal; Centrica plc, Natural Grid plc und Scottish & Southern Energy plc aus Großbritannien.
- 4 Zur Bilanzierung nach HGB vgl. Hoffmann/Lüdenbach, Die Bilanzierung von Treibhausgas-Emissionsrechten im Rechtsvergleich, in: Der Betrieb 2/2006, S. 57–62, S. 59 ff.; Schrenker/Herpich, Die Bilanzierung von Treibhausgas-Emissionsrechten nach HGB/ESTG und IAS/IFRS, in: Wirtschaftsstudium 9/2005, S. 506–511, S. 507 ff.
- 5 Vgl. aktuell Wulf/Lange, Bilanzierung von Emissionsrechten nach IFRS, in: Zeitschrift für internationale Rechnungslegung 11/2011, S. 485–490, S. 486 sowie die dort angegebene Literatur. Kritisch dagegen Hoffmann/Lüdenbach, a.a.O. (FN 4), S. 58.
- 6 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 372 f.
- 7 EnBW AG, Vattenfall Europe AG, GDF S.A.
- 8 Vgl. Hoffmann/Lüdenbach, a.a.O. (FN 4), S. 60.
- 9 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 373 f.
- 10 Energias de Portugal, Iberdrola S.A., Natural Grid plc.
- 11 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 375 f.
- 12 Vgl. Rogler, Bilanzierung von CO₂-Emissionsrechten, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 6/2005, S. 255–263, S. 259.
- 13 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 374. Wulf/Lange (a.a.O. (FN 5), S. 488 f.) präferieren dagegen die Nettomethode.
- 14 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 374 f.
- 15 Vgl. Wulf/Lange, a.a.O. (FN 5), S. 488.
- 16 Vgl. Rogler/Lange/Straub, a.a.O. (FN 1), S. 379.

Möglichkeiten und Grenzen der wertpapiergestützten Mittelstandsfinanzierung

Andreas Horsch, Jacob Kleinow

Einleitung

In den mittelständischen Unternehmen Deutschlands wird der wertpapiergestützten Kapitalbeschaffung über Anleihen und Genussscheine bislang wenig Bedeutung beigemessen. Vielmehr finanziert sich der Mittelstand in Deutschland traditionell über thesaurierte Gewinne und Bankkredite (vgl. ausführlich Börner et al. 2010). In den letzten Jahren wuchsen indes die Möglichkeiten wie die Notwendigkeiten, Finanzierungsalternativen hierzu zu finden. Verantwortlich für entsprechende Finanzierungs- sind andere Innovationen, wie z. B. Varianten der internetgestützten Vertriebs- und Kommunikationspolitik, aber auch neue Regulierungen, die das Kreditvergabe-

verhalten der Kreditinstitute erheblich beeinflussen. Während inzwischen auch Probleme bzw. Grenzen dieser Mittelstandsfinanzierung erkennbar werden, zeichnen sich erfolgreich platzierte Wertpapieremissionen auffallend häufig durch die große (regionale) Bekanntheit des Emittenten aus. Insofern haben diese Mittelstandsanleihen ein Potenzial, das nicht zuletzt aus Sicht sächsischer Unternehmen prüfens- und gegebenenfalls realisierenswert erscheint.

Mittelstand

Der Mittelstand gilt gemeinhin als Rückgrat der deutschen Wirtschaft, was mit seinen Anteilen an gesamtwirtschaftlichen Kennzahlen, wie insbesondere dem Anteil der mittelständischen an den gesamten Unternehmen, an den Umsätzen oder an der Beschäftigtenzahl untermauert wird. Dies belegt exemplarisch die Website des Bundesfinanzministeriums¹. Umso wichtiger ist eine ökonomische Analyse, die auf Spezifika dieser Un-

ternehmen abstellt. Im Bereich der Finanzwirtschaft bedeutete dies bislang vor allem die Beschäftigung mit kleinteiligen, individuell ausgestalteten und wenig marktfähigen (Kredit-)Verträgen. Hingegen ist die Investitions- und Finanzierungstheorie bis heute von solchen Ansätzen dominiert, die Preise auf Finanzmärkten – und damit Unternehmen, die sich über Wertpapiere finanzieren – in den Mittelpunkt stellen. Dieser Fokus hat dazu geführt, dass sich die theoretische Betrachtung dem Mittelstand nur zögernd² und sodann primär dem Ist seiner Finanzierung zugewandt hat. Ausgehend von der ebenso einfachen wie bedeutsamen Erkenntnis von Welsh/White (1981), dass *“a small business is not a little big business”*, wurden Wertpapierfinanzierungen dabei eher vernachlässigt. Dies galt weitgehend unabhängig vom verwendeten Mittelstandsbegriff. Bereits quantitativ wird dieser uneinheitlich abgegrenzt, wie *Abb. 1* zeigt.

Definition	Quantitative Kriterien		
	Beschäftigte	Umsatz in Mio. €	Bilanzsumme in Mio. €
KMU nach IfM	< 500	< 50	–
KMU nach EU	< 250	< 50	< 43
Deloitte-Mittelstandsinstitut	300–3.000	60–600	–
Eigene Abgrenzung	50–1.000	10–250	–

Abb. 1: Quantitative Mittelstandsabgrenzung

Gemein sind den Mittelstandsdefinitionen die qualitativen Charakteristika (1) wirtschaftliche und rechtliche Selbstständigkeit, (2) Eigentümerbezug – und nicht zuletzt (3) Einschränkungen in den Finanzierungsmöglichkeiten. Exakt das letztgenannte Kriterium bildet den Ausgangspunkt für die Erforschung von wertpapiergestützten Mittelstandsfinanzierungen, mit denen die traditionelle Einschränkung gerade aufgebrochen werden könnte. Da Anleihen für Kleinunternehmen auch künftig nicht praktikabel sind und sich (qualitative) Mittelstandscharakteristika mit wachsender Unternehmensgröße eher verlieren, erscheint für Analysen von Mittelstandsanleihen eine Eingrenzung auf einen mittleren Größenbereich von Unternehmen sinnvoll.

Wertpapiergestützte Mittelstandsfinanzierung über Anleihen

Bei einer Kreditfinanzierung überlässt der Kapitalgeber einer Unternehmung gegen Entgelt (Zins) Kapital für einen festgelegten Zeitraum. Der entsprechende Vertrag kann individuell ausgehandelt, aber auch bewusst standardisiert und portioniert werden, sodass die Forderung auf Tilgung und Zinszahlung zum handelbaren Wertpapier (engl. security, weswegen von securitization gesprochen wird) avanciert. Die Zerlegung in Teilschuldverschreibungen von z.B. 1.000 EUR Nennbetrag ermöglicht es dem Emittenten, „Großbeträge bei einer Vielzahl von Kreditgebern (Anleihekäufern) auch der niederen Einkommensklassen zu mobilisieren“ (Süchting 1995, 150). Ersetzt die Anleihe eine vorherige Bankkreditfinanzierung, kommt es zur „Herausdrängung von Finanzintermediären aus der traditionellen Mittlerrolle zwischen Kapitalgeber und -nehmer“ (Horsch/Sturm 2007, 270), die Disintermediation heißt.

Securitization und Disintermediation stehen für Veränderungsprozesse gegenüber der traditionellen Mittelstandsfinanzierung, zu denen es indes nur unter der

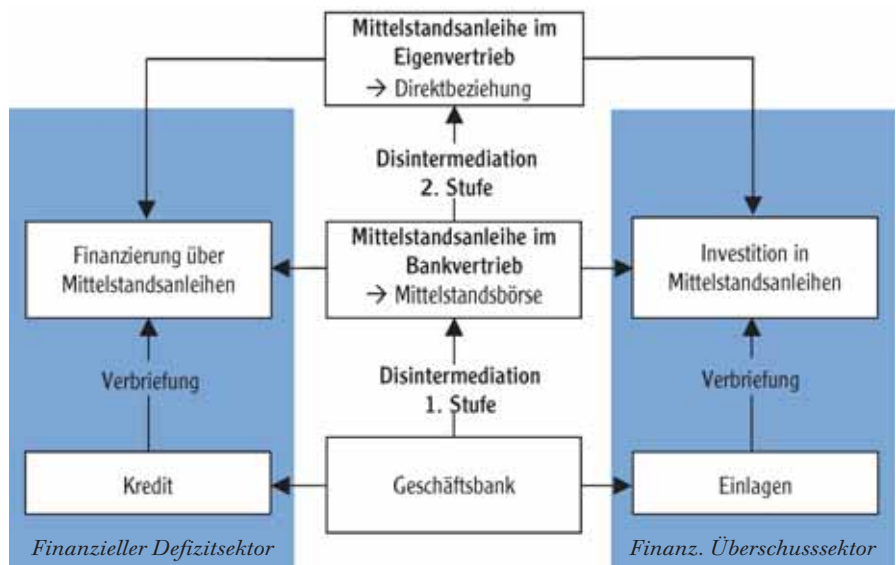


Abb. 2: Disintermediation bei Mittelstandsanleihen

Voraussetzung kommt, dass sich ökonomische Vorteile gegenüber dem bisherigen Vorgehen realisieren lassen (vgl. ausführlich Paul 1994). Ihr Vorhandensein und Ausmaß liefert interessante, aktuelle Forschungsfragen. Denkbar ist etwa, dass bei der Anleiheemission eines Mittelständlers eine Investmentbank(-einheit) Emission und Zuteilung/Absatz der Anleihen auf dem Primärmarkt verantwortet und dass für diese zudem ein börsenähnlicher Sekundärmarkt entsteht. Bei einer solchen Mittelstandsanleihe im Fremdvertrieb durch eine Bank findet die Disintermediation der Bank nur auf der ersten Stufe statt.

Wird die Begebung der Anleihe auf dem nicht organisierten Kapitalmarkt – also außerhalb der entsprechenden Börse und weitgehend ohne Unterstützung der üblichen Finanzintermediäre – durchgeführt, erfolgt zusätzlich deren Disintermediation auf der zweiten Stufe (vgl. Abb. 2). Hierzu greifen Emittenten entweder auf Intermediationsleistungen von Nichtbanken zurück oder aber sie managen die Mittelstandsanleihe sogar in weitgehender Eigenregie, insbesondere im Eigenvertrieb. Der Emittent selbst verantwortet also im Extremfall sämtliche Prozessschritte – von der Kontaktaufnahme zu potenziellen Investoren (z. B. über die Website der Firma, Werbung in Printmedien oder Auslagen im Produktvertrieb) bis hin zur Abwicklung der finalen Kapitaldienstzahlungen. Hier ist die Disintermediation maximal, wie die obenstehende, auf Walter (1991) zurückgehende Darstellung illustriert; folgerichtig ist dies die für den Emittenten anspruchsvollste Va-

riante (vgl. ausführlich Schöning/Nolting/Nolte 2004).

Im Unterschied zur Mittelstandsanleihe im Fremdvertrieb existiert dann kein Sekundärmarkt, auf dem die Anleihe während ihrer Laufzeit gehandelt werden könnte. Hieraus ergeben sich interessante Fragestellungen in Bezug auf quantitative (z. B. Emissionsvolumina, Stückelungen, Mindest- und Durchschnittszeichnungen, Zinssätze) wie qualitative (z. B. Ziel- und Ist-Käufer oder Kündigungsmöglichkeiten) Eigenschaften der Emissionen, die sich aus der Sicht normativer wie positiver Theorieansätze behandeln lassen. Als besondere Herausforderung erweist sich hierbei die empirische Forschung, da Emissionsdaten mangels einer Evidenzzentrale oder entsprechender Datenbanken (noch) nicht gesammelt verfügbar sind, sondern in Eigenregie aufwendig zusammengestellt werden müssen. Seitdem die Stuttgarter Börse im Mai 2010 das Mittelstandssegment „Bondm“ eröffnet hat³, ist die empirisch gestützte Analyse analoger Fragestellungen für den dort notierten Teil der Emissionen einfacher geworden. Mit Düsseldorf, München, Hamburg-Hannover und Frankfurt verfügen insgesamt nun fünf deutsche Börsenhandelsplätze über spezielle Segmente für Mittelstandsanleihen (vgl. dazu Schlitt/Kasten 2011).

Ende Juli 2012 notierten 69 Mittelstandsanleihen⁴ mit einem festen Zinskupon von durchschnittlich 7,4% (min. 5,0%, max. 11,5%) p.a. und einer Laufzeit von überwiegend fünf Jahren. Etwa 75% der Anleihen verfügen über ein Rating der Creditreform Rating AG. Zu den hier geführten Emittenten zählen allerdings

auch nicht-mittelständische Großunternehmen – wie die Dürr AG und Air Berlin plc – mit Emissionsvolumina von 225 bzw. 200 Mio. EUR, die das (Ziel-)Emissionsvolumen auf einen Durchschnitt von 43,6 Mio. EUR (Median 30,0 Mio. EUR) verzerren, was die Notwendigkeit einer klaren Mittelstandsabgrenzung einmal mehr unterstreicht. Unabhängig von den nicht unerheblichen (daten-)technischen Herausforderungen lassen sich aus der Realität der Kapitalmärkte wichtige Erkenntnisse über den Möglichkeitenbereich wertpapiergestützter Mittelstandsfinanzierung gewinnen.

Grenzen der Mittelstandsfinanzierung über Anleihen

Probleme bei der vollständigen Platzierung, Kursvolatilitäten und nicht zuletzt die Insolvenz von Emittenten belegen, dass Mittelstandsanleihen für Kapitalgeber wie -nehmer nicht nur Chancen, sondern auch Risiken beinhalten. Leider zeigt sich das momentan auch an der bislang einzigen börsennotierten Mittelstandsanleihe Sachsens: Der Solaranlagenbauer Solarwatt AG mit Sitz in Dresden, der eine Anleihe i. H. v. 25 Mio. EUR emittiert hatte, befindet sich seit dem 13. Juli 2012 im Schutzschirmverfahren in Eigenverwaltung nach § 270b InsO. Die Gläubiger der sogenannten Sonnenanleihe sollen eine bisher noch nicht spezifizierte Quote aus der Insolvenzmasse erhalten⁵. Das in diesem Fall offenkundige Kreditrisiko für die Investoren, aber auch die in Kursvolatilitäten manifestierten Marktpreisänderungsrisiken sind letztlich verstärkt in den Blickpunkt geraten, nachdem Mittelstandsanleihen zuvor primär als Chance wahrgenommen worden waren. Das gilt analog auch für die nicht-börsennotierten, ohne Bankunterstützung begebenen Mittelstandsanleihen, bei denen das (II-)Liquiditätsrisiko an die Stelle des eigentlichen Marktpreisrisikos tritt (vgl. ausführlich Horsch/Sturm 2007). Diese (Wieder-)Bewusstmachung unvermeidlicher Risiken sollte indes nicht als Rückschlag, sondern als nötige Verbesserung der Wissensbestände der beteiligten Kapitalnehmer und -geber gewertet werden.

Das gilt auch aus Sicht mittelständischer Unternehmen, deren Möglichkeiten und Grenzen wertpapiergestützter Finanzierung maßgeblich durch die Rendite-Risiko-Einstellung der Kapitalgeber determiniert werden. Eine höhere Risikosensitivität auf deren Seite ist

nicht per se schlecht; sie erhöht aber die Anforderungen an die Formulierung marktgerechter Chance-Risiko-Positionen in den Anleihebedingungen. Die entsprechende Abwägung der Emittenten muss dabei unbedingt eine sorgfältige (Transaktions-)Kostenanalyse umfassen. Bisherige Analysen deuten z. B. darauf hin, dass ein Eigenvertrieb erst ab einem Volumen von ca. 15 Mio. EUR durch dann spürbare Fixkostendegression vorteilhaft wird. Das liegt vor allem daran, dass hohe Vorlaufkosten/Sunk Costs für die gesetzlich gebotene Wertpapierprospekterstellung (§ 3 III 1 WpPG) sowie für Kommunikationsmaßnahmen anfallen. Eine Rechts- bzw. Corporate Finance-Beratung und die EDV-technische Begleitung der Emission kommen in mehr als der Hälfte aller Mittelstandsanleiheemissionen hinzu, sodass sich die Emissionskosten für Leistungen Dritter im Regelfall auf mindestens 500 T EUR belaufen. Durch die zeitweise Bindung der unternehmenseigenen Mitarbeiter (z. B. für Konsultationen des Managements oder die Pflege der Anleihe nach Emission) entstehen – lehrstuhlseitigen Erhebungen zufolge (zuletzt bes. Kleinow 2011) – über die Laufzeit der Anleihe zusätzliche, implizite Personalkosten von ca. 100 T EUR.

Dem gegenzurechnen sind die (potenziellen) Vorteile einer Anleihe gegenüber einer traditionellen Mittelstandsfinanzierung. Hierzu zählt insbesondere die Chance auf größere Unabhängigkeit: Die Mittelzuführung ist im Vergleich zur Innenfinanzierung weniger vom Geschäftsverlauf, im Vergleich zur Gesellschafter- oder Bankkreditfinanzierung weniger von einzelnen Geldgebern geprägt. Darüber hinaus eröffnen Anleihen verbesserte Möglichkeiten einer Diversifikation der Finanzierungsquellen.

Ausblick

Nach Maßgabe des bisherigen Emissionsgeschehens und auch erster wissenschaftlicher Analysen haben Anleihen für Mittelständler generell und folglich auch speziell in Sachsen erhebliches Potenzial. Um es zu heben, bedarf es auf der einen Seite eines geeigneten institutionellen Rahmens. Hier sind erste Schritte gemacht, ohne dass von einem Optimum gesprochen werden könnte. Auf der anderen Seite bedarf es einer Reduzierung der Informationsdefizite bei den Beteiligten, also insbesondere Kapitalnehmern, -gebern und Intermediären. Erst dann wäre es möglich, dass

sich das Verhältnis der bislang dominierenden Grenzen zu den bislang limitierten Möglichkeiten wertpapiergestützter Mittelstandsfinanzierung umkehrt. Entsprechend wichtig ist die systematische, wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Themengebiet, dem sich der Freiburger Finanzierungslehrstuhl daher besonders verschrieben hat.

Literatur

- Börner, Christoph/Grichnik, Dieter/Reize, Frank (2010): Finanzierungsentscheidungen mittelständischer Unternehmer, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 62. Jg., Nr. 2, S. 227-250.
- Horsch, Andreas/Sturm, Stefan (2007): Disintermediation durch Mikroanleihen, in: Kredit und Kapital, 40. Jg., Nr. 3, S. 265-315.
- Julien, Pierre-André (1993): Small businesses as a research subject – Some reflections on knowledge of small businesses and its effects on economic theory, in: Small Business Economics, 5. Jg., Nr. 2, S. 157-166.
- Khadjavi, Kyros (2005): Wertmanagement im Mittelstand, Eschen; zugl.: St. Gallen, Univ., Diss., 2005.
- Kleinow, Jacob (2011): Finanzmarketing einer Mittelstandsanleihe, zugl.: Freiberg, Univ., Diplomarbeit, 2011.
- Paul, Stephan (1994): Bankenintermediation und Verbriefung, Wiesbaden; zugl.: Bochum, Univ., Diss., 1994.
- Schlitt, Michael/Kasten, Roman A. (2011): Börsennotierte Anleihen mittelständischer Unternehmen – Überblick über die neuen Anleihe-segmente, in: Corporate Finance law, 2. Jg., Nr. 2, S. 97-103.
- Schöning, Stephan/Nolting, Roger-David/Nolte, Bernd (2004): Direktverkauf von Fremdkapitaltiteln als Finanzierungsalternative für KMU, in: Finanz Betrieb, 6. Jg., Nr. 11, S. 748-762.
- Süchting, Joachim (1995): Finanzmanagement, 6. Aufl., Wiesbaden.
- Walter, Ingo (1991): On the stability of the US-Banking-System, in: Süchting, Joachim (Hrsg.): Semesterbericht des IKF, Nr. 34, Bochum 1991, S. 39-41.
- Welsh, John A./White, Jerry F. (1981): A small business is not a little big business, in: Harvard Business Review, 59. Jg., Nr. 4, S. 18-32.

Anmerkungen

- 1 Vgl. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Mittelstand/mittelstandspolitik.html>, 23.07.2012.
- 2 An den Hochschulen etwa ist die systematische Einrichtung mittelstandsorientierter Lehrstühle erst seit den 1990er Jahren zu beobachten, vgl. Julien (1993); Khadjavi (2005).
- 3 Vgl. Börse Stuttgart AG: Bondm: Anleihen mittelständischer Unternehmen an der Börse Stuttgart, https://www.boerse-stuttgart.de/files/BS_Bondm_flyer_vfinal.pdf, 18.08.2011.
- 4 Vgl. mit einer Liste börsenemittierter Mittelstandsanleihen per 13.07.2012: BondGuide – Der Newsletter für Unternehmensanleihen, Heft 14-2012, www.bond-guide.de/fileadmin/pdf/bondguide-14-2012.pdf, 18.07.2012.
- 5 Vgl. Solarwatt AG: Die Sonnenanleihe I, www.solarwatt.de/de/anleihe/informationen_zur_sonnenanleihe_i (18.07.2012).

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2011

Jahresbericht des Vorstands

Der Tätigkeitsbericht des Vorstands wurde vom Geschäftsführer, Prof. Dr. Kretschmar, vorgetragen.

Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren wie in den vergangenen Jahren Exkursionen von Studentengruppen ins Ausland, Vergabe von Stipendien, Tagungen und Kolloquien sowie Publikationen und Diplom- bzw. Masterarbeiten.

Die Einnahmen des Vereins liegen mit Stand vom November 2011 bei 96.000 €. Das Planziel von 108.350 € wurde nicht erreicht (Mitgliederschwund). Die Ausgaben belaufen sich derzeit auf 88.500 € (Plan 108.350 €) und werden am Jahresende bei ca. 95.000 € liegen.

Für das kommende Jahr ist im Etatentwurf schwerpunktmäßig eine leichte Verringerung der Förderung für Publikationen, der Förderung der Universität, der Ausgaben für Veranstaltungen sowie der sonstigen Ausgaben vorgesehen.

Ein besonderer Dank wurde dem Redaktionsteam um Prof. Roewer für die wiederum hervorragend gestaltete Vereinszeitschrift ACAMONTA 2011 ausgesprochen.

Hervorzuheben ist auch die Förderung der Publikationen von Dr. Herbert Pforr zum Oberberghauptmann von Herder und zum Freiburger Bergbau sowie von Joachim Link zur Stadt am freien Berge (Rendezvous mit Freiberg in Sachsen).

Des Weiteren wurde über die Errichtung des Indium-Denkmal Reich-Richter am 4. November 2011 informiert. Die feierliche Denkmaleinweihung war eingebunden in ein Würdigungskolloquium in der Alten Mensa, verbunden mit dem NE-Absolventen-Treffen sowie dem Gang zum Denkmal und seiner Enthüllung bei Fackelschein unter Teilnahme vieler Absolventen der TU und von Bürgern der Stadt Freiberg. Das Denkmal konnte dank großzügiger Unterstützung der Sponsoren GfE Fremat GmbH, Freiburger Compound Materials GmbH, Solarworld AG Bonn und Siltronic AG Freiberg errichtet werden.

Prof. Kretschmar informierte über ausgewählte zukünftige Förderprojekte, wobei besonders die Alumni-Arbeit, die

Vorbereitung der Lampadius-Festveranstaltung „200 Jahre Gastechnik aus Freiberg“ am 19. Juni 2012 sowie das geplante Lomonossow-Institut an der TU Bergakademie Freiberg zu nennen sind.

Der Geschäftsführer bedankte sich abschließend bei allen Mitgliedern für die Treue zum Verein.

Bericht des Rechnungsprüfers

Der Bericht wurde von Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, vertretungsweise für Herrn Knull, vorgetragen. Die Finanzprüfung wurde durch den Wirtschaftsprüfer, Dr. Haase, im September 2011 vorgenommen. Es gab keine Beanstandungen entsprechend den Grundsätzen für das Jahr 2010.

Diskussion zum Jahresbericht und Entlastung des Vorstands

Der Jahresbericht 2010 und der Etatentwurf für das Geschäftsjahr 2012 wurden ohne Diskussionsmeldung verabschiedet. Dem Antrag der Geschäftsführung auf Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2010 wurde einstimmig zugestimmt.

Auszeichnungen der Cotta-Preisträger

Die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise erhielten in

- Kategorie I, Dissertationen:
Herr Dr.-Ing. Heni Ben Amor für seine Arbeit „Imitation Learning of Motor Skills for Synthetic Humanoids“, Preisgeld: 3.000 €
- Kategorie II, Diplomarbeiten:
Frau Dipl.-Geophys. Julia Weißflog für ihre Arbeit „Vorkonditionierte all-at-once-Verfahren für große schwach besetzte Parameterschätzprobleme“, Preisgeld: 2.000 €

Erstmalig wurde auf einer Jahresmitgliederversammlung des Vereins eine Absolventenehrung anlässlich ihrer Goldenen Promotion vorgenommen. Zwei Professoren und zwei Doktoren haben vor 50 Jahren an der Bergakademie promoviert.

Informationsvortrag des Rektors zur Entwicklung der Universität

Der Kanzler der TU stellte, vertretungsweise für den Rektor, die Entwicklung der Universität als Universität der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft im Jahr 2011 vor, mit den Schwerpunkten der Rohstoff-Wertschöpfungskette, nationale Mission Rohstoff-Sicherung – weltweit vernetzt. Die Rohstoff-Wertschöpfungskette umfasst die Komponenten Auf-

suchung, Gewinnung, Aufbereitung, Veredlung/Verarbeitung und Recycling, d. h. die Rohstoffsicherung bleibt auch in Zukunft ein zentrales Thema der Universität. Unter diesem Aspekt erfolgte auch die Gründung des Helmholtz-Instituts für Ressourcentechnologie in Freiberg in Kooperation mit dem HZDR als europäisches Forschungs- und Ausbildungszentrum für Ressourcentechnologien. Die Studentenzahl liegt derzeit bei 5.716, darunter 1.506 Neumatrikulierte. Damit sind die Kapazitäten der Universität mehr als ausgeschöpft.

Die TU Bergakademie Freiberg hat 2011 als Pilot-Universität für die Einführung eines Deutschlandstipendiums mit der Vergabe von 23 Stipendien à 300 € pro Monat, unterstützt durch Wirtschaft und private Stifter, Pionierarbeit geleistet. Für die nächsten Jahre ist geplant, ca. 8 % der Studenten mit einem solchen Stipendium auszustatten.

Das Haushaltsvolumen der Universität lag 2010 bei 104,9 Mio. €, davon stammen ca. 44 % der Einnahmen aus Drittmitteln. Damit liegt die Universität bei den eingeworbenen Drittmitteln pro Professor auf einem der vordersten Plätze in Deutschland.

Festvortrag von Dipl.-Ing. Jürgen Schellig, Pöyry Infra AG, Zürich: „Gotthard-Basistunnel – längster Eisenbahntunnel der Welt – eine bautechnische Herausforderung“

Jürgen Schellig, ein Absolvent der Bergakademie Freiberg (Fachrichtung Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung), hat als verantwortlicher Chefauleiter Vortrieb für den Teilabschnitt Sedrun den schwierigsten Part im Gotthard-Basistunnel erfolgreich bewältigt. Sein Vortrag zeigte interessante Einblicke in das Baugeschehen unter Tage und die enormen Probleme und Aufwendungen beim Vortrieb mittels Bohren und Sprengen im nichtstandfesten Gebirge.

Abendliche Barbarafeier

Die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung feierten im Festsaal der Alten Mensa bei frohen Begegnungs- und Gesprächsrunden das Fest der Heiligen Barbara. Mit dem Freiburger Augustäischen Montanbogen, dargeboten von Herrn Brade in verschiedenen Rollen von „Vater Kurfürst August“ bis zu „S. August W. von Herder“, wurde die Bedeutung des Freiburger Bergbaus für Sachsen und die Gründung der Bergakademie Freiberg mit historischen Begebenheiten unter-

malt und auf interessante Art dargestellt. Die Verleihungen des »Ehrenarschleiders« an die Hallenser Oberbürgermeisterin, Dagmar Szabados, und an den Chefbauleiter Vortrieb des Schweizer Gotthardtunnels, Jürgen Schellig, waren weitere Höhepunkte des Abends. Bergmusik mit dem Musikkorps Saxonia Freiberg und der Gesang des Steigerliedes rundeten den Abend ab.

Wesentliche Aktivitäten des Vereins im laufenden Jahr 2012

Die Geschäftsführung gibt allen Mitgliedern mit den folgenden Informationen einen Überblick über die wesentlichen Aktivitäten des Vereins zwischen den Jahresmitgliederversammlungen. Damit schließt dieser Bericht an die Mitgliederversammlung des Jahres 2011 an. Die folgenden Informationen betreffen den Zeitraum bis September 2012.

Mitgliederstand

Tab. 1 benennt die bisherige Mitgliederbewegung. Der VFF hat gegenwärtig 1.080 persönliche und 110 juristische Mitglieder, insgesamt 1.190. Wir bewegen uns also seit Jahren auf einem Mitglieder-Hochplateau. Den 30 Eintritten seit der vergangenen Mitgliederversammlung stehen 13 Austritte, 10 Streichungen wegen fehlender Beitragszahlungen seit drei Jahren bzw. wegen unbekanntem Verzug von Mitgliedern und vier Todesfälle gegenüber. Für ein weiteres Wachstum der Mitgliederzahl bittet die Geschäftsführung alle Mitglieder um werbende Ansprache im eigenen Kollegenkreis.

Tab. 1: Mitgliederbewegung 2011/2012

Mitgliederbestand (Stichtag)	2011 (01.09.2011)	2012 (01.09.2012)
Gesamtmitgliederzahl	1.179	1.190
persönliche	1.069	1.080
juristische	110	110
Eintritte		
persönliche	22	30
juristische	0	1
Austritte		
persönliche	9	12
juristische	1	1
Streichungen (keine Beitragszahlung, unbekannt verzogene)	32	10
Verstorbene	2	4

Unser Durchschnittsalter beträgt 59 Jahre. Zwei Drittel der Mitglieder sind über 50 Jahre, 3 % sind Studierende. Diese Altersstruktur entspricht dem Freundes- und Fördercharakter unseres Vereins, wenngleich Verjüngungswünsche immer durchaus bestehen. Nach der von Beruf und Karriere bestimmten Lebensphase besinnt man sich stärker auf die Wurzeln dafür und fühlt deutlich die soziale Verantwortung für die nachrückende Generation.

Finanzen

Die solide Finanzsituation des VFF zeigt Tab. 2 zum aktuellen Einnahmen-Ausgaben-Stand im laufenden Jahr im Vergleich zum Vorjahr. Die Einnahmen und Ausgaben des VFF bewegen sich auf Vorjahresniveau. Dankbar sind wir den Spendern für deren zusätzliche Beiträge. Die Einnahme-Position „Sonstiges“ wird dominiert von den Personalkosten für die Stelle der ALUMNI-Koordinatorin, die im Auftrag der TU in die VFF-Geschäftsstelle integriert ist. Etwa zwei Drittel der Vereinsausgaben (ohne die TUBA-Zweckprojekte) gehen direkt in die Förderung der TU Bergakademie Freiberg (Pos. TUBA-Förderung und ALUMNI), ein Drittel wird für die Geschäftsstelle, für Publikationen und für unsere Jahresveranstaltung benötigt.

Tab. 2: Finanzüberblick 2011 und 2012

2011 Ist (Gesamt)	Positionen	2012 Ist (01.09.12)
277.217	Einnahmen (€)	314.548
58.969	Mitgliedsbeiträge	51.517
10.258	Spenden	10.558
34.947	Sonstiges (incl. ALUMNI)	24.068
173.043	TUBA-Zweckprojekte	228.405
347.189	Ausgaben (€)	203.036
19.258	Geschäftsstelle	13.913
37.138	TUBA-Förderung	37.000
12.255	Publikationen	12.314
5.429	Veranstaltungen	0
23.336	Sonstiges (incl. ALUMNI)	14.627
249.773	TUBA-Zweckprojekte	125.182

Zusätzlich zu diesem Vereinshaushalt verwaltet der VFF noch Zweckprojekte für Forschung, Bildung und Begegnung der TU Bergakademie mit einem jährlichen Budget zwischen 200 bis 300 T€. Neun Förderkreise einzelner Institute bzw. Fachrichtungen pflegen die Begegnung. Zehn termingebundene Zweckprojekte F/E und Ausbildung werden betreut – die Mehrheit betrifft Verwaltungskonten wie z. B. die der Rammlerstiftung.

Die Rücklagen des Vereins schwanken um 60 T€ über das Jahr. Dank der Beiträge und Spenden der Mitglieder steht der Verein auch im Jahr 2012 auf stabiler finanzieller Basis in Kontinuität zu den Vorjahren.

Preisverleihungen

Der Vereinsvorstand mit seinen Preisauswahlkommissionen bereitet die Auswahl der Preisträger 2012 vor – in den Kategorien Friedrich-Wilhelm-von-Oppel-Preis für ausgezeichnete studentische Aktivitäten (500 €), Julius-Weisbach-Preise für hervorragende Leistungen in der Lehre (2 T€), Bernhard-von-Cotta-Preise für ausgezeichnete Dissertationen und Diplom-/Master-Arbeiten (5 T€). Die Preisträger werden wieder zur Jahresmitgliederversammlung vorgestellt, die vorjährigen waren: Friederike Zimmermann (Studiengang Angewandte Naturwissenschaften, Friedrich-Wilhelm-von-Oppel-Preis), Prof. Dr. Meinhard Kuna (Institut für Mechanik und Fluidodynamik, Julius-Weisbach-Preis), Dr. Klaus Meltke (Institut für Aufbereitungsmaschinen, Julius-Weisbach-Preis), Dr.-Ing. Heni Ben Amor (Institut für Informatik, Bernhard-von-Cotta-Preis) und Dipl.-Geophys. Julia Weißflog (Institut für Geophysik und Geoinformatik, Bernhard-von-Cotta-Preis). Die Arbeit der jeweiligen Preisauswahlkommissionen verdient großen Dank.

Publikationen

Die jährliche VFF-Hauptpublikation ist die Vereinszeitschrift für jedes Mitglied, die gemeinsam mit der TU Bergakademie herausgegeben wird. Dem Redaktionsteam ist wie stets sehr zu danken für die dahinter verborgene umfangreiche Arbeit.

Die Publikationstätigkeit einiger Vereinsmitglieder wurde wiederum vom Verein finanziell und organisatorisch unterstützt. Die 850-Jahr-Feier der Stadt Freiberg war Anlass für mehrere Bucheditionen. Nach dem Herder-Buch „Freiberg und die Herderzeit“ (Abb. 1) brachte Dr. Herbert Pforr ein Buch „Freiberg, Stadt auf silbernem Boden“ (Abb. 2) heraus. Joachim Link setzte mit seinem Buch „Stadt am freien Berge“ (Abb. 3) seine Tradition des Publizierens von Gedichten und Bildern über Freiberg fort. Dr. Klaus Zschoke dokumentierte mit seinem Buch „200 Jahre Freiburger Gasstechnik“ (Abb. 4) besonders das Wirken von Prof. Lampadius. Schließlich ließ die Geschäftsstelle des Vereins den „Frei-



Abb. 1 bis 5: Publikationen, die der Verein im vergangenen Jahr finanziell unterstützt hat (siehe auch Rezensionen auf Seite 199 in diesem Heft)

berger Augustäischen Montan-Bogen“ (Abb. 5) nachdrucken, der während der Barbarafeier 2011 von der Bühne aus in ansprechender Form dargeboten wurde. Er ist in der Geschäftsstelle zum Druckpreis von 5 € erhältlich.

Gegenwärtig bereitet der Verein gemeinsam mit dem Bergarchiv eine Ausstellung im Herbst 2012 im Freiburger Schloss vor: Tuschezeichnungen unseres Mitglieds Dr. Czolbe zu Montananlagen im Freiburger Revier, verbunden mit historischen Dokumenten.

Die Ausstattung des Freiburger Gelehrtenwegs mit Denkmälern berühmter Persönlichkeiten der Bergakademie wurde in diesem Jahr vorläufig abgeschlossen. Der Verein organisierte die Errichtung der drei Denkmale:

- Alexander von Humboldt (Abb. 6) in Sicht-Achse zu seinem verehrten Lehrer A. G. Werner,

- Ferdinand Reich und Hieronymus Theodor Richter: Indium-Denkmal (Abb. 7) in Nachbarschaft zum Clemens Winkler-Denkmal (Germanium); damit gibt es einen Ort für die Würdigung „150 Jahre Indium-Entdeckung in Freiberg“ im Jahr 2013,

- Wilhelm August Lampadius (Abb. 8) Gründungsvater der deutschen Gastechnik seit 1812: eingeweiht am 19. Juni 2012 während eines Festakts der Bergakademie und des Deutschen Verbandes Gas-Wasser e. V. (DVGW).

Die Festveranstaltung „200 Jahre Gastechnik aus Freiberg seit Prof. Lampadius 1812“ am 19. Juni 2012 war für die TU eine deutschlandweit und international beachtete Repräsentation ihrer früheren und aktuellen Kompetenz auf dem Gebiet der Energietechnik. Diese wurde in einem Festkolloquium in der Alten Mensa unter Beteiligung der Bundes- und Landesregierung Dresden gewürdigt. Aus diesem Anlass wurde auf dem Obermarkt am Carlowitz-Haus die historische Gaslaterne von Lampadius wieder angezündet. Danach begab man sich zur Einweihung des Lampadius-Denkmal am Gelehrtenweg. Der Festakt schloss mit einem Festabend im Tivoli, aufgelockert durch Bühnenstücke mit Lampadius als Akteur. Unter den Festgästen weilten auch zahlreiche Mitglieder der heutigen Lampadius-Familie, von denen eines – ein junger Nachfahre – gerade sein Studium an der TU Bergakademie abschloss.

Weitere Informationen zum Festakt:

- http://tu-freiberg.de/presse/aktuelles/aktuelles_detail.html?Datensatz=1576
- http://tu-freiberg.de/presse/aktuelles/aktuelles_detail.html?Datensatz=1575

Ausblick 2013

Der Vorstand, der zweimal im Jahr zusammentrifft, und die Geschäftsführung werden im Jahr 2013 die Vereinsarbeit in gewohnter Kontinuität fortsetzen, mit den traditionellen Förderaktivitäten für:

- Studierende in Ausbildung, Exkursionen, Konferenzen u. a.,
- Hochschulinstitutionen bei Tagungen und in der Lehre,
- Rektorfonds,
- Kontaktpflege, Jubiläen,
- Festveranstaltungen,
- Preisverleihungen,
- Publikationen.

Spezielle Aktivitäten sind geplant für:

- verstärkte Alumni-Kontaktpflege
- Vorbereitung der 250-Jahr-Feier der TU Bergakademie

Die Geschäftsführung des Vereins freut sich über Anregungen und Vorschläge, die der ständigen Verbesserung ihrer Arbeit für den Verein dienen.



Abb. 6 bis 8: Denkmale am Freiburger Gelehrtenweg zu Alexander von Humboldt, Ferdinand Reich und Hieronymus Theodor Richter sowie zu Wilhelm August Lampadius

Wiedersehen – Erinnern – Neuentdecken

Nach dem Abschluss des Studiums heißt es zwar, Abschied zu nehmen vom Studentenalltag, von Freunden und vielleicht von Freiberg; aber es muss nicht zwangsläufig der Abschied von der Bergakademie sein.

Um mit unserer Universität und den ehemaligen Kommilitonen in Kontakt zu bleiben, traten in den letzten Jahren immer mehr Absolventen dem Freiburger Alumni Netzwerk (FAN) bei. Die derzeit 2.167 Mitglieder bekommen viermal im Jahr den Alumni-Newsletter TUBALUM zugesandt. Auf unserer Homepage (www.alumni.tu-freiberg.de) finden Sie, lieber Leser, spannende Alumni-Portraits, Weiterbildungsangebote sowie nützliche Informationen und Links zu Fachthemen und Karriere. Darüber hinaus haben registrierte Mitglieder die Möglichkeit, in der Datenbank nach ehemaligen Kommilitonen zu suchen. Dadurch wird die Organisation von Seminargruppen- oder Jahrgangstreffen einfacher. Zudem unterstützt die Alumni-Koordinatorin, Frau Schulze-Rehagel, Sie gern bei der Vorbereitung und Durchführung Ihres Treffens.

Dieses Angebot nahmen die Absolventen des Jahres 1987 der Studienrichtung Geotechnik und Bergbau sowie Markscheidewesen wahr. Nahezu alle Ehemaligen kamen am 12. Mai 2012 an ihre Alma Mater, um das 25-jährige Jubiläum ihres Diplomabschlusses zu begehen. Erstmals wurde analog zum Goldenen Diplom auch das Silberne Diplom überreicht.

Im Universitätshauptgebäude erwartete Frau Schulze-Rehagel die fast 60 Absolventen. Zunächst gab es eine Führung durchs Gebäude, wobei der Überraschungsgast, Emeritus Prof. Walde, den Rundgang nutzte, um die Geschichte der letzten drei Jahrzehnte wieder aufleben zu lassen. Im Senatssaal führte anschließend der Dekan Prof. Matschullat in die gegenwärtige Struktur der Fakultät 3 ein und erläuterte Aufgaben, Ergebnisse und Probleme, wobei er auf beachtliche Erfolge verweisen konnte. „Viele der Absolventen hatten bis dato nur einen sehr lockeren Kontakt zu ihrer Hochschule; um so mehr freue ich mich über die gute Resonanz“, so Prof. Heinz Konietzky, Organisator des Treffens und selbst Alumnus dieses Jahrgangs. Den Ab-

schluss bildete eine Feier auf der Alten Elisabeth. Dort wurden auch die Silbernen Diplome verliehen. Die Übergabe erfolgte durch den ehemaligen Seminargruppenbetreuer der Geotechniker, Dr. Lippmann, der noch heute an der TU Bergakademie als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig ist. Mit eigenen Beiträgen, vielen Gesprächen und Führungen durch das Personal der Alten Elisabeth verging die Zeit wie im Fluge. „Ein nächstes Treffen in fünf Jahren ist vereinbart; dann gibt es sicher noch mehr Dinge neu zu entdecken“, freut sich der Organisator.

Ein großes Wiedersehen gab es auch für die Absolventen aller 20 Fachrichtungen des Jahres 1962. Auf dem Programm des 50-jährigen Diplomjubiläums standen der Eintrag in das Silberne Ehrenbuch der Stadt Freiberg durch je einen Fachrichtungsvertreter und die Wiederholung des Umzugs durch die Innenstadt Freibergs. Im Tivoli wurde anschließend bis zum Schichtwechsel und darüber hinaus gefeiert.

Die Ehemaligen wiederholten am 1. Oktober 2012 nach 50 Jahren ihren damaligen Umzug durch Freiberg nach bestandem Diplom. Sie führten acht noch erhaltene Fahnen ihrer Fachschaften und zahlreiche mit viel Humor gestaltete Transparente mit. Zum Wiedersehen spielte auf dem Freiburger Obermarkt am Rathaus das Bergmusikkorps Saxonia Freiberg. Prof. Ernst Schlegel, einer der Absolventen von 1962 und von 1997 bis 2000 Rektor der TU Bergakademie, organisierte gemeinsam mit 19 Mitstreitern die große Wiedersehensfeier. „Dass diese Veranstaltung mit so vielen Kommilitonen nach 50 Jahren möglich ist, macht mich stolz. Es zeigt unsere große Verbundenheit mit der Bergakademie“, bekennt er. Ihre Kommilitonen sind den Organisatoren für dieses einmalige Erlebnis äußerst dankbar. „Noch heute bekomme ich Dankeschreiben und -anrufe von den Teilnehmern“, so Prof. Schlegel. ■ **Jana Schulze-Rehagel**

Wenn Sie Unterstützung bei der Planung Ihres Seminargruppen- oder Jahrgangstreffens wünschen, wenden Sie sich bitte an:

Jana Schulze-Rehagel, Tel. 03731 39-3772

E-Mail: Jana.Schulze-Rehagel@zuv.tu-freiberg.de



Start des Jubiläumsumzugs der Absolventen von 1962 auf dem Obermarkt am 1. Oktober 2012

Bernhard von Cotta-Preis 2011: Robotertechnologie aus Freiberg: Eine Erfolgsgeschichte

Heni Ben Amor



Dr. Heni Ben Amor und der androide Roboter CB2

Roboter üben auf viele Menschen eine enorme Faszination aus. Besonders in Science-Fiction-Filmen werden sie als menschenähnliche Maschinen dargestellt, die über eine herausragende Intelligenz verfügen und sprechen, sehen und teilweise sogar fühlen können. Auch wenn die Robotertechnologie in den letzten Jahren einen deutlichen Sprung nach vorn gemacht hat, sind wir noch weit davon entfernt, Roboter in unserem Alltag zu haben, die über eine solche Intelligenz verfügen. Tatsächlich können die meisten heute eingesetzten Roboter – sogenannte Industrieroboter – nur einen vorgegebenen Plan abarbeiten; sie verfügen über keinerlei Autonomie. Zudem reagieren derartige Roboter nicht auf Menschen in ihrer Umgebung, was zu gefährlichen Situationen führen kann.

Während der Arbeiten an meiner Dissertation an der Bergakademie Freiberg beschäftigte ich mich mit der Frage, wie Roboter mit einer höheren Intelligenz und Autonomie ausgestattet werden können. Weiterhin empfand ich es als wichtig, Menschen und Roboter so zusammenzubringen, dass sie auch miteinander interagieren können, ohne dass dabei Gefahrensituationen entstehen. Ein wichtiger Ausgangspunkt für meine Arbeit war die Feststellung, dass wir Menschen viele Fähigkeiten durch Imitation erlernen. Wenn z. B. Kinder einen Löffel zu benutzen lernen, ahmen sie dabei oftmals die Bewegung ihrer Eltern beim Essen nach. Dieses Prinzip lässt

sich auch auf Roboter übertragen. Durch Beobachtung seiner Umgebung könnte ein Roboter wichtige Verhaltensweisen wahrnehmen und diese imitieren. Aufbauend auf dieser Erkenntnis konnte ich unter der Anleitung von Prof. Dr. Bernhard Jung einige Robotersysteme entwickeln, die dieses Prinzip umsetzen. Die Bitte, unsere Roboter am Tag der Offenen Tür der Universität dem Publikum vorzustellen, veranlasste uns, die Interaktion zwischen den Besuchern und dem Roboter zu vereinfachen – das Robotersystem an die Erfordernisse der direkten Interaktion mit Menschen anzupassen. Wir erschlossen uns die Möglichkeit, neue Bewegungen aufzuzeichnen, indem man die Gelenke des Roboters bewegt. Die Besucher konnten nun den Roboter bei der Hand nehmen und ihm neue Verhaltensweisen beibringen, indem sie seine Gelenke bewegten.

Die Reaktionen der Besucher am Tag der Offenen Tür waren ein Beleg dafür, dass die direkte physische Interaktion Mensch-Roboter einen markanten Fortschritt in Richtung auf das angestrebte Entwicklungsziel bedeutet. Zahlreiche Besucher waren angetan von der einfachen Art, einen Roboter zu programmieren. Dieser Erfolg hat wesentlich

dazu beigetragen, dass nun einige neue Verfahren zur Programmierung von Robotern entwickelt werden konnten, insbesondere das sogenannte *Physical Interaction Learning*. Zusammen mit Professor Ishiguro, einem weltbekannten Wissenschaftler der Universität Osaka, konnten wir diese Methoden an modernen und hochgradig menschenähnlichen, androiden Robotern testen. Die Ergebnisse brachten uns einen internationalen Forschungspreis ein. Mittlerweile werden unsere in Freiberg entwickelten Verfahren bei einigen Robotern weltweit eingesetzt. Kürzlich wurden sie dazu verwendet, einem Weltraum-Roboter (namens Justin) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Greifen beizubringen.

Ich möchte allen Beteiligten und Freunden an der Bergakademie für die tolle Zeit danken, besonders den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Informatik. Sowohl der Verein der Freunde und Förderer als auch die Stiftung TU Bergakademie Freiberg haben meine Arbeit unterstützt und gefördert, wofür ich ihnen sehr dankbar bin. Ich wünsche der Arbeitsgruppe Freiburger Informatik und der Bergakademie insgesamt noch viel Erfolg in der Zukunft.



Justin – der Roboter des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen. Dank der Freiburger Forschungen kann Justin Objekte sicher greifen und manipulieren.

Bernhard von Cotta-Preis 2011: Vorkonditionierte „all-at-once“-Verfahren für große, schwach besetzte Parameterschätzprobleme

Julia Weißflog

Zur Auswertung der Daten geophysikalischer Messungen ist es gewöhnlich notwendig, ein physikalisch sinnvolles Parametermodell für den Untergrund zu rekonstruieren. Als Parameter kommen beispielsweise der spezifische elektrische Widerstand beim Einsatz geoelektrischer oder die Suszeptibilität bei Anwendung magnetischer Messungen für die Kartierung in Betracht. [1] Auf der Basis der numerischen Vorwärtsmodellierung, die für ein vorgegebenes Parametermodell die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Vorgänge bei einer geophysikalischen Messung reproduziert und synthetische Daten erzeugt, kann schließlich eine Inversionsrechnung zur Umkehrung des Messvorgangs und zur Bestimmung der Parameterverteilung durchgeführt werden. Dieses Problem wird auch als Parameterschätz- oder Optimierungsproblem bezeichnet.

Die Rekonstruktion der Parameter aus gemessenen Daten provoziert eine Reihe von rechentechnischen Herausforderungen. Bei der herkömmlichen Herangehensweise werden die Nebenbedingungen (i. d. R. das Vorwärtsproblem) durch Umstellen und Einsetzen in die Zielfunktion eliminiert, wodurch sich ein Optimierungsproblem ohne Nebenbedingung (engl. unconstrained optimisation problem) ergibt. Dieses wird für gewöhnlich durch eine Variante des Newton- oder Gauß-Newton-Verfahrens gelöst.

Bei den Untersuchungen im Rahmen meiner Diplomarbeit wird am Beispiel der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung der Ansatz der Lagrangeschen Multiplikatoren genutzt, der die Nebenbedingungen nicht eliminiert, sondern über eine Reihe von Multiplikatoren zur Zielfunktion hinzuaddiert. Das entstandene Optimierungsproblem wird mithilfe des Newton-Verfahrens linearisiert. Daraus resultiert mit jedem Newton-Schritt ein großes, schwach besetztes Gleichungssystem. Dessen Lösung liefert bei *all-at-once*-Verfahren bei jedem Iterationsschritt nicht nur eine neue (und hoffentlich bessere) Näherung für die gesuchten Parameter, sondern solche auch für die aktualisierten synthetischen Daten, die man bei herkömmlichen Verfahren durch eine zusätzliche zeit- und rechenaufwendige Vorwärtsrechnung bestimmen müsste.

Weil die Koeffizientenmatrix im hier verwendeten Beispiel zwar symmetrisch, jedoch indefinit ist, konnten bewährte Krylow-Unterraum-Verfahren, wie etwa die Methode der konjugierten Gradienten, nicht zur Lösung des schwach besetzten Gleichungssystems verwendet werden. Stattdessen wurde eine Variante des QMR-Verfahrens (engl. *quasi-minimal residual method*) implementiert.

Da mit dem Krylow-Unterraum-Verfahren erzielte Ergebnisse ohne eine geeignete Vorkonditionierung in der Regel nur sehr langsam konvergieren, beschäftigt sich die Arbeit auch mit der Effizienz und Anwendbarkeit des von Haber & Ascher (2001) beschriebenen Vorkonditionierers, der auf einer blockweisen LU-Zerlegung der permutierten Systemmatrix basiert.

Mit den beschriebenen Verfahren konnte tatsächlich die Wärmeleitfähigkeit für ermittelte Temperaturmesswerte in einem eindimensionalen Modellgebiet der Länge 1 m hinrei-

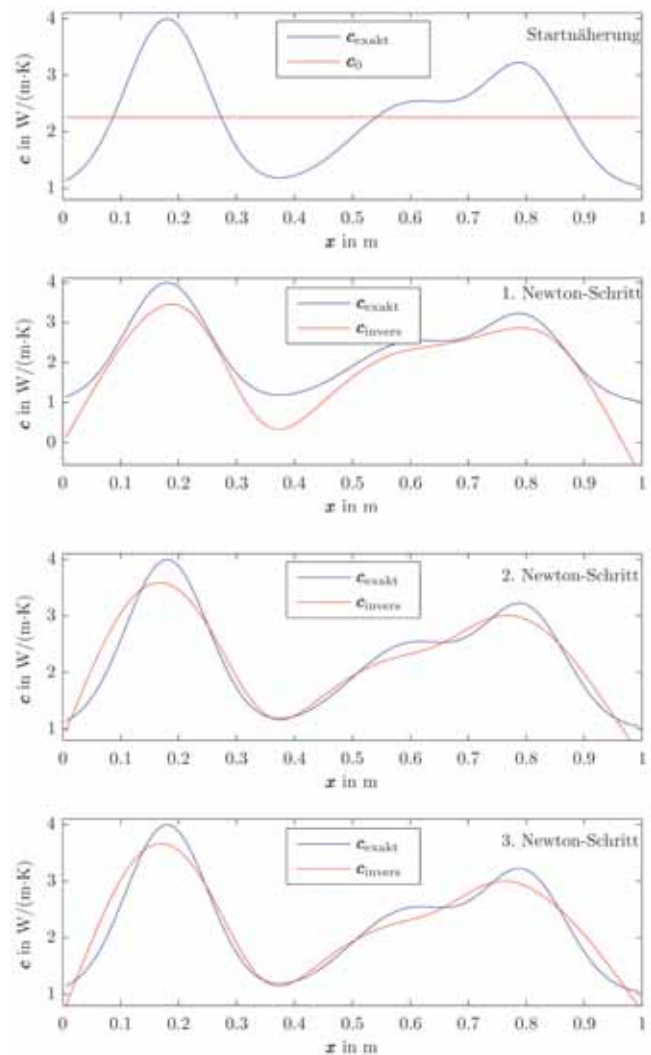


Abb. 1: Entwicklung der Wärmeleitfähigkeit für die ersten drei Schritte der Newton-Iteration

chend gut rekonstruiert werden. In *Abb. 1* ist dazu die Entwicklung des Parametervektors (Wärmeleitfähigkeit) c im Vergleich zur exakten Lösung c_0 (blau) für drei Schritte der Newton-Iteration dargestellt. Bereits beim Übergang vom zweiten zum dritten Newton-Schritt sind kaum noch Änderungen zu verzeichnen. Dies belegt, dass *all-at-once*-Verfahren eine durchaus sinnvolle Alternative zur Lösung von Parameterschätzproblemen bieten. Nachfolgend sollen die bisher für Wärmeleitfähigkeitsprobleme implementierten Algorithmen für andere Problemstellungen, wie z. B. ein transientelektromagnetisches Modellproblem, umgesetzt und auf ihre Anwendbarkeit getestet werden. Notwendig ist auch die Überprüfung der Ergebnisse im Falle verrauschter Eingabedaten. Um realistische, für die Praxis relevante Ergebnisse zu erhalten, ist eine Erweiterung auf zwei- und dreidimensionale Probleme erforderlich.

Literatur

- 1 Haber, Eldad & Ascher, Uri M. 2001: Preconditioned all-at-once methods for large, sparse parameter estimation problems. *Inverse Problems* 17, 1847–1864.

1 julia.weissflog@geophysik.tu-freiberg.de

200 Jahre Gastechnik in Deutschland, seit Wilhelm August Lampadius 1812 in Freiberg

Hans-Jürgen Kretzschmar

J. W. von Goethe bezeichnete in seinem „Faust“ nicht nur das Blut als einen besonderen Saft, sondern ahnte auch schon die künftige Bedeutung eines anderen Stoffs – des Erdgases – voraus, indem er Mephisto zu Faust sprechen lässt (Faust II, 4. Akt)

*Als Gott der Herr –
ich weiß auch wohl, warum –
uns aus der Luft in tiefste Tiefen bannte,
da, wo zentralisch glühend, um und um,
ein ewig Feuer flammend sich durchbrannte,
wir fanden uns bei allzugroßer Helligung
in sehr gedrängter, unbequemer Stellung.
Die Teufel fingen sämtlich an zu husten,
von oben und von unten auszupusten;
die Hölle schwoll von Schwefelstank
und -säure, das gab ein Gas!
Das ging ins Ungeheure.*

Damals hatte er schon den Universalchemiker Wilhelm August Lampadius, Professor an der Bergakademie Freiberg, besucht und von dessen Versuchen zur Gaserzeugung aus Steinkohlen erfahren.

Im Winter 1812 baute Lampadius in seiner Wohnung (!) auf der Fischergasse Freiberg den Prototyp einer Minigasanstalt (begleitende Äußerungen seines Eheweibs sind nicht dokumentiert), um in der dunklen Jahreszeit die Gasse mit einer an der Hausaußenwand befestigten Thermolampe zu beleuchten (s. Prinzipskizze im Beitrag Zschoke).

Das war die Gründungsstunde der deutschen und kontinentaleuropäischen Gastechnik. Zwar war diese Technik auch schon in England entwickelt, noch aber verhinderte die eigentlich bereits abgelaufene Napoleonische Kontinentalsperre einen Güterhandel mit den Britischen Inseln. Dennoch fand Lampadius in dieser Zeit einen Reiseweg nach England, um sich über seine seit 1796 angestellten Laborversuche zur Leuchtgaserzeugung aus Steinkohlen wissenschaftlich auszutauschen.

Heute können wir uns den sinnlichen Eindruck einer solch hellen Straßenbeleuchtung auf die Gefühle der Freiburger Bürger nur schwerlich vorstellen, die bis dahin die dunklen Gassen, höchstens von schwachen Rüböllampen oder Wachsker-

zen aufgedämmert, gewöhnt waren. Gaslicht erhellte die Menschen sinnlich und intellektuell.

Lampadius führte seine Leuchtgas-Technologie selbst und rasch in die Praxis ein. Im gleichen Jahr, 1812, demonstrierte er auf dem Freiburger Obermarkt die Helligkeitsüberlegenheit seiner Gaslaternen gegenüber den Öllampen; der Aufbau eines ersten Gaswerks in der Stadt wache scheiterte aber an der Technik und an der Knausrigkeit der Ratsherren. Dennoch errichtete er im Jahr 1815 das erste industrielle Gaswerk in Halsbrücke bei Freiberg. Im dortigen Hüttenwerk, dem Amalgamierwerk zur metallurgischen Trennung des Silbers vom Kupfer, wurden bis 1895 die Werkhallen mit Gaslicht beleuchtet, welche eine zukunftssträchtige Investition! Dieses Amalgamierwerk wurde seinerzeit ob seiner innovativen Technologie als 8. Weltwunder bezeichnet und von vielen besucht, darunter auch von Goethe und Humboldt (Abb. 1).



Abb. 1: Gaswerk im Amalgamierwerk Halsbrücke

Die Markteinführung der Gastechnologie war geschafft. Lampadius konnte bald darauf den sächsischen König in Dresden von diesem Innovationsdurchbruch überzeugen, der in der Folge das Dresdner Schloss und die Oper im Gaslicht erstrahlen ließ. Bald darauf schossen städtische Gasanstalten in Deutschland und Europa wie *start up's* aus dem Boden, die neben dem Gaslicht auch die umweltfreundliche Gaswärme für Küchen, Stuben, und Werkstätten anboten. Die „Gasifizierung“ war in der Mitte des 19. Jahrhunderts bereits Stand der Technik. Sie ermöglichte auch den industriellen Aufschwung in

der zweiten Jahrhunderthälfte, als sich Leuchtgas – nunmehr als Kokerei- oder Stadtgas bezeichnet – zum technologischen Werkzeug in der Montanindustrie (Hüttenwerke), der Metallurgie und der Chemieindustrie entwickelte. Hierbei gingen die bekannten Steinkohlenreviere Rhein-Ruhr, Saar und Oberschlesien voran.

Im 20. Jahrhundert unterbrach der erste Weltkrieg diese Entwicklung nur kurzzeitig, erstaunlicherweise – doch auch wieder verständlich –, denn Not macht erfinderisch, bricht Verkrustungen auf und zwingt immer wieder zu improvisieren. Die städtischen Gaswerke und die industriellen Kokereien waren bis dahin aber noch isolierte Gasinseln. Warum diese nicht verbinden, zentralisieren und damit rationalisieren? Die bald nach 1920 entstandene Ruhrgas AG war und ist einer der Vorläufer aller Gas-Transport- und -Verteilungsunternehmen. Die flächendeckende Gasversorgung über Gasleitungen aus Erzeugungszentren heraus entwickelt sich. Stadtgas wird nun auch als Ferngas bezeichnet. Die zeitweise Besetzung des Ruhrgebiets (1923-1925) und die bleibende Teilung Oberschlesiens verkleinern die deutsche Steinkohlenbasis. Am Niederrhein und in Mitteldeutschland gibt es aber Braunkohle, deren Vergasung technisch machbar ist. Als eine Antwort auf diese Herausforderungen wird bereits 1918 das Braunkohlen-Forschungsinstitut (BrauFi) in Deutschland gegründet, das 1924 sein Institutsgebäude in Freiberg bezieht.

Bedeutsamerweise lässt es sich bei (nicht in) der Bergakademie nieder, bleibt aber organisatorisch der Energie-Kohlen-Wirtschaft zugeordnet, die wissenschaftliche Kompetenz der öffentlich finanzierten Bergakademie nutzend. Rasant entwickelt sich die Carbochemie in Mitteldeutschland mit der Kohlenveredelung, der Kohlenverflüssigung (Leuna-Benzin, 1944 ca. 4 Mio. t) und der Kohlenvergasung. Das Chemiedreieck Leipzig/Halle-Leuna-Bitterfeld ist 1936 die weltweit höchstentwickelte Industrieregion, allerdings ohne dass die ökologischen Folgen in dieser Zeit auch nur ansatzweise kompensiert worden wären.

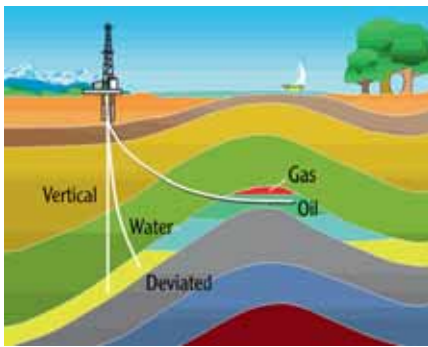


Abb. 2: Tiefbohrungen auf Erdöl und Erdgas

Die dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts rufen – noch zögerlich – die Erdgastechnik auf den Plan, die in der zweiten Jahrhunderthälfte die Stadtgastechnik, weil energieintensiver und wirtschaftlicher, ablösen wird. Tiefbohrungen auf Erdöl fördern auch Erdgas mit, das im Erdöl gelöst ist bzw. es begleitet, oder sie werden gas- statt ölfündig (Abb. 2). In Niedersachsen und Thüringen entstehen die ersten Erdgasförder- und -versorgungsunternehmen.

Nach dem zweiten Weltkrieg entwickelt sich im Osten Deutschlands die Carbochemie / Braunkohlenveredlung verstärkt weiter. Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR gibt es große Braunkohlevorkommen. Energetisch gesehen wird die Braunkohle in den fünfziger Jahren eine Hebamme der DDR, später in den achtzigern aber zu einem ihrer Totengräber aus ökonomischer und ökologischer Sicht. Von 1952 bis 1954 gründet sich die Brennstofftechnische Gesellschaft, die 1956 mit der Gründung des Deutschen Brennstoff-Instituts (DBI) in Freiberg ihre wissenschaftlich-technische Heimstatt findet. 1969 vollendet dieses Institut seinen Aufbau, wiederum der Energiewirtschaft angegliedert und mit der Bergakademie Freiberg eng kooperierend sowie mit der Eingliederung des Torfinstituts Rostock, der Versuchskokerei Chemnitz, der Versuchsbrikkettierung Bitterfeld und des bereits gebildeten Gaszentrums Leipzig. Damit verbinden sich die beiden ostdeutschen Gaszentren Freiberg und Leipzig; in Leipzig ist das Unternehmen Verbundnetz Gas (VNG) zuhause. Beide Unternehmungen, DBI und VNG, sind 1970 bis 1990 in das zentralistisch strukturierte Gaskombinat Schwarze Pumpe eingeordnet. In diesem Energie-Wirtschaftsverbund (Abb. 3) sind die Aufgaben einer sich rasant entwickelnden Gaswirtschaft – wie auch in Deutschland insgesamt – zu bewältigen:

- Aufbau und Erweiterung eines

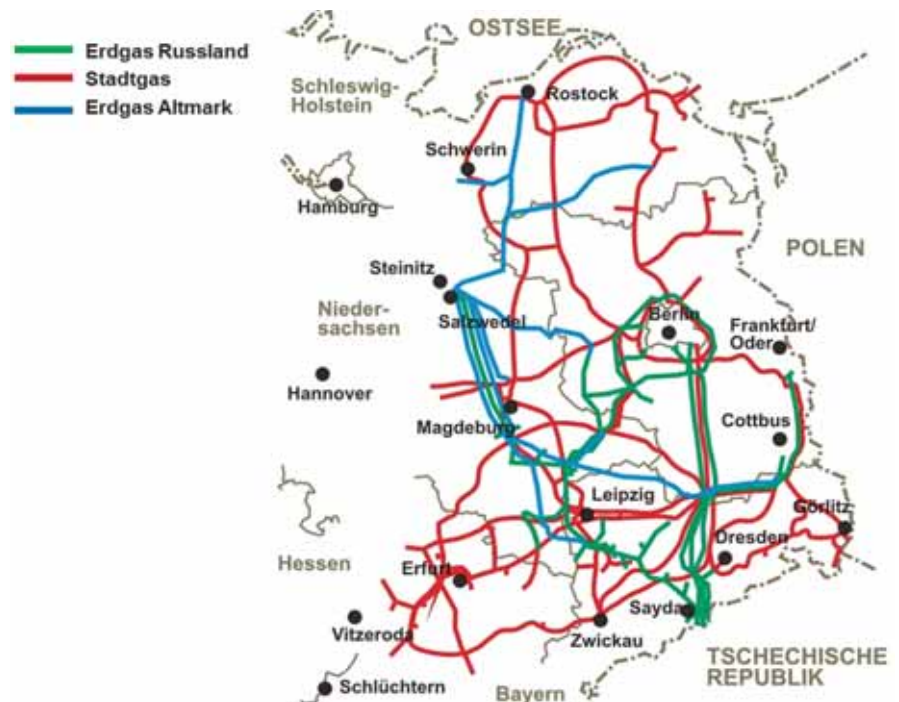


Abb. 3: VNG-Gasnetze 1990

dicht geknüpften Gasrohrnetzes für den Transport und die Verteilung von drei unterschiedlichen Gasarten an die Haushalte, Büros und an die Industrie,

- Stadtgas aus der Kohlevergasung in der Niederlausitzer Schwarzen Pumpe bei Cottbus,
- energiearmes Erdgas aus der Altmark, aus der immerhin zweitgrößten On-shore-Erdgaslagerstätte Europas,
- energiereiches russisches Erdgas, das über einen Transportweg von 4000-5000 km durch den Ostblock heranzuholen ist, auch für Westeuropa. (Wer erinnert sich nicht an das damalige Gas-/Röhrengeschäft? Westdeutschland, Mannesmann, lieferte die großen Gasrohre,

ostdeutsche Techniker u. a. bauten die Gasleitungen, die Sowjetunion förderte und lieferte das Erdgas, heute von Russland fortgesetzt und um das Nordseegas ergänzt).

Das seit 1990 wieder zusammengekoppelte deutsche Erdgasnetz – nun mit einer einzigen energiereichen Gasqualität – ist in das große eurasische Gasnetz eingegliedert, das Europa mit Sibirien und Nordafrika über Land und Meere verbindet. Durch dieses Adersystem fließt das Blut Erdgas als unbedingte Voraussetzung einer globalen Wirtschaft und bedingt mit dieser wirtschaftlichen Abhängigkeit natürlich auch politische Bindungen (Abb. 4).

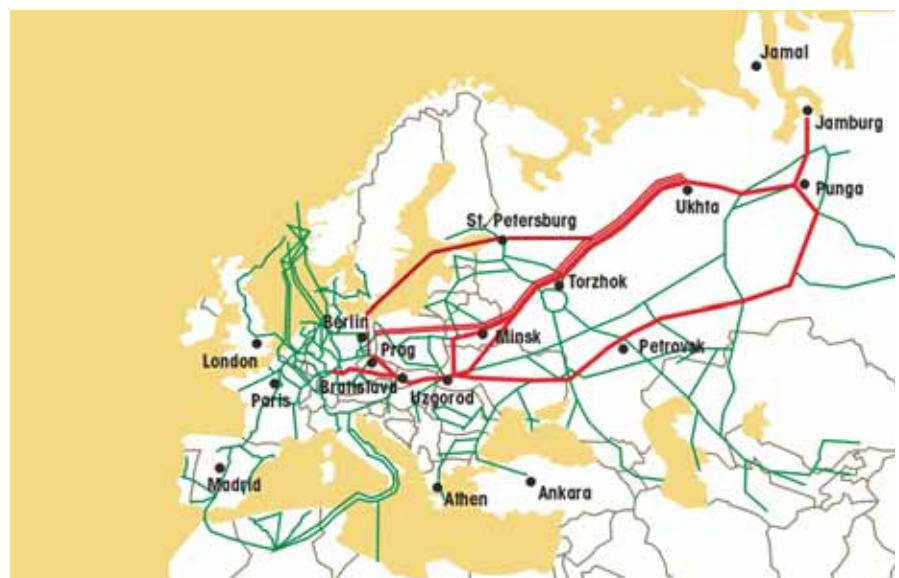


Abb. 4: Internationale Ferngasleitungen, die für die Versorgung Europas relevant sind

Moderne Erdgaswirtschaft bedeutet:

- Erkundung und Bau großer unterirdischer Gasspeicher in mehreren geologischen Formationen, die im Sommer mit Erdgas gefüllt werden, das in der Winter-Spitzenzeit des Gasverbrauchs technisch und politisch verfügbar ist. 25 Prozent der Jahresverbrauchsmenge werden im Untergrund gespeichert.

- Energieeffizienter Einsatz des Erdgases in Industrie und Haushalt mit seinen ökonomischen (energetischer Wirkungsgrad bei 90 Prozent) und ökologischen (relativ geringer CO₂-Ausstoß) Vorteilen. Diese Vorteile verbinden sich heute ideal in ihrer Kombination mit den erneuerbaren Energien.

Mit dieser gastechnischen Kompetenz gelang den Unternehmen die politisch-wirtschaftliche Wende 1990 relativ problemarm. Gemeinschaftlich mit der gesamten deutschen Gaswirtschaft wurde die „Erdgasifizierung“ im östlichen Deutschland fortgesetzt, sodass der Erdgasanteil am Energie-Mix in den neuen Bundesländern heute höher als in den alten ist. Aus der Freiburger Lampadius-Sicht bündeln sich im Gas-Kompetenzzentrum 2012 drei Institutionen: Zwei Institute der TU Bergakademie Freiberg:

- Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau (IBF), vormals Institut für Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung,
- Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (IWTT), vormals Gasinstitut,

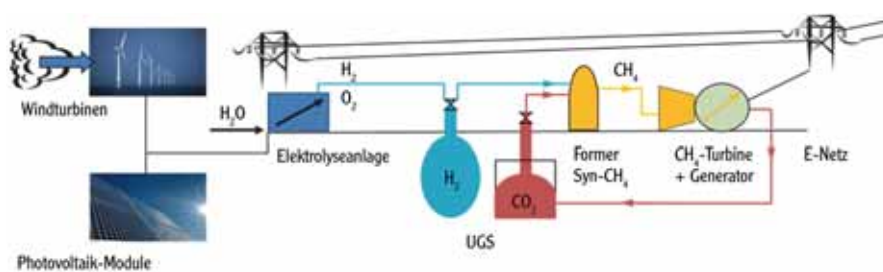
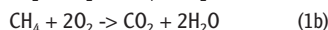
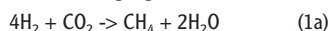


Abb. 5: Speicherung von Solar- und Windstrom in Form des Energierohstoffs Methan: Elektrolytisch erzeugter Wasserstoff (E-H₂) wird mit im Untergrund gespeichertem CO₂ (UGS-CO₂) zu Methan umgesetzt, Gl. (1a), das wiederum zur Stromerzeugung in einem Gaskraftwerk genutzt werden kann, Gl. (1b).



und eine privatwirtschaftliche Institution des Deutschen Verbandes Gas-Wasser:

- DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH (DBI-GTI) als Erbe der gastechnischen DBI-Kompetenz.

In den vergangenen 50 Jahren haben etwa 600 Gasexperten unter der Leitung von 20 Professoren diese weltweit anerkannte Kompetenz entwickelt. Auf dem Bildungsfeld wurden tausende Studenten und Gasfachleute aus- und weitergebildet, hunderte Promovenden zu Dissertationen geführt, unzählige Entwicklungs- und Ingenieurprojekte realisiert. Ein aktuelles Projekt ist die Stromspeicherung mittels Gasspeicherung (Abb. 5). Erneuerbare Energien wie Wind und Sonne lassen sich großskalig nur über die Gasphasen Wasserstoff und Methan, dieses synthetisiert aus CO₂ (!) und H₂, speichern. Die gegenwärtig existierenden Gasspeicher akkumulieren, energetisch gerechnet, be-

reits etwa die Hälfte der jährlichen deutschen Stromerzeugung; sie sind konfliktarm erweiterbar. Also ist „gasförmiger Strom“ unterirdisch speicher- und transportierbar und damit als flexibles und versorgungssicheres Energiesystem zu betreiben. Abb. 5 demonstriert eine bereits konzipierte alternative Variante für Verbundnetze Strom und Gas für die Gewährleistung der Energieversorgungssicherheit. Der zu Lampadius' Zeiten an der Bergakademie Freiberg herrschende Grundsatz *Theoria cum praxi* transformiert sich heute in „Zukunft aus Tradition, seit 1765“. Goethe als Zeitgenosse und Freund von Lampadius meinte es so: „Das Alte in Treue bewahren, das Neue mit Freude befördern.“ Mit den nur ausschnittsweise dargestellten Gaskompetenzen in Freiberg gehen wir mit Freuden in das dritte Jahrhundert der deutschen Gastechnik mutig hinein.

Vor 200 Jahren brannte Gaslicht in Freiberg

Klaus Zschoke

Abraham Gottlob Werner von der Bergakademie Freiberg stützte sich auf eine Empfehlung des deutschen Orientalisten, Sinologen und Forschungsreisenden Prof. Heinrich Julius Klaproth (1783–1835) aus Berlin sowie auf den Rat des Grafen Joachim von Sternberg, um Wilhelm August Lampadius zur Bewerbung für eine Professur zu veranlassen. Bereits mit 22 Jahren hatte sich Lampadius in Fachkreisen einen hervorragenden Namen gemacht, sodass er als Kandidat für eine solche Position an der Bergakademie in Frage kam.

Als junger Mann begann er am 28. April 1794 zunächst als königlich sächsischer Civilstaatsdiener seine Tätigkeit an der Bergakademie und als Nachfolger



Abb. 1: Wilhelm August Lampadius, Jugendbildnis

von Wenzel, eines 1793 verstorbenen Assistenten Prof. Gellerts. Er arbeitete zunächst als Chemiker unter dessen Leitung und assistierte ihm. Am 20. Juni 1794 wurde er zum außerordentlichen Professor ernannt und mit einem Gehalt

von 300 Talern vergütet [1]. Lampadius zog nach Freiberg und quartierte sich, da er eine Apothekerausbildung hatte, am 21. August 1794 als „Hausgenosse“ in der Apotheke „Zum Goldenen Löwen“, der zweitältesten Apotheke in Freiberg, Untere Burggasse Nr. 261 (heute Burgstraße 7) beim Inhaber der Apotheke, Dietzsch, ein [2].

Gellert verstarb am 18. Mai 1795, und Lampadius bewarb sich am 4. Juni 1795 um dessen Lehrstuhl. Bald darauf wurde er am 23. April 1796 zum ordentlichen Professor für metallurgische Chemie und Hüttenkunde an der Kurfürstlich Sächsischen Bergakademie Freiberg, der ersten montanistischen Hochschule der Welt, ernannt [3].

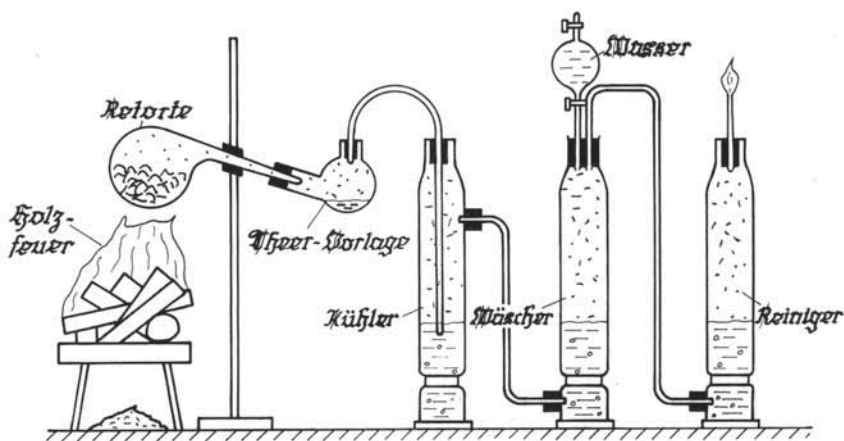


Abb. 2: Schematische Darstellung der Gaserzeugung nach Lampadius

Die berufliche Tätigkeit des Professor Lampadius war äußerst vielseitig und stark vom Aspekt der praktischen Anwendbarkeit geprägt. Besonders eng ist der Name Lampadius mit der Entwicklung der Gaswirtschaft auf dem europäischen Kontinent verbunden. Bereits 1796/97 stellte Lampadius bei der Untersuchung von Steinkohlen verschiedener Herkunft in seinem Labor fest, dass bei deren „Destillation eine große Menge einer schön brennenden Gasart entweicht, deren Leuchtkraft bedeutend ist“.

Im Winter 1799 hatte Lampadius das Glück, seine ersten Versuche mit einer Thermolampe im Dresdener Residenzschloss Seiner Majestät Kurfürsten Friedrich August III., dem späteren ersten König von Sachsen, vorführen zu können. Die Grundlage war das Vorbild einer Lampe von Philippe Lebon (Frankreich), die er nachbaute und mit Holzgas betrieb. Er glaubte damals noch nicht, dass man Steinkohlen – wegen ihres bekannten unangenehmen Geruchs – ebenfalls zu diesem Zweck verwenden könnte.

Am Ende des Jahres 1811 ließ er in einem Zimmer seiner Wohnung in Freiberg in der Fischergasse A 30, Ecke Korngas-

se, der späteren Lomonossowstraße (jetzt wieder Fischerstraße 6), in der zweiten Etage einen Steinkohlen-Thermolampen-Ofen (auch als Zylinderwindofen oder Probeofen bezeichnet) vorrichten, in dem er aus Steinkohle Leuchtgas erzeugen wollte. Durch den Probeofen im Zimmer wurde dieses gleichzeitig beheizt. An der Außenwand der Wohnung wurde direkt am Zimmerfenster seine Gaslaterne angebracht [4].

Technische Beschreibung der Beleuchtungsanlage

Lampadius selbst beschreibt die genannte Versuchsanlage und die mit ihr gewonnenen Erfahrungen im Journal für Chemie und Physik [5]. Die Versuchsanlage bestand aus folgenden Aggregaten:

- A Zylinderwindofen
- B Kühlapparat
- C Straßenlaterne

Die Bestandteile des Zylinderofens A waren ein oberer übergreifender Aufsatz des Ofens, der zum Einsetzen der Büchse (d) mit einer Tür (a) versehen war; ein unterer Teil des Ofens (b), der innen ringsherum mit Dachziegelstücken und Lehm ausgefüllt war, damit die Wärme

besser auf die Büchse wirkt; ein gewöhnlicher Eisenrost (c) im Boden des Ofens nebst einer Schüssel, um die durchfallende Asche aufzufangen; eine Unterlage aus zwei halben Mauerziegelsteinen, auf denen die blecherne Büchse ruht sowie eine Büchse, mit Lehm beschlagen, die sechs Pfund Steinkohle fasst und mit einem Deckel verschlossen und verschmiert wird.

Der Kühlapparat B bestand aus einem Kühltopf aus Gusseisen mit Deckel (l), einem Kühlfässchen, das halb mit Wasser gefüllt ist, einem tischähnlichen Tragekasten (o) zum Aufnehmen des Kühlfässchens und zwei Stücken Kupferrohr, die zu einer Gaszuführungsleitung zur Gaslaterne miteinander verbunden wurden.

Die Bauteile der Straßenlaterne C waren eine Laternenhalterung, ein Laternenglas, sechs feine Austrittsröhrchen für das Gas und eine Abgashaube.

Der Betrieb der Anlage wird so beschrieben: Die Büchse wird mit gröblich zerstoßener Steinkohle gefüllt. Dann soll man den Deckel (h) aufsetzen und mit Lehm verstreichen, die Büchse durch die Tür auf die Ziegelstücke (f) setzen. Beheizen soll man mit weichem Scheitholz, das in Würfel form zersägt wurde und durch die geöffnete Tür (a) das Austreten von Dämpfen in den Raum (r) der Laterne 5 Minuten gewähren lassen. Das Anzündung des Gases wird mit einem gewöhnlichen Laternenanzünder vorgenommen. Das aus Steinkohle gewonnene Gas trat innerhalb einer kugelförmigen Glasumhüllung aus sechs im Kreis angeordneten feinen Röhrchen aus, an deren Öffnungen es mit sechs weißen Flämmchen brannte. Die Stärke dieser Gaslaterne verdunkelte die in der Nähe befindlichen Öllaternen.

Diese Beleuchtungsversuche fanden vom 15. Februar bis 13. März des Jahres 1812 statt [6].

Ökonomische Betrachtungen

Lampadius schreibt dazu folgende Bemerkungen [7]: „Für die von mir in dem Jahr 1812 hier in Freiberg angestellten Beleuchtungsversuche hatte ich folgende Berechnungen angestellt.“ (Es folgt eine detaillierte Aufstellung der Ausgaben und der Einnahmen sowie der im Vergleich zu Öllampen zu erwartenden Kostenersparnisse.) Das Anheizen der Anlage musste ca. 1 ½ Stunden vor dem Anzünden der Laterne bewerkstelligt werden. Zur Feuerung der Erzeugungsanlage wurde kleinstückiges Fichtenholz verwendet; der tägliche Steinkohlenbedarf betrug sechs Pfund. Es wurden Schmiedekohlen aus

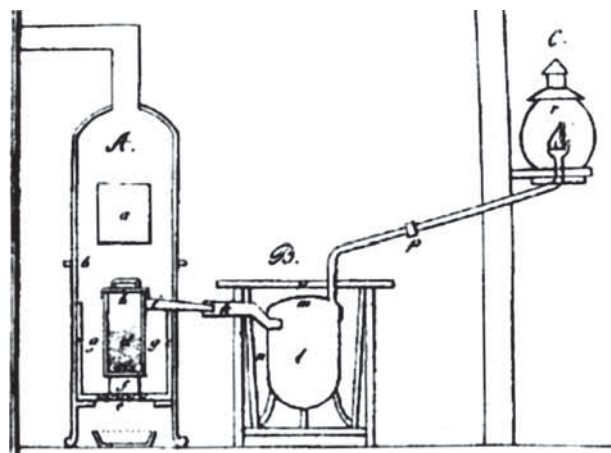


Abb. 3: Skizze der Anlage zur Erzeugung von Leuchtgas für die Gaslaterne am Zimmerfenster der Wohnung von Lampadius zur Beleuchtung eines Teils der Fischergasse in Freiberg, gezeichnet von Hertel



Abb. 4: Freiburger Obermarkt um das Jahr 1750. 1 Rathswaage, 2 Pranger, 3 Marktbrunnen, 4 Corentaner (Chorknaben), 5 Hauptwache, 6 Schandpfahl, 7 Wassertheilhaus

dem Freitaler Revier, speziell aus Burg, eingesetzt. Das Anzünden der Laterne erfolgte abends zwischen 6 und 7 Uhr, während das Ende der Beleuchtung gegen Mitternacht, maximal gegen 1 Uhr des nächsten Tages, eintrat. Die Dauer der Beleuchtung betrug durchschnittlich sechs Stunden. Als Nebenprodukte fielen täglich ca. vier Pfund Koks und eine kleine Menge Teer an; über die gesamte Zeit gesehen wurden 20 Pfund erzielt. Damit brannte in den Monaten Februar und März 1812 erstmalig auf dem europäischen Festland in Freibergs Fischergasse eine Gaslaterne zur Beleuchtung einer öffentlichen Straße, 14 Jahre früher als in Berlin Unter den Linden.

Die in vielen Literaturangaben und bei Accum angegebene Jahreszahl 1811 bezieht sich auf die beginnenden Vorarbeiten zu diesem Experiment.

Beleuchtungsversuch auf dem Oberen Markt zu Freiberg

Eines Tages im Jahr 1812, so schreibt Lampadius, sei er mit derselben Apparatur zum Oberen Markt der Stadt gegangen und habe diese in der Nähe der am Eingang des Kirchgässchens befindlichen Hauptwache [8] aufgebaut. Nach dem Anheizen der Gaserzeugungsanlage wurde die Laterne über die sechs Endröhrchen mit Gas versorgt und so ein Teil des Marktplatzes beleuchtet. Das Ergebnis dieses Versuchs wird von Lampadius folgendermaßen beschrieben: Es konnten sechs Öllaternen in der Nähe ausgelöscht werden, und drei seiner Laternen hätten – so Lampadius – sicherlich den ganzen

Markt, der über 20 Öllaternen hatte, erleuchtet. Nach sechs Stunden wurden die Flammen schwächer und erloschen.

Es handelte sich also nur um einen einmaligen Versuch mit der aus seiner Wohnung umgesetzten Erzeugungsanlage. Dabei war zwar nicht der ganze Obermarkt beleuchtet, aber eine Einschätzung gewonnen, wie sich seine Laterne mit ihrer Leuchtkraft für den gesamten Platz auswirken würde.

Kritische Einschätzung der Versuchsanlage

Lampadius erkannte die Nachteile seiner Gasanlage und unterbreitete deshalb Vorschläge zur Realisierung einer Beleuchtung mit Steinkohlengas. Seine Gaserzeugungsanlage sah er selbst nur als einen Probeofen an, der Unzulänglichkeiten beim Gebrauch aufwies. Täglich musste die Büchse mit Steinkohlen neu befüllt werden. Das Einsetzen der Büchse durch die kleine Tür in den Ofen war mühsam und umständlich. Statt eines stehenden Verkokungsgefäßes würden sicher liegende Gefäße besser geeignet sein. Die Beschickung der Kammer sollte von außen möglich sein. Für längere Beleuchtungszeiten wären zwei Verkokungsgefäße besser, die man hintereinander mit Kohle befüllen könnte. Für jedes Gefäß müsste ein eigener Rost vorgesehen werden. Mit zwei Gefäßen könnte die Beleuchtung bis morgens gegen 5 Uhr betrieben werden. Als Gefäßmaterial sollte man dünnwandiges Gusseisen verwenden. Der Kühlapparat sollte zum Ablassen des Teers mit einem Hahn ver-

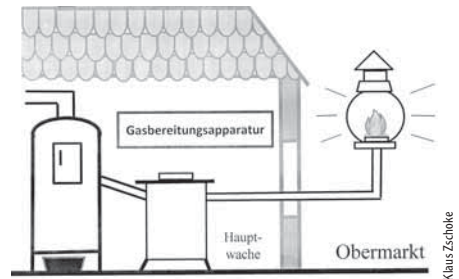


Abb. 5: Skizze zum Beleuchtungsversuch von 1812 auf dem Oberen Markt zu Freiberg

sehen werden. Zur Sammlung eventuell anfallender Feuchtigkeit schlug er vor, eine Büchse in die Gasleitung einzubauen, in die das Wasser – ohne das Gas zu stören – einfließen könnte.

Gedanken für die Zukunft

Lampadius hinterlässt hierzu einige persönliche Anmerkungen. „Bei uns in Sachsen ist diese neue Beleuchtung zunächst den Behörden, welche die Beleuchtung der Straßen, Zucht- und Arbeitshäuser, Spitäler und Kasernen zu besorgen haben, sowie den Besitzern großer Manufakturen zu empfehlen. Privatpersonen lassen sich gelegentlich gegen einen Zins aus den Gasmanufakturen mit Licht aus den Haupttröhren versorgen.“ [9]

Überhaupt machte sich Lampadius Gedanken, wie die Gasbeleuchtung gefördert und verbreitet werden könnte. Ihrer allgemeinen Einführung zur Straßenbeleuchtung stände die nach den Napoleonischen Kriegen gravierende Geldknappheit entgegen. Man solle so beginnen, dass man einzelne Hausbesitzer durch Subventionen ermutige, Hausanlagen in die Kachelöfen einzubauen und diese verpflichten, als Gegenleistung einen Wandarm zur Straßenbeleuchtung außerhalb des Hauses anzubringen. Später erklärte er, dass mithilfe des Gasbehälters, den er erst 1815 kennenlernte, die Straßenbeleuchtung auch von einer Gasfabrik aus möglich wäre.

In Deutschland war ab 1826 in Hannover eine derartige Gasversorgung realisiert. Freiberg hatte zu dieser Zeit noch keine Gasanstalt. Erst am Neujahrstag 1847 ging die Freiburger Gasbeleuchtungsanstalt in Betrieb.

Gegen die Gasbeleuchtung gab es – wie gegen andere grundlegende technische Neuerungen – auch Widerstände seitens Behörden, Verbänden und der Presse. So wurden etwa in der Kölnischen Zeitung im Jahr 1819 theologische, juristische, medizinische, moralische und polizeiliche Gründe gegen die



Abb. 6: Auf Grundlage einer Skizze von Hertel nachgebaute Lampadius-Gaslaterne

Straßenbeleuchtung ins Feld geführt [10], z. B. dass durch die Gasbeleuchtung die Sittlichkeit verschlimmert werde, die Helle den Trinker sicher mache, dass er in den Zechstuben bis in die Nacht hinein schwelgen könne und die Beleuchtung verliebte Paare verknüpfe.

Eine Nachbildung der Gaslaterne ihm zu Ehren

Zur Erinnerung an die Leistung von Wilhelm August Lampadius wurde von Mitarbeitern der Bergakademie im Jahr 1981 auf der Grundlage einer Skizze aus der Literatur eine Nachbildung der Laterne hergestellt und von der Stadtverwaltung am Wohnhaus von Lampadius in der heutigen Fischerstraße 6, Ecke Korn-gasse, angebracht. In der Freien Presse erschien am 15. Juli 1981 ein Artikel von W. Schellhas mit einem Foto, das an diese Aktion erinnert [11]. Unterhalb der Gaslaterne wurde eine Tafel angebracht, die ebenfalls von Mitarbeitern der Bergakademie angefertigt wurde. Nach damaliger Kenntnis wird allerdings als Datumangabe für die Aktion von Lampadius – Demonstration der ersten öffentlichen Beleuchtung einer Straße auf dem Europäischen Kontinent – die Jahreszahl 1811 genannt.

Den Aufzeichnungen im Journal für Chemie und Physik aus dem Jahr 1813, vorrangig aus der beigefügten Versuchstabelle, kann man entnehmen, dass die Lampe tatsächlich erst in den Monaten Februar und März 1812 gebrannt hat. Durch den Förderkreis Gastechnik wurde deshalb 2011 eine neue Tafel zuzüglich mit einer Skizze der Gaslaterne und verändertem Text in Auftrag gegeben.

Die neue Ehrentafel „Prof. Lampadius und sein Straßenbeleuchtungsversuch“ wurde an gleicher Stelle im Februar 2011 von Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg angebracht und gibt Besuchern der Stadt Freiberg Auskunft



Abb. 7: Gebäude Fischerstraße 6 mit Gaslaterne und alter Hinweistafel

über die erste Gasbeleuchtung auf dem europäischen Kontinent.

Literatur

- Schiffner, C.: Wilhelm August Lampadius. Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 12. Band, Verlag des VDI/Springer Verlagsbuchhandlung, 1922, S. 41.
- Archiv Häuserchronik, Burggasse Nr. 261. Archiv der Stadt Freiberg.
- Seifert, Alfred: Wilhelm August Lampadius – Ein Vorgänger Liebig's. Verlag Chemie, GmbH, Berlin W 35, 1933, S. 27.
- Lampadius, W. A.: Beschreibung der Straßenbeleuchtungsversuche mit Steinkohlen, angestellt im Winter 1811–1813. In: Journal für Chemie und Physik, 8. Band, 1813, S. 119.
- Lampadius, W. A.: wie Anm. 4, Versuchstabelle.
- Lampadius, W. A.: wie Anm. 4, Anmerkungen zur Versuchstabelle.
- Lampadius, W. A.: wie Anm. 4, S. 121.
- Accum, Friedrich und W. A. Lampadius: Praktische Abhandlung über das Gaslicht. Verlag des Gr. H. S. priv. Landes-Industrie-Comptoirs, Weimar, 1819, Anmerkung S. 147.
- Schellhas, Walter: Die Gaslaterne in Freiberg und auf europäischem Festland. In: Hochschulstadt 20 (1977) Nr. 10 vom Mai 1977.
- Schellhas, Walter: Morgen feierliche Übergabe. In: Freie Presse, 8. April 1981.

Bildnachweis

- C. Schiffner: W. A. Lampadius, Freiberg, Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, Verlag des VDI, 1922; **3** W. A. Lampadius: Beschreibung der Straßenbeleuchtungsversuche mit Steinkohlen, angestellt im Winter 1811–1813, Journal für Chemie und Physik, 8. Band, 1813, Tafel V, Bild links oben; **4** Ansichtskarte, Privatbesitz Klaus Zschoke.



Abb. 8: Diese Gedenktafel erinnert an den Standort der ersten Gaslaterne in Freiberg in der damaligen Fischergasse 6



Abb. 9: Die neue Gedenktafel

Festveranstaltung zu Ehren von Wilhelm August Lampadius am 19. Juni 2012 in Freiberg Wiederanzündung der historischen Lampadius-Gaslaterne am Obermarkt, Ecke Kirchgässchen



*Freiberg ist uns sehr verwandt
weil unser Urahn dort erfand,
wie mit Gas in dunkler Nacht
man die Straßen heller macht.*

*200 Jahre sind vergangen –
noch einmal hat man angefangen,
diese Laterne neu zu gründen –
und zum Gedenken anzuzünden
für den Freiburger Forscher
mit ehrendem Gruß –
für Wilhelm August Lampadius*

Gedicht verfasst und am Festtag unter der Laterne vorgetragen von Angelika Lampadius, Kurort Hartha.

W. A. Lampadius und die Freiburger Eisenhüttenkunde zu Beginn des 19. Jahrhunderts

Hans-Ludwig Steyer

Wilhelm August Lampadius war ein genialer Universalchemiker. Als Nachfolger von C. E. Gellert lehrte der Professor für Metallurgische Chemie an der Freiburger Bergakademie von 1795/96 bis 1841/42 zuerst Allgemeine und Analytische Chemie sowie allgemeine Hüttenkunde (der Edel- und Buntmetalle). Bald kamen die eigenständigen Fächer Technische Chemie und Eisenhüttenkunde hinzu. Dieses breite Spektrum an Lehrfächern erhielt ständig neue Impulse von seinen zahlreichen Forschungen auf den unterschiedlichsten Wissenschaftsfeldern der Chemie. Lampadius forschte als Analytiker, Hütten-, Brennstoff- und Elektrochemiker ebenso wie als Lebensmittelchemiker, Pharmakologe, Konservierungskemiker und Meteorologe.

Das Schaffen des Freiburger Gelehrten auf all diesen Gebieten wurde mehrfach gewürdigt, weniger aber seine eisenhüttenkundliche Lehr- und Forschungstätigkeit. Anlässlich der 240. Wiederkehr des Geburtstags von Lampadius am 8. August dieses Jahres soll dem Interessenten ein Einblick in die Leistungen des Gelehrten auf dem Gebiet der Eisenhüttenkunde gegeben werden.

Bereits während seiner naturwissenschaftlichen Studien in Göttingen (1789–1791) wurde Lampadius mit wesentlichen Teilgebieten der damaligen Hüttenkunde vertraut. So lernte er vom Physikprofessor G. Chr. Lichtenberg die Theorie vom Phlogiston und die Sauerstofftheorie von Lavoisier kennen und bewerten. Der Chemiker J. F. Gmelin unterrichtete ihn in Technischer Chemie, die die Hüttenkunde einschloss, in Mineralogie sowie in Schmelz- und Probierekunde. Unmittelbar nach seinem Studium nahm der erst 19-jährige Absolvent durch Vermittlung von Lichtenberg an einer berg- und hüttenmännischen Bildungs- und Erkundungsreise des böhmischen Grafen Joachim von Sternberg durch Russland teil. Graf v. Sternberg besaß ein Eisenhüttenwerk in Radnitz (heute Radnice, Tschechien) und hoffte, durch die Reise zusätzliche Erkenntnisse und Anregungen zu erlangen, um diese nutzbringend in seinem Werk umsetzen zu können. Auf Befehl des Zaren musste die Reise in

Moskau abgebrochen werden. Die Berg- und Hüttenwerke des West- und Südrusslands, Sibiriens und der Durchreiselande bis zum fernen China durften von der Reisegesellschaft nicht besucht werden. Der Graf begab sich zurück nach Radnitz und stellte Lampadius 1792 als Privatsekretär ein. Im Eisenwerk arbeitete er als Hüttenchemiker und beschäftigte sich mit der Veredlung und dem Einsatz verschiedener Brennstoffe aus dem Böhmischem Becken im Hüttenbetrieb des Werks. Des Weiteren half er dem Grafen mit großem Arbeitseifer beim Ausbau seines Eisenhüttenwerks [1, 2]. Die eisenhüttenmännischen Arbeiten in dieser ersten Anstellung von Lampadius blieben nicht die Einzigen. Anderthalb Jahre später fanden sie an der Freiburger Bergakademie ihre Fortsetzung.

In der zweiten Hälfte des Jahres 1793 suchte die Bergakademie einen geeigneten Nachfolger für den kranken Metallurgiechemiker und Hüttenkundler C. E. Gellert. Auf Hinweis des Berliner Chemikers M. H. Klapproth, der den jungen Lampadius bei einem Zwischenaufenthalt in Berlin während der erwähnten Russlandreise kennengelernt hatte, bemühte sich Abraham Gottlob Werner in seiner Dienststellung als Aufsichtshabender und Inspektor der Freiburger Bergakademie sowie als Bergkommissionsrat am Oberbergamt Freiberg um die Einstellung des Hüttenchemikers aus Radnitz an der Akademie [3, 4]. Am 26. April 1794 genehmigte das Königliche Finanzministerium Werners Vorschlag. Schon eine Woche danach begann W. A. Lampadius mit seiner Arbeit als Chemiker an der Bergakademie. Nur zwei Monate später, am 28. Juli, zehn Tage vor seinem 22. Geburtstag, wurde er zum a.o. Professor für Metallurgische Chemie berufen.

Zu Lampadius' ersten Dienstaufgaben gehörten die Assistenz bei Gellert in der Oberhüttenverwaltung sowie die Einarbeitung in dessen Lehrtätigkeit [1]. Mit der Arbeitsaufnahme in Freiberg war Lampadius vorerst auf die Edelmetallproduktion festgelegt. Sein unmittelbarer Vorgesetzter an der Bergakademie, A. G. Werner, sah in dem jungen a. o. Professor den Spezialisten für moderne metallurgi-

sche Chemie und den künftigen Nachfolger Gellerts, aber auch den Eisenhüttenmann.

Sofort nach dem Tode Gellerts aktualisierte Lampadius 1795 den überholten Inhalt der Lehrgebiete des Verstorbenen. Er teilte das *Collegium metallurgico-chymicum* in die Vorlesungsreihe Allgemeine Chemie und Allgemeine Hüttenkunde. Danach erweiterte er die Lehrveranstaltungen durch Einführung eines praktischen Kurses Analytische Chemie und 1806 noch durch die Vorlesung Technische Chemie [5]. Nach seiner Ernennung zum o. Professor für Metallurgische Chemie und Hüttenkunde wie auch zum Assessor am Oberhüttenamt (23. April 1796) forderte Lampadius nachdrücklich die Einrichtung eines geeigneten chemischen Laboratoriums zur ordnungsgemäßen Durchführung aller chemischen Arbeiten und der Lehrveranstaltungen auf den Gebieten Chemie und Hüttenkunde. Etliche Anschreiben von A. G. Werner und C. W. v. Oppel an das Geheime Finanz-Kollegium in Dresden, in die auch die Vorstellungen von Lampadius eingingen, führten schließlich zum Erfolg. Im Juni 1797 wurde auf dem Hochschulgelände in der Akademiestraße das weltweit erste chemische Hochschul-Laboratorium eingeweiht (*Abb. 1*). Seitdem diente das Laborgebäude in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts den Chemikern und Hüttenleuten sowohl als Unterrichts- und Übungsort als auch als Stätte für chemische Experimente [2, 6].

Von Beginn der Anstellung von Lampadius an der Akademie an begünstigte Werner dessen Forschungen auf dem Gebiet der Eisenhüttenkunde. Werner, der seiner berufspraktischen Herkunft nach selbst Eisenhüttenmann war(4), seit dem Lehrjahr 1789/90 mit Unterbrechungen bis 1812/13 an der Hochschule Eisenhüttenkunde lehrte [7–9] und seit 1792 für die Ökonomisierung des sächsischen Eisenhüttenwesens zuständig war [10], hatte Ende des 18. Jahrhunderts erkannt, dass der technische Fortschritt auch von der Verwissenschaftlichung der Eisenhüttenkunde abhängt. Er war deshalb an Forschungen auf diesem Gebiet stark interessiert. Er selbst betrieb keine ein-



Abb. 1: Chemisches Laboratorium der Bergakademie Freiberg um 1800

schlägige Forschung, ermöglichte aber Lampadius die Vervollkommnung seines eisenhüttenmännischen Wissens und seine wissenschaftlichen und technologischen Arbeiten auf diesem Gebiet der Eisenhüttenkunde. Als Hochschulinspektor deckte Werner indirekt diese Arbeiten von Lampadius und erwähnte sie in seinen Berichten niemals als nachteilig oder belastend für die Bergakademie, denn Lampadius besaß zur Ausführung seiner eisenhüttenkundlichen Forschungen keinen ausdrücklichen Auftrag vom sächsischen Staat.

Auf Bitte des Grafen von Einsiedel beschäftigte sich der neue Professor in der Eisenhütte Mückenberg (Region Lauchhammer) mit dem Einsatz von Steinkohle und von Gebläseapparaten bei der Eisen- und Stahlerzeugung. Die Ergebnisse befriedigten nicht, lieferten aber die Erkenntnis, dass unter bestimmten Bedingungen der Einsatz von Steinkohle günstiger sei als der von Holzkohle [11].

In den Jahren 1794 bis 1797 beteiligte sich Lampadius an der Beantwortung einer Preisfrage, die von der Königlich Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaft über die Thematik ausgeschrieben war, den Unterschied zwischen Roh- und schmiedbarem Eisen und die günstigste Erzeugung von letzterem herauszufinden. Bei der Beantwortung dieser schwarzmetallurgischen Fragestellung gewann Lampadius zusammen mit zwei weiteren Eisenhüttenleuten den Hauptpreis [12]. Seine irriige Schlussfolgerung, die auf Ergebnissen einer fast dreijährigen weitgehend experimentellen Forschungsarbeit aufbaute, Roheisen und Stahl würden sich durch die Höhe ihres Sauerstoffgehalts unterscheiden, ist wohl seiner Befürwortung der Sauerstofftheorie von Lavoisier und den damals noch unzulänglichen analytischen Sauerstoffbestimmungen im Eisen zuzuschreiben.

Als C. J. B. Karsten 1815 die Kohlenstoffgehalte als korrektes Unterscheidungsmerkmal herausstellte, zeigte der angesehene Professor in der Folgezeit merkliche Verhaltensschwächen bezüglich der Korrektur seiner offenbar falschen und nun überholten Anschauung [13].

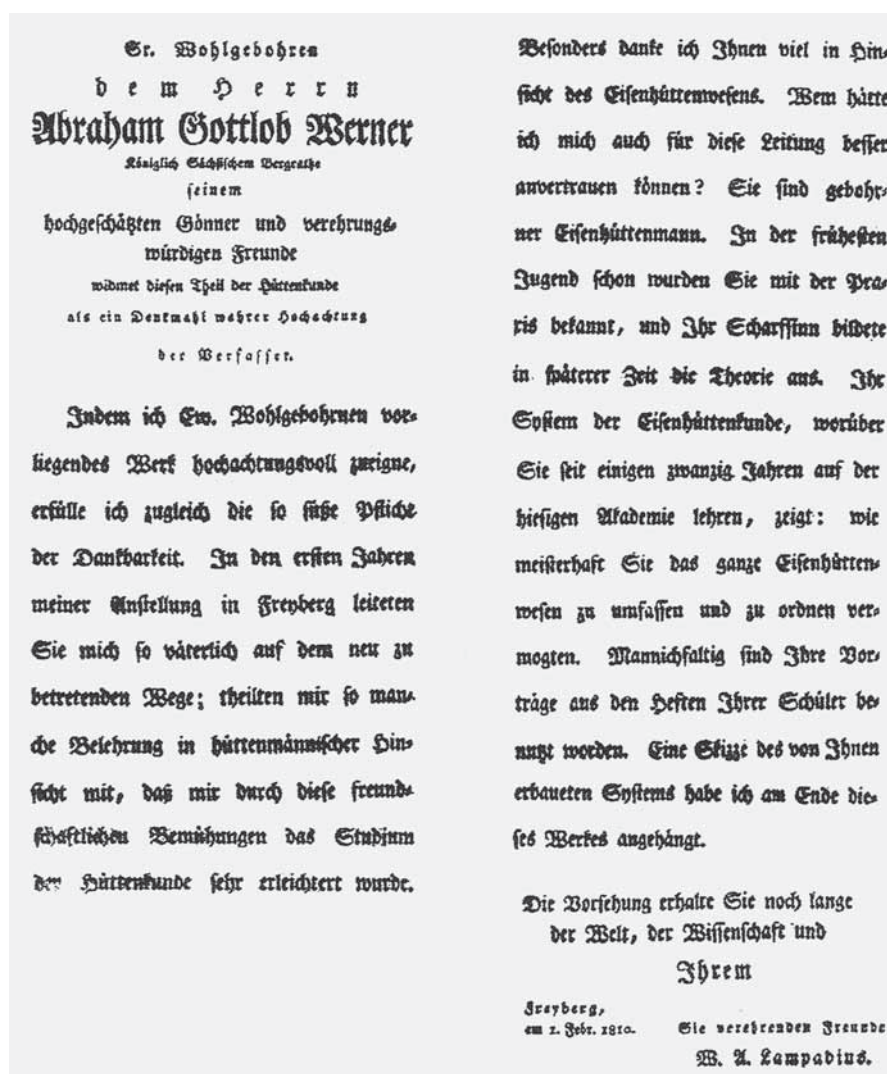
Einen Großteil des aktuellen Wissens in der Eisenhüttenkunde fasste Lampadius in Anmerkungen zusammen, die einer Reihe von Abschnitten des Buches von J. A. Garney über schwedische Hochöfen beigelegt wurden [14].

Nicht zuletzt sei auf Lampadius' wohl bedeutendstes Buchwerk verwiesen, das Handbuch der Allgemeinen Hüttenkunde [15]. Das Werk behandelt die Fortschritte bei der Durchdringung der Allgemeinen Hüttenkunde mit neuen Prinzipien der Metallurgischen Chemie bis in die 20er-Jahre des 19. Jahrhunderts, besonders unter Berücksichtigung der Eisenhüttenkunde. In diesem systematisch aufgebauten und später durch zwei Supplemente ergänzten Lehrwerk verknüpfte der Hochschullehrer neue chemisch-metallurgische Theorien mit hüttenmännisch-empirischer Praxis. Aus heutiger Sicht war dies ein bedeutungsvoller Schritt in der Genese der technikwissenschaftlichen Disziplin Hüttenkunde [2], zu deren Teilgebieten damals schon zweifelsfrei die Eisenhüttenkunde zählte.

Auf dem Feld der Eisenhüttenkunde ergänzten sich Lampadius und Werner, sich dessen bewusst, aber stillschweigend. Das fachlich Gemeinsame, das bald nach Lampadius' Eintritt in den Lehrkörper der Akademie spürbar wurde, bestand in dem Bestreben beider, eine wissenschaftlich betriebene Eisenhüttenkunde an der sächsischen Bildungsstätte zu etablieren. Diese Absicht basierte auf der gemeinsamen Einsicht in die weitreichende wirtschaftliche Bedeutung des Eisenhüttenwesens für die Zukunft Sachsens und in die Notwendigkeit seiner wissenschaftlichen Weiterentwicklung. Werner legte 1788 (Lampadius studierte damals noch) die Grundlage für das Lehrfach Eisenhüttenkunde, indem er den Lehrgegenstand exakt definierte, das erforderliche Vor-, Grund- und Fachwissen sowie die moralischen Qualitäten eines Eisenhüttenmanns umriss und das „System der Eisenhüttenkunde“ entwickelte und nach diesem System lehrte [3, 4, 9]. Lampadius seinerseits erarbeitete unter Anwendung und Weiterentwicklung der modernen Chemie durch seine Forschungen neues eisen-

hüttenkundliches Wissen und schuf das damals höchst aktuelle Lehrwerk: sein Handbuch. Er dankte Werner für dessen stillschweigende Unterstützung. Er widmete 1810 den vierten Band des 2. Teils seines Handbuchs, in dem er die Eisenhüttenkunde abhandelte, seinem Förderer (Abb. 2). Er identifizierte sich mit dem Wernerschen Ausbildungskonzept für Eisenhüttenleute, übertrug es mit wenigen Präzisierungen auf die Ausbildung seiner Hüttenleute und veröffentlichte mit Werners Zustimmung dessen System, den Kern dieses fortschrittlichen Ausbildungskonzepts, als Skizze im obengenannten Band [9, 15]. Gemeinsame Auffassungen über die Eisenhüttenkunde verbanden Lampadius mit Werner über 15 Jahre lang bis zu dessen Tod 1817. Im betrachteten Zeitraum leitete Lampadius aus seinen schwarzmetallurgischen Arbeiten heute noch gültige Grundsätze ab, die im Detail bei Richter [2] und Spies [9] nachzulesen sind. Sie prägten auch noch nach Werners Tod die fortgesetzten Lehr- und Forschungstätigkeiten von Lampadius auf dem Gebiet der Eisenhüttenkunde.

Als Lampadius 1803 das Geheime Finanz-Kollegium im Dresdener Herrscherhaus bat, seine schlechte finanzielle Lage aufzubessern, traten diverse Meinungsverschiedenheiten bezüglich seiner bisherigen hüttenkundlichen Arbeiten offen zu Tage. Die bewilligte Gehaltsaufbesserung war mit der strengen Forderung des Königshauses verbunden, künftig die Chemie mehr für die Senkung des Verbrauchs an teuren Brennstoffen und Blei bei der Gewinnung von Silber und Buntmetallen einzusetzen, als weniger interessierende Forschungen auf vielen anderen Gebieten zu betreiben. Lampadius kam diesen Anweisungen nach und beschränkte fortan die eisenhüttenkundliche Forschung [1], ohne diese aber ganz aufzugeben. In Zusammenstellungen seiner zahlreichen Publikationen, die manchen Arbeiten über das Wirken des Freiburger Gelehrten beigelegt wurden [z. B. 1, 2], sind für den Zeitraum 1810 bis 1835 [16] acht weitere Veröffentlichungen zu finden, in denen der vielseitige Forscher eisenhüttenkundliche Themen abhandelte. Nach Werners Tod erweiterte Lampadius, mit dem 53. Lehrjahr 1818/19 beginnend, den Inhalt seiner Hüttenkundevorlesung durch Lehrstoff aus der Eisenhüttenkunde und verdeutlichte dies im Vorlesungstitel Allgemeine Hüttenkunde mit Rücksicht auf die Freiburger Hüttenwerke und die Eisenhütten-



Widmung zum 4. Band des 2. Teils vom „Handbuch der Hüttenkunde“

kunde [7]. Er hielt den Kurs ganzjährig mit drei Stunden pro Woche und lehrte auf Grundlage seines Handbuchs. In der Folgezeit musste Lampadius die Eisenhüttenkunde unter misslichen Bedingungen vermitteln.

Ab 1819/20 bis 1833/34 erschien das Wort Eisenhüttenkunde in der Vorlesungsbezeichnung nicht mehr [7, 17], offenbar, um gegenüber dem Oberbergamt dieses Fach nicht als mit der Hüttenkunde (Silber- und Buntmetallgewinnung) gleichberechtigt erscheinen zu lassen. Das unflexible Direktionsprinzip bedingte eine einseitige Studentenausbildung. Diese war streng an die Belange der Freiburger Hütten gebunden, nicht aber an die aufkommende Schwarzmetallproduktion. Eine Gegenüberstellung der Gewinne aus der fiskalischen Produktion von Silber mit denen der Schwarzmetallgewinnung belegt die feudal-kapitalistische Kurzsichtigkeit des sächsischen Königshauses. So verminderte sich das Gewinnverhältnis von Silber zu Schwarz-

metall von 4,3 im Jahr 1825 auf 3,1 im Jahr 1840, dann 1850 sogar auf 1,5 [17]. Die Hintanstellung der Eisenhüttenkunde in Lehre und Forschung der Bergakademie zu dieser Zeit widersprach der ökonomischen Entwicklungstendenz der Schwarzmetallurgie in anderen deutschen Ländern.

Weil die preußische Regierung im Gegensatz zur sächsischen die ökonomische Bedeutung einer wissenschaftlich-technischen Fundierung des Eisenhüttenwesens frühzeitig erkannt hatte, unterstützte sie nicht nur die Industrialisierung der Eisenbetriebe in den rheinischen Ländern und Schlesien, sondern förderte seit Beginn des 19. Jahrhunderts verstärkt auch die Ausbildungsstätten für staatliche Hüttenbeamte in Berlin und Breslau. Mit dem forcierten Ausbau der hüttenmännischen Ausbildung schuf sich Preußen an den Bildungseinrichtungen gleichzeitig eine materielle und personelle Basis für den benötigten Nachwuchs an wissenschaftlich ausgebildeten

Hüttenbeamten, die es in Freiberg zu Lampadius' Zeiten nicht gab.

In Sachsen stagnierte die Industrialisierung der Eisenhütten bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts, weshalb die sächsische Landesregierung die eisenhüttenkundliche Lehre und Forschung in Freiberg bis dahin nicht sonderlich förderte. Lampadius ist es zu verdanken, dass die Eisenhüttenkunde in Freiberg nicht zu einem bedeutungslosen Nebengebiet der allgemeinen Hüttenkunde degradiert wurde.

Mehrere Indizien sprechen dafür, dass Lampadius das Fachgebiet Eisenhüttenkunde kapitelweise in seine Vorlesung „Allgemeine Hüttenkunde (ganzjährig drei Stunden pro Woche, 23 Jahre lang) fest eingebaut hatte: Das angegebene Lehrmaterial schloss auch den Eisenhüttenkundelehrstoff [15, 18] ein. Bemerkenswert ist, dass aus dem Titel der Hüttenkundevorlesung im Lehrjahr 1826/27 die zunächst geschriebenen Worte „mit Inbegriff der Eisenhüttenkunde“ durchgestrichen worden waren [7]. Der Lehrer hatte sich wohl mal verschrieben. Die offiziellen Vorlesungsankündigungen in Lampadius' letzten sieben Vorlesungsjahren enthielten den Vermerk, dass die Eisenhüttenkunde in der Hüttenkundevorlesung mit inbegriffen sei [17].

Mit der Eingliederung eisenhüttenkundlicher Lehrinhalte in die Hüttenkundevorlesung vereinheitlichte Lampadius die chemisch-metallurgische Betrachtungsweise für alle Metallurgiezweige und behandelte diese gleichberechtigt. Dies begünstigte aber auch die Separierung der Metallurgie in die Spezialgebiete Edel-, Bunt- und Schwarzmetallurgie und damit die der Ausbildungsziele entsprechender Zweige des Hüttenfachs. Ab 1834 unterstützte Lampadius diese Spezialisierungsbestrebungen [17] durch zusätzlichen Privatunterricht in Eisenhüttenkunde. Es ist ein Verdienst von Lampadius, die Eisenhüttenkunde aus dem Spektrum der Nebenfächer für Werners Bergstudenten ausgegliedert und als Teilgebiet des Hauptfachs Hüttenkunde erhoben zu haben. Damit erhielt die Eisenmetallurgie ihren gleichberechtigten Platz neben der Edel- und der Buntmetallurgie. Dies entsprach dem Entwicklungsstand sowohl der Zweige des produzierenden Hüttenwesens als auch dem der Teilgebiete der Chemie. Von Anbeginn seiner Tätigkeit in Freiberg an sah Lampadius in der metallur-

gischen Chemie das Bindeglied zwischen den Zweigen Hüttenkunde und Chemie. Seine Lehr- und Forschungstätigkeit in der Eisenhüttenkunde förderte trotz mangelnder staatlicher Unterstützung das Entstehen und eine (wenn auch nur geringe) Aufwärtsentwicklung dieses Lehrfachs an der Bergakademie im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts.

Quellen

UAF = Universitätsarchiv Freiberg

- Seifert, A.: W. A. Lampadius - ein Vorkämpfer Liebigs. Verl. Chemie, Berlin 1933; S. 26-32.
- Richter, J.: Lampadius und Freiberg. WIZ Freiberg Nr. 54, Buchdruckerei Freiberg 1975; 2. Aufl.; S. 37-42, 44-46, 51-55, 57-61, 76-79, 152/153.
- Frisch, D. S. G.: Lebensbeschreibung Abraham Gottlob Werner. Brockhaus-Verl. Leipzig 1825; S. 4-20, 45/46.
- Guntau, M.: Abraham Gottlob Werner. BSB B. G. Teubner Verlagsgesell. Leipzig 1984; S. 8-12, 20, 24-28, 109-111.
- Schäfer, H.-G.: Chemische Lehre und Forschung in Freiberg. Bergakademie 7 (1955); S. 250-263.
- Jentsch, F., u. H. Kaden: Zur Baugeschichte der ältesten Gebäude der TU Bergakademie in Freiberg. In: Hoffmann, Y., u. U. Richter (Hrsg.): Denkmale in Sachsen, Bd. 1; Stadt Freiberg, Werbung & Verlag Freiberg 2002; S. 273-287.
- UFA; Akte OBA 249, Bl. 143-145; Akte OBA 277, Bl.112/113 u. 182/183; Akte OBA 278, Bl.14/15; Akte OBA 285 Bl.218/219 sowie Akten OBA 279 u.281-285 (Lectionstabellen).
- Lüdemann, K.-F., u. W. Wenzel: Abraham Gottlob Werners Vorlesung über Eisenhüttenkunde. In: Freiburger Forschungsheft C 223; VEB Dt. Verl. f. Grundstoffindustrie Leipzig 1967; S. 157-162
- Spies, H.-J.: Der Beitrag Abraham Gottlob Werners zur Ausbildung von Eisenhüttenleuten. In: Freiburger Forschungsheft D 207; TU Bergakademie Freiberg 2003; S. 413-425
- Schellhas, W.: Abraham Gottlob Werner als Inspektor der Bergakademie Freiberg und als Mitglied des Sächsischen Oberbergamtes zu Freiberg. In [8]; S. 245-278.
- Lampadius, W. A.: Sammlung practisch-chemischer Abhandlungen und vermischter Bemerkungen; Bd. 2. Dresden 1797, Waertherschen Buchhandlung; Vorrede sowie S. 145-164.
- Ders.: Abhandlung über den Unterschied zwischen dem Roheisen und Frischeisen. In: Lampadius, W. A., B. F. J. Hermann u. H. K. Schindler: Drey Abhandlungen über die Preisfrage: Worin besteht der Unterschied. Hrsg. von der Böhm. Gesell. d. Wissenschaft; Verl. Breitkopf u. Härtel, Leipzig 1799; S. 1-46.
- Beck, L.: Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung; Bd. 4. Verl. F. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1899; S. 25-26, 33 u. 46-47.
- Garney, J. A.: Abhandlung vom Bau und Be-

trieb der Hochöfen in Schweden; Teil 2. Crazische Buchhandlung, Freiberg 1801; S.1-237; insbes. z.B. S. 53-90, 96/97, 135/136,146-157, 195-204.

- Lampadius, W. A.: Handbuch der allgemeinen Hüttenkunde in theoretischer und practischer Hinsicht entworfen; Teil 1: 1801; Teil 2: Bd. 1-4: 1804-1810; Bd. 4 mit Widmung für Werner u. S. 345-352. Supplemente zum zweyten, applicativen Teil ... erschienen 1818; S. 193-230: Das Eisenhüttenwesen betreffend. Supplemente Bd. 2, erschienen 1826; S. 33-43, 120, 275-288, allesamt erschienen in der Dieterichschen Buchhandlung Göttingen.
- Krähenbühl, H.: W. A. Lampadius untersuchte Erzproben aus Graubünden. Bergknappe 22 (1998) Nr. 2; Heft 84; S. 7-9.
- Kalender f. d. Sächs. Berg- u. Hüttenmann auf das Jahr 1827; S. 101; Vorlesungsankündigungen im Jg. 1827-1834; Jg.1835, S.196/197; Jg. 1836-1842; Jg. 1842, S. 41-44, 57/58; Jg. 1852, S. 8, 19, 24.
- Lampadius, W. A.: Handwörterbuch der Hüttenkunde, in theoretischer und practischer Hinsicht. Dieterich'sche Buchhandlung Göttingen 1817.

Weitere Details zu den Quellenangaben können beim Autor erfragt werden: hl.steyer@online.de

Bildnachweis

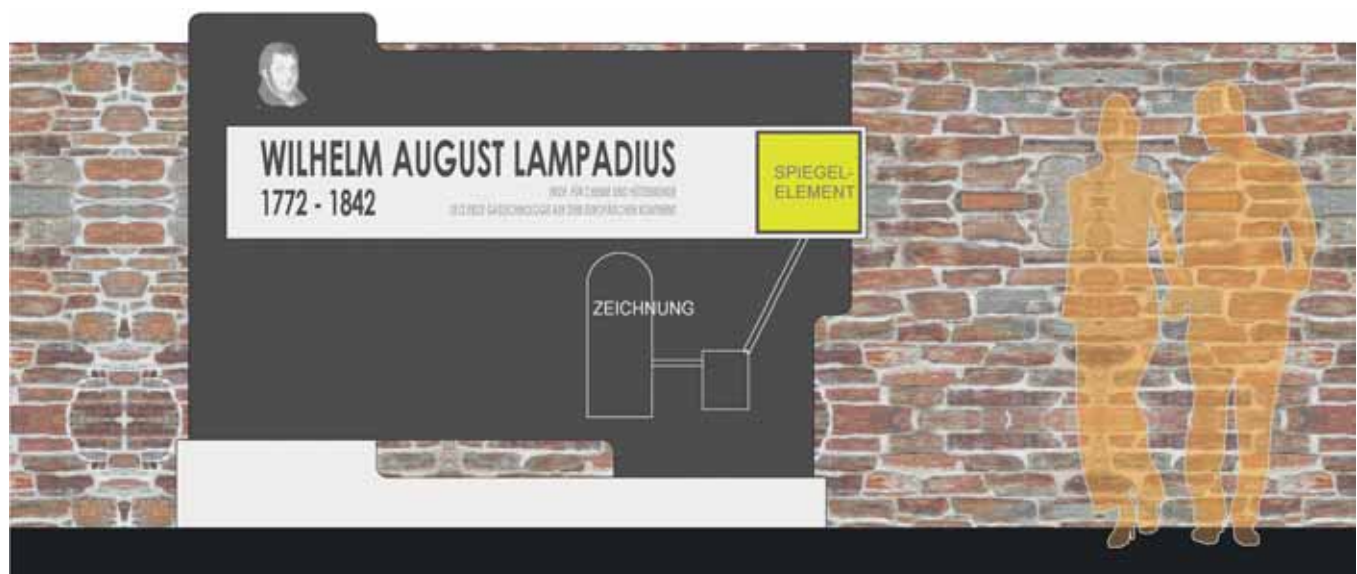
1 [2], S. 58 bzw. [6], S. 274; 2 [15].

IN DIE WELT HINAUS

Die Flora und Fauna des Freiburger Stadtparks erhielt in den letzten Jahren nach und nach Gesellschaft von bronzenen und steinernen Bildwerken. Abgebildet sind die Porträts bekannter Forscher und Gelehrter, deren Wirken mit Freiberg eng verbunden ist. Deren Gesichter und Wirkungsfelder sind ganz unterschiedlich dargestellt: Man kann Zeitgeist, Stand und Geschmack des Handwerks und des Publikums an jedem einzelnen Denkmal gut erkennen. So sind Abraham Gottlob Werner und die sein Schaffen demonstrierenden Gestalten und Formen

wunderbar plastisch in einfachen Sandstein gehauen worden. Weniger dem Moos und der Witterung ausgesetzt gibt sich das voll mit Marmor verkleidete Winkler-Denkmal, dessen Medallions (Porträt und Allegorie der Chemie) mit Glanz und Größe beeindruckend wollen.

In diesem Jahr sollte nun Wilhelm August Lampadius geehrt werden. Da gleichzeitig eine Nachbildung der alten Gaslaterne auf dem Obermarkt in der Innenstadt eingeweiht und angezündet werden sollte, gab es folgende Probleme zu lösen: Wie sol-



len Lampadius' Leistungen dem Parkbesucher vermittelt werden? Welche Materialien können im Außenbereich verwendet werden und sind trotzdem zeitgemäß und interessant?

Auch heute bewundernswert und aufregend sind der persönliche Einsatz und das Risiko, das Lampadius auf sich nahm, um seine Ideen im wahrsten Sinne des Wortes nach außen zu tragen: Er modifizierte den Ofen seiner Privatwohnung, um das Gas auszuleiten, es herunterzukühlen und es letztendlich in die gläserne Laterne einzuspeisen, die neben seiner Haustür in die Nacht hineinleuchtete. Dargestellt finden wir das Ganze auf einer leicht zu lesenden, für unsere Zeit geradezu künstlerischen Zeichnung, die er mit Hilfe eines Assistenten für sein Lehrbuch erstellte. Lampadius sorgte also nicht nur für die Entstehung und Weiterverbreitung der Gaswirtschaft auf dem europäischen Kontinent. Wie die meisten Freiburger Gelehrten maß er der verständlichen Wiedergabe seines Wissens große Bedeutung zu. Diese Zeichnung als zeitgenössisches Symbol für Lampadius' Forschung und Lehre dient daher als Zentralmotiv für das Denkmal.

An der Ausarbeitung der Gestaltung waren die Freunde und Förderer der Bergakademie, der Steinmetzbetrieb Deisinger, der Architekt Bernhard Maier und die Autorin dieses Textes als Bildhauerin beteiligt. Form- und Farbgebung erinnern sowohl an öffentliche Vorlesungs-Tafelbilder als auch an eine private Karteikarte mit einem kleinen Porträt des Gelehrten und einer kurzen Notiz über Lebensdaten und Forschungsleistung. Die historische Prinzip-Skizze erscheint weiß auf schwarz. Dabei wurden die eleganten Schwünge nicht von einem Kreidestück auf Schiefer, sondern von einem hochmodernen Laser-Gravierer auf die glatte Oberfläche des Basalts aus Indien (Black Indian) übertragen. Dieses Verfahren trotz dem Freiburger Wetter und wird nachfolgenden Generationen einen kleinen Einblick in die technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Notwendigkeiten unserer Zeit geben. Um das über die Installation einer einzelnen Gaslaterne hinausgehende Wirken von Lampadius hervorzuheben, wurde die gezeichnete Lampe durch ein Gasflammensymbol ersetzt, das uns im Alltag oft begegnet. Das uralte Prinzip eines unendlichen Spiegels in Verbindung mit den gesteuert flackernden LEDs, die über Kantenstreuung die Flamme mit ihrem Farbspiel entstehen lassen, erlauben Lampadius' Endprodukt, aus der Zeichenebene durch die Steinwand hinaus in die Weite des Raumes zu gelangen. Für unsere Zeit typisch war es nötig, an der Bearbeitung eines kleinen, aber sehr komplexen Bereichs die verschiedensten Spezialisten zu beteiligen und zu koordinieren. Das passgenaue wetterfeste V4A-Stahlgehäuse mit den Spiegeleinsätzen realisierte in Rekordzeit (nach dem kurzfristigen Abspringen einer beauftragten Firma aus Dresden) der Familienbetrieb Schlosserei und Schmiede Glaser aus Binningen (BL) in der Schweiz. Die grafische Vorlage bearbeitete Gerhard Haug, Fotograf und Mediengestalter aus Berlin. Das LED-Panel wurde von LED-Plan aus Dresden konzipiert und später zusammen mit der Erstellung des stromversorgenden Solar-Panels von den Fachleuten der SolarWorld AG wetter- und dauerbetriebstauglich gemacht. Es scheint, als sei die heutige Zeit komplizierter geworden als die damalige, in der Forschungsergebnisse mit dem Elan eines Einzelnen am heimischen Herd erzielt und mit einfachen Versuchsskizzen in die Welt hinausgeschickt werden konnten. Sichtbarer wissenschaftlicher Fortschritt setzt sich oft aus der kleinteiligen Zuarbeit unterschiedlicher Spezialisten zusammen. Dafür ist es uns möglich, die Risiken für Umwelt und Gesundheit sowie den



Einsatz an Energie zu senken, während viel mehr Menschen Licht und Wärme zu ihren täglich verfügbaren Ressourcen zählen können.

Ein größeres Publikum möchte in Zukunft auch das in Zusammenarbeit mit der Berliner Hochschule für Technik und Wirtschaft konzipierte multimediale Begleitprogramm für den Gelehrtenweg erreichen.

■ Susanne Roewer

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 sowie bei Besuchen bzw. der Organisation von Workshops und Tagungen.

Forschungsaufenthalt in Copiapó, Chile

Im Herbst 2008 vereinbarten die Universidad de Atacama in Copiapó, Chile, und die TU Bergakademie Freiberg ein Memorandum of Understanding, in dessen Rahmen nun hydrogeologische Fragestellungen im Copiapótal bearbeitet werden.

Das Copiapótal liegt im Norden von Chile und zählt zur Wüstenregion Region de Atacama. Im Osten entspringen die drei Hauptzuflüsse Manflas, Jorquera und Pulido in den bis zu 6.000 m hoch gelegenen Hochkordillieren und bilden nach ihrem Zusammenfluss bei Las Juntas (1.230 m ü. NN) den Copiapófluss. Von dort erstreckt sich das Copiapótal über eine Strecke von 120 km bis zur Mündung des Copiapóflusses bei Porto Viejo in den Pazifik. Die Region liegt in einem der niederschlagsärmsten Gebiete der Welt; die Niederschläge betragen

im unteren Copiapótal zwischen 0,1 mm und 6 mm pro Jahr und steigen mit zunehmender Höhe auf durchschnittlich 200 mm/a in den Kordillieren an. Dies erklärt auch, warum eine effiziente Nutzung der Wasservorräte hier von besonderer Bedeutung ist.

Das Copiapótal wird sowohl stark bergbaulich als auch großflächig landwirtschaftlich genutzt. Dies führt zu einer hohen Nachfrage nach Wasserressourcen. Diese werden aus Oberflächengewässern und Grundwasser gedeckt. Hauptsächlich werden Kupfererze abgebaut, jedoch auch Rohstoffe zur Gewinnung von Eisen, Gold und Silber. So wurden im Jahre 2006 laut örtlicher Wasserbehörde 115.150 Tonnen Kupfer- und 53.914 Tonnen Golderzkonzentrat mittels Flotations- und anderen Nassver-

fahren in der Region produziert. Die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche beträgt 10.660 ha. Im oberen Copiapótal werden hauptsächlich Trauben angebaut, im unteren vermehrt Oliven.

Durch den hohen Wasserverbrauch sinkt der Grundwasserspiegel im Copiapótal stetig; in dem am stärksten betroffenen Gebiet um die Bergbaustadt Tierra Amarilla sank er in den letzten 25 Jahren um fast 40 m. Die örtlichen Behörden und auch die Bergbauunternehmen bzw. die landwirtschaftlichen Großbetriebe sind sich der Problematik bewusst; deshalb sind erste grundlegende hydrologische und hydrogeologische Studien im Copiapótal initiiert sowie Messstationen für wichtige hydrologische und hydrogeologische Parameter errichtet worden. Das Problem ist laut örtlicher Wasserbehörde (Dirección General de Aguas) vor allem darin begründet, dass in den vergangenen Jah-



Beprobung des Zuflusses Pulido im oberen Copiapótal

ren viele Wasserrechte wahllos vergeben wurden. Nach chilenischer Gesetzgebung ist es nicht mehr möglich, einmal vergebene Wasserrechte wieder zurückzunehmen. Demnach dürfen Betriebe die einmal gesetzlich festgelegte Fördermenge auf unbestimmte Zeit nutzen – selbst wenn das drastische Auswirkungen auf den Grundwasserleiter hat. Im Moment sind noch nicht genügend Daten über die hydrogeologischen Verhältnisse des Copiapó als sowie seines Einzugsgebiets bekannt, die der Entwicklung eines strategischen wasserwirtschaftlichen Konzepts dienen könnten, sodass noch großer Forschungsbedarf besteht.

Das Ziel unseres zweimonatigen Aufenthaltes in Copiapó war die Durchführung der Wasserprobenahme und eine Datenrecherche vor Ort im Rahmen unserer Master- bzw. Diplomarbeit zum Thema „Hydrogeochemie und Hydrogeologie des Copiapó als und dessen Einzugsgebiets“. Dafür wurden Grundwasserproben aus den Brunnen im Copiapó als genommen sowie das gesamte Einzugsgebiet des Copiapó flusses beprobt. Die ermittelten Daten sollen beitragen, einen hydrogeologischen Datensatz für weitere Forschungszwecke zu kreieren, um längerfristig eine nachhaltige Nutzung des Grundwassers zu garantieren.

Bei der Beprobung des Grundwassers und bei der Messung der Grundwasserstände waren wir auf die Kooperation der Brunnenbesitzer angewiesen. Eine Beprobung der Brunnen der Minenfirmen war ausgeschlossen. Im Fall der größeren landwirtschaftlichen Betriebe mussten zumeist Anträge gestellt werden, was viel Zeit kostete. Lediglich die kleinen Familienbetriebe waren sehr entgegenkommend, interessiert an unseren Arbeiten und stellten uns ihr Brunnenwasser bereitwillig zur Verfügung.

Für die Beprobung des Einzugsgebietes waren lange Autofahrten in die unwegsame, abgelegene Umgebung bis über 4.000 m Höhe notwendig. Die Fahrten hierhin waren abenteuerlich, da die Straßen meist unausgebaut, schmal und steil waren. Dank dieser Geländefahrten konnten wir aber die wunderschöne, einsame Landschaft der Kordillieren kennenlernen. Neben wilden Pferden und Eseln sahen wir auch Viscachas und viele Vögel, die dort trotz des rauen Klimas leben. Auch einige wenige Menschen leben in diesen abgelegenen Gebieten, ganzjährig zurückgezogen auf ihren Farmen. Sie waren sehr hilfsbereit und

haben uns während der Beprobung ihrer Quellen und Brunnen auch noch verköstigt und uns ihre Anwesen gezeigt.

Bei den Probenahmen wurden zusätzlich die Vor-Ort-Parameter (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur, Redox-Potenzial) aufgenommen sowie photometrische Bestimmungen ausgewählter redoxsensibler Elemente durchgeführt. Bei den Fließgewässern wurden außerdem die Durchflussstärken bestimmt. Anschließend wurden die Wasserproben im wasserchemischen Labor der TU Bergakademie Freiberg mittels Ionenchromatographie (IC) und Massenspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) analysiert sowie der organische und anorganische Kohlenstoffgehalt bestimmt. Die Isotopengehalte von ^{18}O und ^2H sollen noch im Umweltforschungszentrum (UFZ) in Halle bestimmt werden. Die Ergebnisse der wasserchemischen Analysen werden mit Hilfe des Modellierungsprogramms PHREEQC ausgewertet. Die Dimension des Aquifers wird mittels des numerischen Modellierungsprogramms Visual MODFLOW quantifiziert werden. Schließlich soll die Aufarbeitung der Ergebnisse mit dem Geoinformationssystem ArcGIS in den Entwurf eines hydrogeologischen Atlanten münden.

Bei den organisatorischen Fragen standen uns der Leiter des geologischen Instituts der Universidad de Atacama, Dr. Wolfgang Griem, und sein Mitarbeiter, German Aguilar, nebst einigen Studenten hilfreich zur Seite.

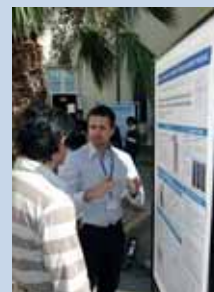
Da kurz vor unserer Ankunft in Copiapó die über ganz Chile ausgeweiteten Bildungstreiks auch an der Universidad de Atacama begonnen hatten, war die Universität von den Studenten besetzt und die im Vorfeld abgesprochene Nutzung der universitären Fahrzeuge nicht möglich. Daher wäre die Durchführung der Probenahme ohne die Hilfe unserer Betreuer und einiger Studenten noch schwieriger und kostspieliger geworden. Im Gegenzug konnten wir den Studenten zeigen, wie eine korrekte Probenahme ablaufen sollte.

Wir möchten auf diesem Wege noch einmal dem Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg danken, der uns mit einer finanziellen Unterstützung die Durchführung des Projekts und das Kennenlernen dieser einzigartigen Region ermöglichte!

■ Lisa Brückner und Martina Ueckert

Teilnahme am European Geothermal PhD Day 2012 in Pisa

Auf dem European Geothermal PhD Day in Pisa (28.–30.03.2012) trafen sich über 60 Doktoranden aus 15 europäischen Ländern,



um über die aktuelle Forschung im Bereich Geothermie zu referieren. Zu Beginn der Tagung wurde ein Workshop im Rahmen der European Energy Research Alliance (EERA) durchgeführt. Themen zur Nachhaltigkeit, zum Umweltschutz und zur Einhaltung von Regularien im Rahmen von Geothermieprojekten standen auf dem Programm. Am folgenden Tag wurden durch die Teilnehmer Fachvorträge gehalten und anschließend mit dem Publikum diskutiert. Anlagen und Komponenten von Geothermiekraftwerken, Grundlagen zum Betrieb bzw. zur Herstellung solcher Anlagen sowie zur zugehörigen Geophysik und -chemie wurden jeweils in einem Kurzvortrag vorgestellt. In den Vortragspausen wurden die zu jedem Thema gezeigten Poster diskutiert. Hier stellte auch ich meine Ergebnisse zum Thema *Investigations regarding the wetting behaviour of propane on the surface of geothermal heat pipes* vor. Diese Ergebnisse resultieren u. a. aus Forschungsarbeiten an einer seit 2007 auf dem Betriebsgelände der TU Bergakademie installierten Anlage zur Nutzung von Erdwärme. Mittels Phasenwechsellösern wird dem Freiburger Gneis Wärme zu Heizzwecken entzogen. Dabei handelt es sich um eine Demonstrationsanlage, an der Studenten ausgebildet werden. Das Treffen wurde durch eine Exkursion zu einem Geothermiekraftwerk in der Region Lardarello abgerundet. Die Besichtigung eines Geothermiejahresmuseums, eines Geothermiekraftwerks sowie eines geothermisch aktiven Fumarolenfelds bildeten den Abschluss der Tagung.

Abschließend möchte ich mich beim Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg für die finanzielle Unterstützung bedanken, die mir die Teilnahme am European Geothermal PhD Day ermöglichte.

■ Thomas Grab

Future Petroleum Engineers Forum 2012, Peking



Carsten Müller, Moritz Farack

Zum zweiten Mal veranstaltete die China University of Petroleum/Beijing (CUPB) zusammen mit dem dortigen SPE Student Chapter das Future Petroleum Engineers Forum. Mit dem Ziel des Wissensaustauschs und eines Dialogs der Kulturen bot diese Konferenz die Gelegenheit, eigene wissenschaftliche Arbeiten und Konzepte einem internationalen Fachpublikum vorzustellen. Nach anfänglicher leichter Skepsis waren wir Freiburger Tiefbohrstudenten schnell motiviert, diese Herausforderung anzunehmen und die TU Bergakademie auch im fernen Asien zu vertreten. So machten sich Carsten Müller, Moritz Farack und Sascha Kluge auf den Weg nach Peking. Unter den knapp 80 Konferenzteilnehmern, die vorwiegend aus Australien, Malaysia und den USA kamen, gehörten wir Deutsche – zusammen mit vier Clausthaler Kommilitonen – fast zu den Exoten.

Nach der Eröffnungszereemonie, in der uns die dortigen Professoren und SPE-Verantwortlichen zu engagierter Mitwirkung ermunterten, beeindruckte uns die großangelegte Präsentation chinesischer Ölfirmen. In Gesprächen mit den Ausstellern bekamen wir ein unmittelbares Gefühl für die in diesem Land gängigen Größenordnungen – insbesondere etwa, wenn man mit Vertretern von Firmen sprach, die allein weit über 400.000 Mitarbeiter beschäftigen. Ein Nachmittag stand im Zeichen des sogenannten Petrobowls. Jeweils drei Teams treten dabei gegeneinander an und versuchen, so schnell wie möglich Fachfragen zu beantworten, um in die nächste Runde weiterzukommen. Das Los entschied, dass wir uns gleich in der ersten Runde mit den Clausthalern und dem Team der gastgebenden Universität zu messen hatten. Obwohl wir leidenschaftlich kämpf-

ten, mussten wir uns doch den Chinesen geschlagen geben. Endlich kam dann der Moment, auf den wir so lange hingearbeitet hatten: unsere Vortragssession. Wir präsentierten Ziele und Ergebnisse der an der Bergakademie im Bereich der Tiefengeothermie betriebenen Forschungen. Carsten Müller referierte über die technologischen Grundlagen, im direkten Anschluss daran Moritz Farack über die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen und gleich danach Sascha Kluge über den Stand der Planungen zum sächsischen Tiefengeothermie-Projekt. Unsere Vorträge lösten eine rege Diskussion u. a. mit einer australischen Gruppe aus, vor allem über praktische Erfahrungen und den langfristigen Nutzen solcher Anlagen.

Im zeitlichen Vorfeld der Konferenz hatten wir Gelegenheit, bedeutende Zeugnisse der chinesischen Kultur kennenzulernen, darunter die Verbotene Stadt, den Platz des Himmlischen Friedens sowie einen nahe Pekings gelegenen Abschnitt der Chinesischen Mauer. Wohl lange nicht zu vergessen: die während des gesamten Aufenthalts perfekte chinesische Organisation und die geradezu überwältigende Gastfreundlichkeit, die bei den Chinesen offenbar buchstäblich durch den Magen geht. Am letzten Konferenztag gab es eine offizielle Sight-Seeing-Tour mit allen Teilnehmern und anschließendem großem Bankett, bei dem man die ereignisreichen Tage noch einmal Revue passieren lassen konnte.

An dieser Stelle bedanken wir uns ausdrücklich beim Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., bei der Deutschen SPE-Sektion sowie beim Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau sowohl für die finanzielle als auch die praktische Unterstützung.

■ Moritz Farack

16th International Heat Pipe Conference (IHPC) 2012 Lyon, France

Vom 20. bis zum 24. Mai 2012 fand in Lyon (Frankreich) die 16th International Heat Pipe Conference statt. Seit ihrem Start 1973 in Stuttgart hat sich diese Veranstaltungsreihe zu einer der wichtigsten im Bereich der Heat Pipes (Wärmerohre) entwickelt. In diesem Jahr trafen sich ca. 150 Teilnehmer aus nahezu allen Kontinenten, um über aktuelle Forschungsergebnisse zu referieren und zu diskutieren. Die Themengebiete erstreckten sich von der Grundlagenforschung (z. B. Raumfahrt) über die industriellen Anwendungen bis hin zu Simulationsverfahren. Den Teilnehmern wurden nicht nur interessante Vorträge geboten; auch an ein kulturelles Programm für die Abende war gedacht, um Kontakte zu knüpfen und Erfahrungen auszutauschen.

Da auch am Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg Forschungsprojekte auf dem Gebiet der *Heat Pipes* bearbeitet werden, bot die IHPC eine ideale Möglichkeit, eigene Forschungsergebnisse zu veröffentlichen und mit Fachpublikum zu diskutieren. Wir, Thomas Storch und Tom Weickert, hielten einen Vortrag zum Thema *Wetting and Film Behaviour of Propane Inside Geothermal Heat Pipes* und offerierten ein Poster mit dem Titel *Wetting-Research with Propane Drops on Solid Materials*. Thema der genannten Veröffentlichungen ist die Phasenwechselsonden-Technologie zur Nutzung von Erdwärme. Seit 2007 existiert auf dem Betriebsgelände der TU Bergakademie eine solche Geothermieanlage für Heiz- und Kühlzwecke. Es handelt sich dabei um eine Demonstrationsanlage, an der Studenten ausgebildet werden. Die veröffentlichten Ergebnisse beschreiben das Verhalten von flüssigem Propan im Inneren dieser Sonden sowie die Benetzung von Propan auf metallischen Oberflächen im Allgemeinen. Die Erkenntnisse sollen zukünftig der Effizienzverbesserung der Phasenwechselsonden-Technologie dienen.

Hiermit möchte ich mich beim Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg für die finanzielle Unterstützung bedanken, welche mir die Teilnahme an der IHPC ermöglichte.

■ Tom Weickert

Geländearbeit und Probenahme im Sultanat Oman



Wadi Haymilayah

Jörg Pländer

Die Erforschung der zeitlichen Abläufe während der Entstehung der ozeanischen Kruste führte mich im Februar 2012 im Rahmen meiner Masterarbeit zu einem knapp zweiwöchigen Geländeaufenthalt in das Sultanat Oman. Der dortige weltberühmte Ophiolithkomplex bildet die rund 700 km lange Gebirgskette im Norden des Landes, das sogenannte Hajargebirge, und ist eines der weltweit größten und am besten erhaltenen Fragmente ozeanischer Kruste. Der Ophiolith entstand vor rund 95 Mio. Jahren an einem ehemaligen mittelozeanischen Rücken, und aufgrund hervorragender Aufschlussverhältnisse bietet er heute einmalige Einblicke in den Aufbau, die Struktur und Entstehung der ozeanischen Kruste. Seine heutige Lage ist das Resultat plattentektonischer Prozesse, wobei im Zuge einer Kollision zwischen einer ozeanischen und einer kontinentalen Platte die ozeanische Kruste auf den passiven Kontinentalrand der arabischen Platte in ihre heutige Position geschoben wurde.

Die Geländearbeiten führten mich in das Wadi Haymilayah und Wadi Abyad. Beide Wadis befinden sich westlich der Hauptstadt Muscat und erstrecken sich über mehrere Kilometer Länge. Deshalb nahmen die Geländearbeiten jeweils mehrere Tage in Anspruch. In beiden

Wadis wurde ein subvertikales Profil durch die Mantel- und Krustensektion des Ophioliths beprobt und teilweise auch kartiert. Die Arbeiten beinhalteten nicht nur die Probenahme, sondern auch eine detaillierte Beschreibung und Kartierung des Umgebungsgesteins, die Anfertigung von Aufschlusszeichnungen sowie die Fotodokumentation und die Bestimmung der GPS-Koordinaten. Insgesamt wurden im Wadi Haymilayah 29 und im Wadi Abyad 14 Probenpunkte bearbeitet. In Freiberg wird aus diesen Proben jeweils das radiometrische Alter spezifischer Mineralphasen (Hornblende, Plagioklas) mit Hilfe der Argon-Argon-Methode im Freiburger Argonlabor (ALF) bestimmt, um den zeitlichen Ablauf der Entstehung des Oman Ophioliths bzw. von ozeanischer Kruste im Allgemeinen besser zu verstehen. Die letzten zwei Tage des Aufenthalts verbrachte ich in Muscat, um gemeinsam mit meinem Betreuer die Ausfuhr der Proben zu organisieren. Dazu musste zunächst eine Ausfuhrgenehmigung im Ministerium für Finanzen und Industrie, Abteilung Mineralische Rohstoffe, besorgt werden, ehe die 300 kg Probenmaterial dann per Schiff nach Deutschland geschickt werden konnten. Nun bot sich außerdem die Möglichkeit, die Hauptstadt Muscat bes-

ser kennenzulernen. Kleine Sightseeingtouren führten mich durch den Souq in Mutrah und in die große Sultan Qaboos Moschee, die derzeit größte des Landes und die einzige, zu der auch Nicht-Muslime und Touristen Zutritt haben.

Während des gesamten Geländeaufenthalts bewegten wir uns mit einem Geländewagen fort und übernachteten in Camps. Neben Holzsammeln und Zeltaufbauen stand auch Küchenarbeit auf dem abendlichen Programm. Bei einem gemütlichen Lagerfeuer – und ab und an einem Glas guten Whiskys – ließen wir die Geländetage ausklingen. Neben den Geländearbeiten war es mir auch möglich, Land, Leute und die omanische Kultur besser kennenzulernen. Oman ist ein modernes Land. Die Aufgeschlossenheit, Gastfreundlichkeit und Weltoffenheit der einheimischen Bevölkerung machte den Geländeaufenthalt zu einem schönen Erlebnis.

Abschließend möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung durch die Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg bedanken, ohne die eine erfolgreiche Durchführung der Geländearbeiten für meine Masterarbeit sicherlich nicht in diesem Umfang möglich gewesen wäre.

■ Maria Häring

Zur American Conference of Information Systems in Seattle, USA

Ich möchte mich sehr für die finanzielle Unterstützung der Freunde und Förderer bedanken, ohne deren Unterstützung meine Teilnahme an der American Conference of Information Systems (AMCIS) 2012 nicht möglich gewesen wäre.

Der Begriff *Big Data* und damit das zentrale Feld meines Dissertationsvorhabens steht in der aktuellen Diskussion als Synonym für das breite Spektrum an Themen, die sich mit den Folgen des exponentiellen Datenwachstums und der zunehmenden Heterogenität der Daten in Unternehmen beschäftigen. In diesem Zusammenhang sollen unterschiedliche Informationsangebote (Soziale Netzwerke, Blogs, Videos, Bild, Audio, Text, E-Mails, betriebswirtschaftliche Kennzahlen etc.) analysiert und miteinander verknüpft werden. Hierdurch wird es Organisationen anhand von fortgeschrittenen Analysemethoden ermöglicht, wertvolle Erkenntnisse über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg zu erzielen. Die daraus entstehenden Datenvolumina beherbergen nicht nur Forschungsfragen der Aufbewahrung, sondern auch Probleme der zeitgerechten Bearbeitung, des



Zugangs sowie der zielgerichteten Bereitstellung der Daten. Ziel der angestrebten Promotion ist es, ein aufgabengerechtes Informationsmanagement in Anbetracht steigender Anforderungen im Umfeld von Big Data zu konzipieren. Infolgedessen muss der wachsenden Datenmenge nicht allein durch technische, sondern auch durch organisatorische Maßnahmen begegnet werden.

Der sich im Aufbau befindende Forschungszweig bedarf wissenschaftlicher Pionierarbeit, Diskussion und Ausrichtung. Der gegenwärtige Forschungsstand konnte in dem Artikel *Big Data – A State of the Art* erfolgreich publiziert werden; in diesem Zusammenhang wurde ein Forschungsaufenthalt in Seattle erforderlich, um die Ergebnisse der Arbeit zu diskutieren und rasch Reaktionen von Fachkollegen zu erhalten. Dafür bietet die AMCIS als eine der weltweit ranghöchsten Konferenzen unserer Disziplin

eine ideale Plattform, da bei dieser Veranstaltung alle relevanten Forscher auf diesen Themenkreisen anwesend sind. Teilnehmer aus 38 Ländern stellten ihre Ergebnisse in 483 Artikeln, 13 Diskussionsforen und 86 Postern vor. Meine zwanzigminütige Präsentation beinhaltete die bisherigen Resultate der Dissertation. Der anschließende Diskurs zwischen den Teilnehmern brachte wertvolle Erkenntnisse und Hinweise, die mir in bei der Fortführung der Arbeit an meiner Dissertation helfen.

Neben wissenschaftlicher Exzellenz besticht Seattle durch ein reichhaltiges kulturelles Umfeld. Ein Besuch im berühmten *Experience Music Project (EMP) Museum* war ein Höhepunkt meines Aufenthalts. Die angrenzende *Seattle Space Needle* gilt als Wahrzeichen der Stadt und stand bereits zum Zeitpunkt ihrer Fertigstellung 1962 im Zeichen des wissenschaftlichen Fortschritts. Der 184 Meter hohe Aussichts- und Restaurantturm erlaubt bei klarem Wetter einen spektakulären Blick auf den 80 Kilometer entfernten Vulkan Mount Rainier.

■ Marco Pospiech

ACHEMA 2012 – Die Studenten der Verfahrenstechnik sind dabei

Das Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik der TU Bergakademie Freiberg organisierte für 30 Studenten des Bachelor- und Masterstudiengangs Verfahrenstechnik eine Exkursionswoche zur weltgrößten Fachmesse ACHEMA. Die Messe in Frankfurt am Main bietet alle drei Jahre Ausstellern aus der ganzen Welt die Möglichkeit, auf sich aufmerksam zu machen. In diesem Jahr fand sie vom 18. bis zum 22. Juni statt und ist nach Aussage von Prof. Repke Pflicht für jeden Verfahrenstechniker. Geplant war nicht nur der Besuch der Messe, sondern auch die Besichtigung von drei Firmen im Ruhrgebiet. So stand zunächst ein Tagesausflug zur BP-Raffinerie in Gelsenkirchen auf dem Programm. Hier werden neben Kraftstoffen wie Benzin, Diesel und Heizöl auch petrochemische Grundstoffe wie Ethylen, Propylen, Xylol, Methanol und Ammoniak produziert. Eine detaillierte fachliche Präsentation der Erdölaufbereitungsschritte Hydrocracking und Steamcracking erbrachten einen wertvollen Wissenszuwachs. Zusätzlich gab es die Möglichkeit, mit Mitar-

beitern verschiedener Abteilungen – u. a. Verfahrensplanung, Destillation oder Hydrotreating – persönliche Gespräche zu führen, durch die wir Einblicke in ihre Arbeitsschwerpunkte und den Arbeitsalltag bei BP erhielten. Höhepunkt des Besuchs bei BP war die Werksführung durch das Gelände mit anschließender Besteigung einer Abraumhalde aus der Zeit der Steinkohleförderung, der größten Erhebung im Ruhrgebiet. Von dort aus war das gesamte Raffineriegelände zu überblicken.

Beeindruckende Parallelen zum Lausitzer Braunkohlebergbau bekamen wir am Mittwoch beim Besuch des Tagebaus Garzweiler im Rheinischen Revier und des Kraftwerks Niederaussem des Energiekonzerns RWE zu sehen. Eine spektakuläre Bustour durch den bis zu 370 Meter tiefen Braunkohletagebau erlaubte uns das Bestaunen des nach Aussagen von RWE größten Baggers der Welt mit einer Gesamtlänge von 220 Metern.

Die geförderte Braunkohle wird zu 90% mit der werksinternen Bahn dem Kraftwerk Niederaussem zur Verstromung zugeführt. Dieses Kraftwerk mit optimierter Anlagentechnik ist eines der

modernsten der Welt und erreicht einen Wirkungsgrad von bis zu 43%. Dort wird der mit 200 Metern größte Kühlturm der Welt betrieben.

Danach ging die Exkursion weiter zur LANXESS AG, einem Spezialchemie-Konzern mit Sitz in Leverkusen. Diese AG ging 2004 aus der Bayer AG hervor. Ihre Produktpalette reicht von Performance-Polymeren, Advanced Intermediates bis hin zu Performance Chemicals. Bei dieser Werksführung wurde der Exkursionsgruppe auch die Schwefelsäureproduktion gezeigt und erklärt. Von der anlagentechnischen Ausbildung her war uns das Verfahren bekannt; jetzt aber hatten wir die Möglichkeit, die Komplexität einer solchen Anlage hautnah zu erleben. Eine Besonderheit dieser Anlage liegt in den verwendeten Baumaterialien für die Reaktoren und Rohrleitungen, üblicherweise – wegen der Korrosionsgefahr – Glas. Hier kommt jedoch eine spezielle Edelstahllegierung zum Einsatz. Nach Aussagen von Dr. Müller ist es der LANXESS AG wichtig, dass man als Projektgenieur alle Schritte eines Projekts, beginnend mit der Idee zu einem



Moderne Prozesssimulationssoftware gab es am Stand der Fa. Chemstations zu sehen

Produkt über die Entwicklung eines Verfahrens bis hin zur Montage und Übergabe der Anlage, betreut.

Außerordentlich lehrreich war ein ganztägiger Ausflug zur Messe ACHEMA in Frankfurt am Main. Sie dient den Firmen des Anlagenbaus, der Mechanischen und Thermischen Verfahrenstechnik, der Mess-, Regel- und Prozessleittechnik sowie der Werkstofftechnik und Material-

prüfung als Plattform, sich vorzustellen und ihr jeweiliges Know-how zu präsentieren. Unternehmen wie Siemens, Linde und BASF hatten dabei die größten Stände mit beeindruckenden Exponaten vorzuweisen. Aber auch kleine und mittelständische Unternehmen zeigten sehr interessante Geräte und Anlagen. In drei Gruppen besuchten wir jeweils sechs Firmenstände. Die dortigen Vertreter

machten uns mit der Philosophie ihrer Unternehmens bekannt und zeigten uns Möglichkeiten für Fachpraktika und für eine spätere Beschäftigung als Absolvent der Verfahrenstechnik auf. Ausgerüstet mit diesen Einblicken besichtigten wir Stände mit weiteren Apparaten wie Mischern, Filtern, Wärmetauschern, Kolonnen etc. Wir waren begeistert, diese auch anfassen zu können und mit den jeweiligen Standbetreuern zu diskutieren. In den Fachgesprächen vertieften wir das in den Lehrveranstaltungen erworbene Wissen. Wir konnten dabei potenzielle Arbeitgeber kennenlernen und – umgekehrt – sie auf uns aufmerksam machen. Die intensiven Eindrücke von der Messe und aus den Unternehmen zeigten uns den rasanten Fortschritt der verfahrenstechnischen Forschung. Sie motivieren uns für die weiteren Lehrveranstaltungen in Freiberg und machen uns neugierig darauf, was es in drei Jahren zu bestaunen geben mag.

Der Erfolg der Exkursion ist maßgeblich der guten Organisation und Betreuung durch Dr. Seyfarth, Hilke Lorenz und Joachim Kerber zu verdanken.

■ Stefan Pohl

Berg- und Hüttenleute Freiberg e.V.

Am 25.10.2011 traf sich ein Dutzend Freiburger Studenten, um eine akademische Verbindung zu gründen. Dies war die Geburtsstunde des Berg- und Hüttenleute Freiberg e.V. Zu dieser Idee gab es ein Vorbild, den Berg- und Hüttenmännischen Verein. Tristan Boehm brachte die Grundidee nach Freiberg, eine solche Verbindung zu gründen, mit der der Zusammenhalt im Studium sowie auch im späteren Leben gefestigt wird. Gleichzeitig sollte es aber eine klare Abgrenzung zu schlagenden und farbentragenden Verbindungen geben. Es geht uns um den Gemeinschaftssinn und den Erhalt der berg- und hüttenmännischen Traditionen. Da solch ein Angebot in Freiberg bisher noch nicht existierte, legten wir selbst Hand an. Wir möchten junge Leute als Mitglieder gewinnen, die an der Bergakademie studieren und an der Lösung der großen Aufgaben der Zukunft teilnehmen wollen. Dabei sind alle Fachrichtungen willkommen. Des Weiteren liegt uns die Pflege außerfachlicher und allgemeinbildender Wissensgebiete am Herzen. Unser Hauptaugenmerk gilt aber den Montanwissenschaften.

Nachdem die Zielvorstellungen immer klarer geworden waren, begann die Gründungsphase mit der Ausarbeitung der Satzung und der Leitsätze. Von Anfang an wurde über Nachwuchsgewinnung nachgedacht. Ab der Gründung können wir sagen, dass ein reges Interesse an der Verbindung besteht und wir uns darüber sehr freuen. Hier abgebildet sind einige der Gründungsmitglieder (auf dem Foto von l. o. nach r. u.): Thomas Graner, Maximilian Hertrampf, Kenny Auerswald, Julius von Ketelhodt, Jens Hofmann, Paul Niemann, Stefan Harms, Christoph Gumbrecht, Frank Rackwitz, Tristan Boehm und



Martin Luge. Aber was haben wir vor? Wir organisieren Vortragsabende und Exkursionen zu unterschiedlichsten Themen. Als Beispiel seien hier nur die Exkursion nach Pöhla oder der Besuch bei den Bergkameraden in Aachen, Berlin und Clausthal in den letzten beiden Semestern zu nennen. Bei unseren regelmäßig stattfindenden Treffen halten wir auch selbst Vorträge, um uns fachlich weiterzubilden und freies Sprechen vor einer Gruppe von Zuhörern zu üben. Natürlich werden das gesellige Zusammensein und das Feiern nicht vergessen. Zudem wollen wir auch den Kontakt zu unseren Professoren und zu den anderen Studenten noch intensivieren. Für die Studenten werden z.B. Grill- und Vortragsabende oder die bereits genannten Exkursionen angeboten. Bisher stieß dies auf reges Interesse. Wir hoffen, dass unsere Idee Fuß fasst und der Verein weiterhin gedeiht. Auf eine freudige Zukunft, *Glück Auf! die Berg- und Hüttenleute Freiberg*

Kontakt: Berg- und Hüttenleute Freiberg e.V., Schmiedestraße 14, 09599 Freiberg, bhf2011@gmx.de



TU Bergakademie Freiberg

Entscheidungen, Initiativen, Projekte

Auszug aus dem Rektoratsbericht der TU Bergakademie Freiberg 2011

ERGEBNISSE IN DER FORSCHUNG

Die TU Bergakademie Freiberg (Motto: Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.) hat während ihres fast 250-jährigen Bestehens ihr montanistisches Gründungsprofil erfolgreich weiterentwickelt und wird es in Zukunft noch ausbauen. Das Ressourcenprofil folgt dem Leitgedanken der nachhaltigen Entwicklung mit den gleichberechtigten Säulen Ökonomie, Ökologie und Soziales. Es richtet sowohl die Forschung als auch die Lehre im Bereich der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft entlang der Rohstoff-Wertschöpfungskette aus. In enger Korrespondenz mit der Wertschöpfungskette stehen die vier Profillinien Geo, Material, Energie und Umwelt (GEO-MATENUM). Die an unserer Universität prominent vertretenen Wissenschaftsgebiete der Mathematik und Informatik, der Naturwissenschaften, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften sind über die Rohstoffwerteschöpfungskette und die Profillinien vernetzt.

GROßPROJEKTE DFG-Förderung: SFB, SPP

Besonders erfolgreich war die TU 2011 bei der Einwerbung von Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Profilbereich Material, wo sie

nunmehr auf zwei Sonderforschungsbereiche verweisen kann. Der Sonderforschungsbereich 799 TRIP-MATRIX-COMPOSITE wird in der ersten Projektperiode seit 2008 bis 2012 mit einem Budget von rund 10 Mio. Euro gefördert. Unter Leitung des Instituts für Werkstofftechnik (Sprecher: Prof. Biermann) arbeiten Wissenschaftler aus vier Fakultäten gemeinsam an der Entwicklung einer neuen Klasse von Hochleistungsverbundwerkstoffen auf der Basis von TRIP-Stählen und Zirkoniumdioxid-Keramiken (TRIP: transformation-induced plasticity).

Als weiteres Großvorhaben in der Werkstoffforschung nahm ein zweiter Sonderforschungsbereich der DFG im Juni 2011 die Arbeit auf: Der unter der Leitung des Instituts für Keramik, Glas- und Baustofftechnik (Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik) bei der DFG beantragte SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzfiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ (Sprecher: Prof. Aneziris) erhielt den endgültigen Förderbescheid. Für den neuen SFB steht im ersten Projektzeitraum 2011 bis 2015 ein Budget von 9 Mio. Euro zur Verfügung. 17 Wissenschaftler aus vier Fakultäten der Hochschule arbeiten in 21 Teilprojekten zusammen. Ziel ist es, durch die Einstellung exzeptioneller, an

die Bauteilbeanspruchung angepasster funktionaler und adaptiver mechanischer Eigenschaften einen Innovationsschub für Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen zu ermöglichen.

Landesexzellenzinitiative Sachsen

Auf dem Feld der Materialforschung wurden auch die Arbeiten im Projekt „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering“ (ADDE) fortgeführt, das im Rahmen der Landesexzellenzinitiative Sachsen als eines von fünf Großprojekten gefördert wird (Gesamtfördersumme 20 Mio. Euro, Laufzeit 2009–2014). Im Dezember 2011 fand eine Zwischenbewertung statt. In über 100 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und auf internationalen Konferenzen sowie mit fünf Patenten wurden die bisherigen wissenschaftlichen Ergebnisse präsentiert.

Stiftungsmittel

Fortgesetzt wurden außerdem die Material-Forschungsarbeiten im Freiburger Hochdruck-Forschungszentrum (FHP) – ein seit 2008 aus Mitteln der Dr. Erich-Krüger-Stiftung der TU Bergakademie Freiberg gefördertes interdisziplinäres Forschungsvorhaben. In insgesamt acht Teilprojekten arbeiten Wissenschaftler



Matthias Retsche

Die Versuchsanlage Syngas-to-fuel (STF) am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) auf der Reichen Zeche

aus acht Instituten an Themen wie z. B. „Werkstoffverhalten neuartiger Verbundwerkstoffe“ und „Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften von superharten Nanokompositen unter extremen Bedingungen“.

Bund/Land Sachsen

Im Profilbereich Energie forschte die TU Bergakademie 2011 in mehreren Großprojekten, die maßgeblich vom Bund gefördert, aber auch mit Landesmitteln unterstützt wurden.

In dem vom BMBF als „Zentrum für Innovationskompetenz“ und vom Land Sachsen geförderten Projekt Virtuhcon (Laufzeit 2009–2014/15) erforschen Wissenschaftler aus acht Instituten der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam mit internationalen Nachwuchswissenschaftlern Hochtemperatur-Konversionsprozesse.

Das als eines von elf Projekten im BMBF-Programm Spitzenforschung und Innovation in den neuen Bundesländern geförderte Deutsche Energierohstoffzentrum (DER) konnte sich weiter als führendes Zentrum für Forschung und Entwicklung im Bereich der stofflich-energetischen Nutzung von Kohle und Biomasse etablieren. Neben sechs in Freiberg ansässigen Forschungsinstituten sind vier nationale Forschungsein-

richtungen sowie zahlreiche Partner aus der Energiewirtschaft beteiligt, darunter MIBRAG, ROMONTA, Vattenfall.

Für Forschungen zur Energietechnik erhielt die TU Bergakademie zum Jahresende 2011 die Bewilligung zur Errichtung einer Versuchsanlage zur Schlackebadvergasung schwieriger Brennstoffe auf dem Gelände des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC). Mit über 9,5 Mio. Euro fördert das Land Sachsen damit die größte Einzelmaßnahme zur angewandten Forschung an innovativen Energietechniken im EFRE-Programm. In der Anlage soll das Verhalten von schwierigen Brennstoffen unter hohem Druck untersucht werden. Hierzu zählen unter anderem Kohle mit hohem Aschegehalt, einheimische Braunkohle und Biomasse. Mit Hilfe der Forschungsergebnisse sollen Technologien zur Verarbeitung von Rohstoffen optimiert und die Kohlendioxid-Emission minimiert werden.

Im Rahmen eines weiteren Großprojekts wurden am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) die Arbeiten in der Versuchsanlage für Syngas-to-fuel (STF) fortgesetzt. In der Anlage, die in enger Kooperation mit dem Chemieanlagenbau Chemnitz GmbH (CAC) errichtet wurde, entsteht STF-Benzin aus Synthesegas,

das aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden kann.

Am 29. August 2011 wurde durch Bundesministerin Schavan das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) gegründet. Es bündelt die Forschungskompetenz der TU Bergakademie Freiberg auf den Gebieten Geowissenschaften, Bergbau, Materialwissenschaft, Energierohstoff-Forschung und Umwelt mit den Kompetenzen des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf auf den Gebieten Metallgeochemie, neue Materialien sowie Analytik im Bereich der Ressourcentechnologie mit folgenden Forschungszielen:

- Entwicklung neuer Technologien für die Nutzbarmachung mineralischer und metallhaltiger Rohstoffe aus komplex zusammengesetzten heimischen und weltweit vorkommenden Lagerstätten,
- Beitrag zum globalen Umweltschutz durch material- und energieeffiziente Gewinnung und Verwendung von Rohstoffen,
- Bereitstellung nachhaltiger Technologien für deutsche Unternehmen als Basis für die wirtschaftliche Vernetzung mit ressourcenreichen Ländern (Technologie gegen Ressourcenzugang),
- Ausbildung einer neuen Generation hochqualifizierter Wissenschaftler und Techniker für die deutsche Industrie und den Hochschulsektor.

Bund/Industrie

Seit Juli 2011 beteiligt sich das Institut für Metallformung an einem Vorhaben zur Entwicklung neuer Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien für umformbare Magnesiumwerkstoffe. In dem als innovativer regionaler Wachstumskern vom BMBF mitgeförderten unternehmerischen Bündnis TeMaKplus (Technologieplattform für die Verarbeitung von Magnesium-Knetlegierungen) kooperiert das Institut mit 11 Industriepartnern und dem Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU). Die beteiligten Partner investieren in das Vorhaben mit einer Laufzeit von drei Jahren ein Gesamtvolumen von über 7,5 Mio. Euro, wovon mehr als 3,5 Mio. Euro vom BMBF kommen. Ziel ist die Erschließung weiterer Anwendungsgebiete für die Verwendung von umformbarem Magnesiumblech oder -band.

Außerdem wurde in der Energierohstoff-Forschung eine Entwicklungs- und Technologieplattform für die Gewinnung, die Aufbereitung und das Recycling von Lithium eingerichtet. Wesentliches Ziel der Forschungen ist die Sicherung der Verfügbarkeit von Lithium als Energie-Rohstoff.

Drittmittelinnahmen

Die TU Bergakademie Freiberg behauptete auch 2011 ihre Position unter den führenden technischen Hochschulen Deutschlands bei der Einwerbung von Forschungsdrittmitteln pro Professor (2011: 572 T€; 2010: 548 T€). Mit 50,3 Mio. € an Drittmittelinnahmen für 2011 hielt sie ihre Einwerbungen auf dem über die letzten Jahre erreichten hohen Niveau (vgl. 2010: 46,1 Mio. €; 2009: 51,1 Mio. €). Der Anteil der Drittmittel am TU-Haushalt entsprach damit in etwa dem der grundfinanzierten Haushaltsmittel. Wie in den Vorjahren kamen die Einnahmen überwiegend aus Forschungsaktivitäten in den Profildbereichen Material und Energie/Verfahrenstechnik.

Kooperationen

Die wichtigsten Industriepartner am Standort Freiberg und in der Region sind die Freiburger Halbleiterunternehmen (Deutsche Solar GmbH, Freiburger Compound Materials GmbH, Siltronic AG) und die Metallbetriebe (u.a. Bharat Forge Aluminiumtechnik GmbH & Co. KG Brand-Erbisdorf, BGH Edelstahl Freital GmbH, Nickelhütte Aue), mit denen die Zusammenarbeit in den Profil-

bereichen Energie und Material weiter ausgebaut wurde. Die Industriekooperationen erstrecken sich über sämtliche profilbestimmenden Bereiche. Unter den Partnern sind zahlreiche führende Unternehmen der Großindustrie (z. B. für den Bereich Energie: E.ON Energie AG, München, RWE Power, Lurgi AG, Frankfurt/M.; Vattenfall Europe AG, Cottbus; Siemens AG). Zur Bündelung von Know-how und Ressourcen richtete die TU Bergakademie Freiberg 2011 weitere zwei Kompetenzzentren ein:

- DBI Bergakademie – Energien bündeln im Deutschen Brennstoff-Institut,
- Mathematisches Kompetenzzentrum Prozesssteuerung, Optimierung und Quantifizierung von Unsicherheiten.

Damit bestehen insgesamt sieben hochschulinterne Kompetenzzentren in den Bereichen Geologie/Ökologie, Energie und Werkstoffe sowie Mitgliedschaften in drei außeruniversitären Zentren.

ERGEBNISSE IN DER LEHRE

Qualitätspakt Lehre (Dritte Säule Hochschulpakt)

Mit ihren Anträgen beim Wettbewerb innerhalb des Bund-Länder-Programms für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre (Dritte Säule Hochschulpakt) war die TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2011 gleich zweimal erfolgreich. Bereits in der ersten Runde wurden der Bergakademie dabei mehr als 7,6 Millionen Euro für die nächsten fünf Jahre bewilligt. Diese Mittel sollen u. a. dafür eingesetzt werden, das Studienangebot gezielt weiterzuentwickeln und vor allem den Anteil von Absolventen in den MINT-Fächern zu erhöhen. Erreicht werden soll dies in erster Linie durch die Senkung der Zahl der Studienabbrecher, die Verkürzung der Studiendauer und die Gewinnung von mehr weiblichen sowie qualifizierten internationalen Studierenden für die vorwiegend ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge in Freiberg.

Ihrem Profil entsprechend ist das Studienangebot der TU Bergakademie Freiberg auf die sogenannten MINT-Fächer¹ fokussiert. Zum Wintersemester 2011/2012 starteten mit den Masterstudiengängen Photovoltaik und Halbleitertechnik, Computational Materials Science und Geoscience drei weitere

¹ MINT-Fächer: Unterrichts- und Studienfächer aus den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik

MINT-Studiengänge sowie der Masterstudiengang Energie- und Ressourcenwirtschaft.

Zur Steigerung der Attraktivität des bestehenden Studienangebots führt auch eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen, die u. a. aus Mitteln des Qualitätspakts Lehre finanziert werden können. So wurde insbesondere das Lehrangebot in den Naturwissenschaften um Praktika am Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) in Hamburg oder um Module zur Bioinformatik erweitert.

Bereits im Wintersemester 2008/09 wurde an der Bergakademie ein umfassendes Tutorenprogramm initiiert, das auch im Jahr 2011 mit Unterstützung von Mitteln des Qualitätspaktes Lehre erfolgreich angeboten werden konnte. Zusätzlich setzte die Universität seit dem Wintersemester 2011/2012 einen Schwerpunkt auf alternative Lehr- und Lernmethoden wie etwa E-Learning und Blended-Learning. Mit Hilfe von Mitteln des Qualitätspaktes Lehre wurden erste Schritte zum Aufbau eines E-Learning-Kompetenzzentrums unternommen. Ergänzt wird dies durch die Entwicklung von hochschul- und mediendidaktischen Qualifizierungs- und Beratungsangeboten für Lehrende, insbesondere in den MINT-Fächern.

Die TU Bergakademie Freiberg beteiligt sich seit dem Sommersemester 2011 als eine der Pilothochschulen an der Initiative Nationales Stipendienprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Mit dem sogenannten Deutschlandstipendium sollen besonders begabte Studienanfänger und Studierende gefördert werden, deren Werdegang herausragende Leistungen in Studium und Beruf erwarten lässt. Mit einer Studierendenzahl von über 5.000 konnte die TU Bergakademie Freiberg 23 Stipendien ausloben. Als einzige sächsische Hochschule hat es die Bergakademie schon im Sommersemester 2011 geschafft, den privaten Anteil der Mittel in voller Höhe einzuwerben und in zulässiger Höchstzahl solche Stipendien zu vergeben. Die privaten Förderer für Studierende der TU Bergakademie Freiberg waren im Jahr 2011 die Sparkassen-Stiftung TU Bergakademie Freiberg, die Stiftung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“, die SolarWorld GmbH Freiberg, die Nickelhütte Aue GmbH, die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, die VEM Sachsenwerk GmbH und die Dr. SCHNELL Chemie GmbH.

PERSONALENTWICKLUNG

Auch im letzten Jahr wirkte sich die hohe Drittmittelquote positiv auf die Personalentwicklung an der TU Bergakademie Freiberg aus. Die Zahl der drittmittelfinanzierten Mitarbeiter steigt seit Jahren kontinuierlich an. Im vergangenen Jahr wurden über 680 Mitarbeiter über Drittmittelprojekte finanziert. An der Universität sind damit insgesamt knapp 1.700 Mitarbeiter beschäftigt. Durch Festlegung der Ausstattung der Professuren mit wissenschaftlichem und nichtwissenschaftlichem Personal bereitete das Rektorat langfristig den vom Land Sachsen angestrebten Personalabbau vor.

Bauliche Maßnahmen

Das vergangene Jahr war von reger Bautätigkeit geprägt. Zu den großen Baumaßnahmen 2011 zählten:

- Neubau Hallenkomplex, 1. Bauabschnitt, Übergabe Mai,
- Reiche Zeche, Neubau Forschungslaboratorien IEC, Übergabe August,
- Sanierung und Umbau Institutsgebäude Formgebung, Planung und vorbereitende Arbeiten,
- Sanierung und Erweiterung Clemens-Winkler-Bau, 1. Bauabschnitt: Neubau Laborgebäude, Planung und bauvorbereitende Arbeiten,
- Schloßplatzquartier, Planung und archäologische Grabungen.

STIFTUNGEN

Stiftungen sind für die Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg von hoher Bedeutung. Sie unterstützen u.a. die Positionierung der Hochschule als internationale Spitzenuniversität und helfen bei ihrer weiteren Profilierung. Das Rektorat unternahm im vergangenen Jahr erneut große Anstrengungen beim Aufbau der Stiftungen.

Stiftung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“

Die Stiftung verfügt neben ihrem Kernbestand über mehrere assoziierte Stiftungsfonds:

- Hermann-Spamer-Stiftungsfonds: Unterstützung von Kinder- und Sommeruniversitäten,
- SolarWorld-Stiftungsfonds für Forschung und Lehre: Unterstützung der Fakultät für Physik und Chemie,
- Stiftungsfonds Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider: Unterstützung der Forschung und Lehre auf dem Gebiet der



Dietmar Müller / TU Bergakademie Freiberg

Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften,

- FME-Stiftungsfonds: Unterstützung der Lehre und Forschung der Industriearchäologie.

Dr.-Erich-Krüger-Stiftung

Das derzeit größte geförderte Projekt der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung ist das Freiburger Hochdruckforschungszentrum.

In diesem interdisziplinären Projekt arbeiten acht Professoren aus sieben Instituten von drei Fakultäten zusammen. Dem Krüger-Forschungskolleg stehen dafür fünf Jahre lang jährlich ca. eine Million Euro zur Verfügung. Im Freiburger Hochdruckforschungszentrum werden die Entwicklung und das Verhalten neuer extrem harter Materialien unter hohen Drücken erforscht. Diese sollen beispielsweise auf Bohrköpfen in der Tiefbohrtechnik zum Einsatz kommen.

Die Krüger-Stiftung unterstützte zudem finanziell die Sanierung des Krüger-Hauses am Schlossplatz sowie die Graduierten- und Forschungsakademie.

INTERNATIONALISIERUNG

Im Jahr 2011 bestanden 33 aktive Kooperationsvereinbarungen auf Hochschulebene, 18 Verträge auf Fakultäts- und Institutebene sowie 28 Memoranden of Understanding bzw. Absichtserklärungen. Eine umfangreiche Übersicht zu den internationalen Partnern der TU Bergakademie Freiberg beziehungsweise zu den Auslandsbeziehungen der Fakultäten offeriert das Internationale Universitätszentrum auf seiner Website unter der Webadresse <http://tu-freiberg.de/iuz>.

Internationale Studiengänge

2011 existierten an der TU Bergakademie fünf internationale Masterstudiengänge (International Management of Resources and Environment (IMRE), International Business in Developing and

Emerging Markets (IBDEM), Computational Materials Science (CMS), Ground Water Management und Geoscience). In diesen fünf Programmen sind insgesamt 139 ausländische Studierende immatrikuliert.

Programme mit Doppelabschluss

Die TU Bergakademie bietet Studiengänge mit Doppelabschluss in Kooperation mit insgesamt 18 ausländischen Partnerhochschulen an.

Ausländische Studierende/Doktoranden

Zum 31. Dezember 2011 gab es an der TU Bergakademie Freiberg 578 immatrikulierte ausländische Studenten/Doktoranden. Das entspricht einem Anteil von etwa 10% an der Gesamtstudentenzahl. Damit nahm die Zahl der ausländischen Studierenden erfreulicherweise weiter zu. Von den 1.257 Studienanfängern im WS 2011/12 kamen 271 (also 19%) aus dem Ausland. Die regionale Herkunft der Studierenden ergibt sich wie folgt: Asien (325), Europa (182), Afrika (34), Amerika (37). Die ausländischen Studierenden sind im Wesentlichen in folgenden Studiengängen immatrikuliert: Geotechnik/Bergbau, IMRE, BWL, IBDEM, Werkstoffwissenschaften, Maschinenbau, Geowissenschaften und Verfahrenstechnik.

Mit Unterstützung des DAAD durch das Programm Ostpartnerschaften konnten Auslandsaufenthalte von 21 deutschen und Aufenthalte an der TU Bergakademie Freiberg von 43 ausländischen Wissenschaftlern gefördert werden. 14 Hochschullehrer nutzten im Studienjahr 2010/11 das Programm ERASMUS-Dozentenmobilität, um an Partnerhochschulen zu lehren bzw. die Kooperation mit diesen weiterzuentwickeln.

Aus der Zuwendung der Verbundnetzgas AG für das multinationale Netzwerk NTNU, TU Bergakademie Freiberg, AGH

Krakau und ICT Prag wurden Fachexkursionen für Studierende mehrerer Partneruniversitäten und das Deutsch-Polnische Metallurgische Seminar an der TU Bergakademie unterstützt.

KOOPERATION MIT DER STADT

Im letzten Jahr wurde die Partnerschaft mit der Stadt Freiberg erfolgreich ausgebaut. So wurden gemeinsame Bauvorhaben wie beispielsweise die Neugestaltung des Schloßplatzquartiers vorangetrieben. Weiterhin erhielt die Bergakademie Unterstützung bei der Einrichtung des im Dezember 2010 bewilligten Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie, insbesondere in puncto Unterbringung des Instituts. Auch im Bereich der Veranstaltungsorganisation bestehen enge Kooperationen. So unterstützen sich die Partner stark bei der Ausrichtung der jeweiligen Jubiläen (850-jähriges Bestehen der Stadt Freiberg im Jahr 2012, 250-jähriges Bestehen der TU Bergakademie Freiberg 2015) und bei Festveranstaltungen.

Die TU Bergakademie Freiberg wie auch die regionale Wirtschaft beteiligten sich im Jahr 2011 aktiv am lokalen Netzwerk für eine weltoffene Stadt „Wir sind Freiberg“. Ziel ist es, Weltoffenheit als echtes Markenzeichen der Stadt und Teil des Selbstverständnisses und der Identität ihrer Einwohner zu etablieren.

Die TU Bergakademie Freiberg

als *die Ressourcenuniversität* gehört zu den am besten profilierten sowie forschungs- und innovationsstärksten Universitäten Deutschlands. Sie zählt in den Rankings zur Spitzengruppe in der Studierendenzufriedenheit sowie im Drittmittelbereich.

Im letzten Jahr wurde die Etablierung der Bergakademie in Deutschland und Europa als die führende Universität der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft weiter vorangetrieben. Das Thema Ressourcen hat in seiner ganzen Breite in den vergangenen Jahren national und international höchste Aktualität erlangt. Zu den wichtigsten Aufgaben in den kommenden Jahren zählt die weitere Schärfung des Ressourcenprofils, das Lehre und Forschung im Bereich der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft entlang der Rohstoff-Wertschöpfungskette ausrichtet. Ein weiteres Kennzeichen ist die weltweite Vernetzung der TU Bergakademie Freiberg. Im Rohstoffsektor verfügt unsere Universität über starke internationale Ausstrahlung.

Der Rektor dankt allen Mitgliedern, Studentinnen und Studenten unserer Hochschule für ihren Einsatz und ihre Leistungen sowie den Alumni, den Partnern unserer Hochschule und den Freunden und Förderern der Universität für ihre Unterstützung.

Bergakademie punktet beim Deutschlandstipendium

Auch im zweiten Jahr kann die Bergakademie wieder die größtmögliche Zahl an Deutschlandstipendien an ihre Studenten ausschütten: 53 Stipendiaten wurden ausgewählt und können sich nun auf eine monatliche finanzielle Unterstützung in Höhe von 300 Euro freuen. „Wir haben in diesem Jahr wieder gezielt private Förderer angesprochen und können so die Höchstzahl der zulässigen Stipendien ausschöpfen“, freut sich Prof. Dirk Meyer, Prorektor für Bildung. Die Planung und Vergabe der Stipendien ist Aufgabe seines Ressorts. Prof. Michael Stelter, Prorektor Forschung, meint: „Gerade beim Deutschlandstipendium ist die TU Bergakademie Freiberg eine Pilotuniversität, da wir uns bereits seit dem Start erfolgreich an dem Programm beteiligen. Wir unterstützen aktiv das Vorhaben des Bundes, in den nächsten Jahren bis zu acht Prozent aller Studenten zu fördern.“ 17 private Geldgeber beteiligten sich in diesem Jahr und unterstützen Studenten der Bergakademie, darunter neben der Sparkassen-Stiftung TU Bergakademie Freiberg hiesige und überregionale Unternehmen der Werkstofftechnologie. ■ Cornelia Riedel

Profilorientierte Wirtschaftswissenschaften: Energie- und Ressourcenwirtschaft

Andreas Horsch, Jacob Kleinow

Zu einer der wohl größten Herausforderungen der weiter wachsenden Weltbevölkerung und -wirtschaft zählt die ökonomisch und ökologisch sinnvolle Bereitstellung von Energie und Ressourcen bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt. Die Begrenztheit der Vorkommen fossiler Brennstoffe, die intensiv diskutierten Chancen und Risiken der Atomenergie sowie das weite Feld erneuerbarer Energien bergen immer größere und schwerer einzuschätzende Herausforderungen, denen sich zuvorderst die Unternehmen – und derivativ auch die Hochschulen – weltweit stellen müssen. In jüngerer Vergangenheit haben die Katastrophe von Fukushima, die dadurch bedingte Neubewertung der Atomenergie im Allgemeinen sowie die deutsche Energie-

wende im Besonderen die Bedeutung der relevanten Risikokategorien für die beteiligten Institutionen gezeigt. Neben *force majeure* war in Japan vor allem zu konstatieren, dass operationelle und technologische Risiken zum Tragen kamen, während auf die deutsche Energiewirtschaft in der Folge Rechtsänderungsrisiken eingewirkt haben, die nunmehr zum Eingehen ungeplanter technologischer und finanzieller Risiken führen. Ökonomische, ökologische und technische Effizienz bei Ressourcengewinnung und -aufbereitung sowie Energieerzeugung, -umwandlung und -verteilung erfordern im Rahmen des herrschenden, sich aber gleichfalls wandelnden institutionellen Gefüges die gezielte Kombination von betriebswirtschaftlicher und

technologischer Expertise auf Seiten der Entscheidungsträger.

Dem trägt die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der TU Bergakademie Freiberg in besonderer Weise Rechnung: Sie hat das profilorientierte Angebot unserer Hochschule um den viersemestrigen Masterstudiengang Energie- und Ressourcenwirtschaft erweitert. Der neue Studiengang mit dem Abschluss Master of Business Administration (MBA) verknüpft wirtschafts- und ingenieurwissenschaftliche Inhalte, um Studierende gezielt auf die besonderen Anforderungen von Führungspositionen in Unternehmen der Energie-, der Ressourcen- und der Versorgungswirtschaft vorzubereiten. Er ist eine Novität in der deutschsprachigen Hochschullandschaft. Seit Immatrikulation der ersten Studierenden zum Wintersemester 2011/12 stößt dieses Angebot bei Studieninteressierten und Praktikern in ganz Deutschland auf reges und stetig wachsendes Interesse. Offenbar trifft das neue Ange-

1. Semester	Recht	Marketing	Energieträger I	Englisch	Wahlmodule	Grundlagenmodule I
	Aspects of the International Law of Resources and Environment	Marketing Intelligence	Regenerative Energieträger	Business Communication	Wahlpflicht, interdisziplinär	Mikroökonomische Theorie Physik für Naturwissenschaftler
2. Semester	Controlling	Geoökologie	Energieträger II	Rohstoffwirtschaft	Energiewirtschaft	Grundlagenmodule II
	Operatives und strategisches Controlling	Introduction to Earth System Science	Allgemeine Lagerstättenlehre	Rohstoffwirtschaft	Energiewirtschaft	Grundlagen BWL Grundlagen technische Chemie
3. Semester	Internationales Management	Vertiefungsmodule			Wahlmodule	Wahlmodule
	Internationales Management in Energie- und Ressourcenwirtschaft	Risikomanagement Business Analytics	Entwicklung u. Finanzierung von Großprojekten Management Science	Seminar zu Risiko- und Projektmanagement Seminar zu Business Modelling	Wahlpflicht, interdisziplinär	Freies Wahlmodul, interdisziplinär
4. Semester	Masterarbeit				Ergänzungsmodule	Wahlmodule
	Forschungsorientierte Masterarbeit				Empirische Sozialforschung und statistische Erhebung	Wahlpflicht, interdisziplinär
	Praxisorientierte Masterarbeit				Rhetorik, Präsentation und Verhandlungsführung	

Studienprogramm des neuen Masterstudiengangs Energie- und Ressourcenwirtschaft

bot also auf einen erheblichen Bedarf an einer ingenieur- und wirtschaftswissenschaftliche Disziplinen verknüpfenden, insoweit zielführend fächerübergreifenden Hochschulausbildung mit energie-/ressourcenwirtschaftlicher Ausrichtung. Mit Blick darauf weist der neue Masterstudiengang folgende Struktur auf:

- In den ersten beiden Semestern belegen die Studenten insgesamt zwölf Module. Abhängig von ihrer bisherigen Ausbildung besuchen diejenigen mit wirtschaftswissenschaftlichem (ingenieurwissenschaftlichem) Abschluss zwei rein ingenieurwissenschaftliche (wirtschaftswissenschaftliche) Grundlagemodule, um die gebotene Angleichung der fachspezifischen Wissensbestände zu gewährleisten.

- Im dritten Semester wählen die Studenten eine Spezialisierungsrichtung. Bislang sind die betriebswirtschaftlichen Vertiefungen Risiko- und Projektmanagement sowie Business Modelling möglich. Eine sukzessive Erweiterung der Wahlmöglichkeiten ist vorgesehen und soll insbesondere durch die Einbeziehung von Gastdozenten aus der Praxis erfolgen. Die Fakultätsleitung ist diesbezüglich selbst aktiv – bei gleichzeitiger Offenheit für Kontaktaufnahmen seitens interessierter Unternehmen.

- Im vierten Semester schreiben die Studierenden ihre Masterarbeit – wahlweise forschungsorientiert unter auch inhaltlicher Federführung eines Lehrstuhls oder praxisorientiert unter maßgeblicher Beteiligung eines Unter-

nehmens der Energie-/Ressourcenwirtschaft. Ergänzungsmodule zum wissenschaftlichen Arbeiten, zur Rhetorik und zum Umgang mit Medienvertretern vermitteln den Absolventen – gerade für Entscheidungsträger in der Energie-/Ressourcenwirtschaft – wichtige Zusatzqualifikationen und runden das Ausbildungsspektrum so zielorientiert ab.

Für Fragen zum Studiengang und bei Interesse an einer Dozententätigkeit in dessen Rahmen oder einer Praxispartnerschaft stehen die Autoren als Studiendekan und Inhaber beziehungsweise Mitarbeiter des Lehrstuhls für Investition und Finanzierung gern als erste Ansprechpartner zur Verfügung.

Kontakt: andreas.horsch@bwl.tu-freiberg.de

Fraunhofer und TU Bergakademie weihen in Freiberg neues Technikum ein

Ein neues Kristallisations- und Wafertechnikum wurde am Fraunhofer Technologiezentrum für Halbleitermaterialien THM in Freiberg am Mittwoch, dem 7. März 2012, feierlich eingeweiht. Das Fraunhofer THM ist eine gemeinsame Abteilung der Fraunhofer-Institute IISB in Erlangen und ISE in Freiburg und kooperiert mit der TU Bergakademie Freiberg und der Halbleiterindustrie, um den Standort Freiberg auf dem Gebiet der Elektronikmaterialherstellung zu unterstützen und zu stärken. Im neuen Technikum wird an Halbleitermaterialien mit verbesserten Eigenschaften und effizienteren Fertigungsmethoden sowie neuen Elektronikwerkstoffen geforscht. Das 2005 gegründete Fraunhofer-Technologiezentrum für Halbleitermaterialien THM ergänzt mit seiner Forschung die Entwicklungsaufgaben der in Freiberg konzentrierten Halbleiterindustrie. 16 Mitarbeiter werden in dem neuen Laborbereich beschäftigt sein, der 9,9 Millionen Euro gekostet hat. Forschungsschwerpunkte im neuen Technikum sind die kostengünstigere Herstellung von

Kristallmaterialien und daraus gefertigten Wafern, z. B. Silicium für die Mikroelektronik und Photovoltaik sowie Galliumnitrid für die Energieelektronik bei gleichzeitig verbesserten Materialeigenschaften. Leistungsfähige Halbleitermaterialien sind die Grundlage für eine moderne Energieversorgung, denn mit ihnen lässt sich Energie effizient und nachhaltig erzeugen, übertragen, wandeln und speichern.



Fraunhofer THM im Gizef St. Niklas Schacht Freiberg. Doktorand Iven Kupka vor der Kristallisationsanlage mit einem Siliciumblock

Wozu noch ein E-Learning-Projekt?

Ein (selbst-)kritischer Beitrag zum Einsatz
Neuer Medien an Hochschulen und zum Aufbau einer
Koordinationsstelle E-Learning an der TU Bergakademie Freiberg

Aline Bergert¹

Einleitung

Bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre – so lautet das Rubrum zur sogenannten dritten Säule Hochschulpakt. Die TU Bergakademie Freiberg hat an dem Bund-Länderprogramm mit einem Fördervolumen von 7.633.759 Euro (vgl. Pressestelle TU Bergakademie Freiberg 2011) teil. Koordiniert durch das Prorektorat Bildung umfasst das für die nächsten fünf Jahre avisierte Maßnahmenbündel MESIOR² (Abb. 1) neben der notwendigen fakultätsbezogenen Aufstockung von Personal- und Sachmitteln vor allem den Ausbau studienbegleitender Angebote (vgl. Meyer/Lemser 2011, S. 111). Dabei setzt man hierzulande wie an vielen anderen der insgesamt 186 geförderten Hochschulen (vgl. BMBF 2011) auf E-Learning.

Doch braucht die TU Bergakademie wirklich noch ein E-Learning-Projekt? Einerseits wurde hier, basierend auf dem großen Engagement einzelner Lehrender, in den letzten Jahren schon einiges getan. Andererseits gelten gerade die unmittelbare, sozusagen die *Face-to-face*-Interaktion zwischen Lehrenden und Studierenden und die hohe Praxisorientierung als die zentralen Alleinstellungsmerkmale guter Lehre an der Ressourcenuniversität. Müssten diese nicht eher ausgebaut werden? Und haben wir mit der Online-Plattform für Akademisches Lehren und Lernen (OPAL), der Videoplattform Magma und den Diensten des Deutschen Forschungsnetzes (DFN) nicht schon genügend E-Learning-Werkzeuge, die bisweilen durch eine komplizierte Handhabung und (urheber-)rechtliche Untiefen guter Lehre eher abträglich sind?

Diese Fragen sind vor dem Hintergrund aktueller Debatten um den Einsatz



Abb. 1: MESIOR an der TU Bergakademie Freiberg

Neuer Medien in der Hochschullehre sowie deren Erscheinungs- und Wirkformen durchaus berechtigt. Flossen doch, gefördert durch öffentliche und private Initiativen, seit Anfang der 1990er-Jahre (Abb. 2) mehrere hundert Millionen Euro in den Ausbau von E-Learning-Angeboten. (vgl. Haug/Wedekind 2009, S. 21ff.). **Fazit:** Während Medieneinsatz an den Hochschulen mittlerweile zum Alltag gehöre, sei E-Learning immer noch nicht in der Fläche angekommen (vgl. Haug/Wedekind 2009 und S. 32 und mmb/mmkh 2004, S. 1).

E-Learning: Begriff, Geschichte, Status quo

Wie kann und soll nun mit dieser Aussage umgegangen werden? Welche Implikationen ergeben sich für die TU Bergakademie? Hierzu fünf Thesen:

1) E-Learning ist ein Sammelbegriff.

Die Aussage, E-Learning sei trotz breiter Mediennutzung noch nicht in der Fläche angekommen, wird bisweilen relativiert, wenn man sich die Frage stellt, was E-Learning eigentlich ist. Ist es E-Learning, wenn Lehrende und Studierende via E-Mail kommunizieren, man powerpointgestützte Vorträge hält, seine Vorlesung auf YouTube veröffentlicht oder

Begriffserläuterungen

Blended Learning

dt. gemischtes Lernen – didaktisch sinnvolle Verknüpfung aus klassischem Präsenzunterricht und virtuellen Lernphasen (Selbststudium oder Gruppenarbeit)

Cross-Media-Angebote

Bildungsangebote, die unter einem inhaltlichen Schwerpunkt klassische mit neuen Kommunikationskanälen verknüpfen

Digital natives

dt. digitale Eingeborene – Menschen, die mit neueren Informations- und Kommunikationstechnologien (Computer, Internet, Handy etc.) aufgewachsen sind

E-Business

dt. elektronisches Geschäftsleben – Nutzung neuerer Informations- und Kommunikationstechnologien (Computer, Internet, Handy etc.) zur Unterstützung von Geschäftsprozessen

Face-to-face-Interaktion

dt. von Angesicht zu Angesicht – direkter, unmittelbarer Austausch zwischen zwei oder mehr Personen, die sich zur selben Zeit am selben Ort befinden

Hypertext

dt. Übertext – verknüpft netzartig Informationen und Objekte durch Querverweise (Verlinkungen)

Neue Medien

seit Mitte der 1990er-Jahre als Begriff für alle elektronischen, digitalen, interaktiven Medien und im Kontext Multimedia und Netzpublikation gebräuchlich

Wiki

hawaiischer Ausdruck für schnell – Hypertexte, deren Inhalte von Nutzern gleichermaßen konsumiert und produziert werden

¹ Dipl.-Berufspäd. Aline Bergert, Aline.Bergert@mz.tu-freiberg.de

² Das Kürzel MESIOR steht für „Maßnahmen für erfolgreiches Studieren an einer international orientierten Ressourcenuniversität“ (vgl. Meyer/Lemser 2011, S. 111).



Abb. 2: Förder- und Projektphasen von E-Learning an deutschen Hochschulen (vgl. Haug/Wedekind 2011, S. 21ff.)

erst, wenn komplexe Computersimulationen zum Einsatz kommen? Diese Fragen zeigen, wie heterogen die Vorstellungen zur Nutzung Neuer Medien unter der Chiffre E-Learning sind. Angesichts des sehr weiten Interpretationsspielraums kann man sagen, dass E-Learning oder elektronisch (engl. *electronic*) unterstütztes Lernen jegliche Art der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr-Lern-Interaktionen umfasst (vgl. Arnold/Killian/Thillhosen/Zimmer 2011, S. 17f. und Kerres 2001, S. 13f.). E-Learning ist also keine neue didaktische Schule, keine besondere Methode, kein Garant für moderne oder gute Lehre, sondern schlicht ein Sammelbegriff.

2) E-Learning spart nicht – oder Lehrqualität kostet.

Gerade wegen dieses weiten Interpretationsspielraums eignete sich E-Learning seit seinen Anfängen als Projektionsfläche für diffuse Erwartungen und als strategischer Platzhalter. Geleitet nicht nur durch pädagogische, sondern vor allem auch durch bildungsökonomische Zielstellungen (vgl. Wissenschaftsrat 1998, S. 13), meinte man, analog zum E-Business den Vorgang des Lernens mithilfe der Möglichkeiten des Internets zu revolutionieren und teilweise zu automatisieren (vgl. Schönwald 2007, S. 117f.).

Dieser E-Learning-Euphorie ist bereits Ende der 1990er-Jahre eine gewisse E-Ernüchterung gefolgt (vgl. Obermeier 2002). Der Grund: Den erhofften Einsparungen, die auf organisatorisch-administrativer Seite durchaus zu verzeichnen sind – man denke beispielsweise an die halbautomatisierte Einschreibung in Grundlagenveranstaltungen, wie sie an der TU Bergakademie Freiberg von einigen Lehrenden über OPAL praktiziert wird – stehen (zumindest mittelfristig) steigende Personalkosten gegenüber. Nicht nur der Umgang mit der Technik,

beispielsweise die Handhabung von Lernplattformen, sondern auch deren zielgerichteter Einsatz bedeutet einen erhöhten Schulungsbedarf für die Lehrenden. Punktuelle Investitionen und sogenannte Inselprojekte ohne begleitende Maßnahmen der Personal- und Organisationsentwicklung können dem Prinzip guter, nachhaltiger Lehre nur selten Gönne tun.

Dies spiegelt sich vor allem auch auf der Seite der Studierenden wider. Die Möglichkeit, multimedial aufbereitete Inhalte überall und immer abrufen zu können, führt in den seltensten Fällen zum motivierten Selbststudium, wie bereits 1998 durch den Wissenschaftsrat konstatiert (vgl. Wissenschaftsrat 1998, S. 1). Selbstorganisation will gelernt sein und bedarf – insbesondere angesichts der kaum zu überblickenden Informations- und Angebotsdichte – intensiver Anleitung, Moderation und Betreuung.

3) Der Einsatz von E-Learning lässt per se nicht auf hohe Lehrqualität schließen.

Gemäß diversen Studien gilt Medienutzung als ein Indikator für gute Lehre (vgl. Fogolin/Zinke 2011, S. 10). Aller-

dings sollte in diesem Sinne der Medieneinsatz nicht nur mit den Lehr- sondern auch den Lernzielen einer Veranstaltung korrespondieren. Denn wider besseres Wissen und Gewissen – wir leben ja in der Zeit des gemäßigten Konstruktivismus – lockt der Nürnberger Trichter mit seinen medialen Versuchungen (Abb. 3): „Ich habe ja alles erzählt, den ganzen Stoff auf unzähligen Folien mit vielen bunten Bildern präsentiert. Hat ja auch keiner zwischengefragt.“

Das Web 2.0 bietet hier durchaus neue Wege der intensiveren Zusammenarbeit, auch in der Präsenzlehre: Weg von den Lehrenden, hin zur Lernorientierung; nicht nur Inhalte im Frontalvortrag vermitteln, sondern situierte, d. h. praxisbezogene und aktive Auseinandersetzung ermöglichen. Dies wiederum, die gestaltende Beteiligung von Studierenden, kann in gewisser Weise eine Beschränkung des absoluten Expertenstatus bedeuten und ja – es ist auch eindeutig mit mehr Aufwand verbunden. Die bloße Verfügbarkeit von E-Learning-Werkzeugen und -diensten an Hochschulen bringt noch keinen Qualitätszuwachs.

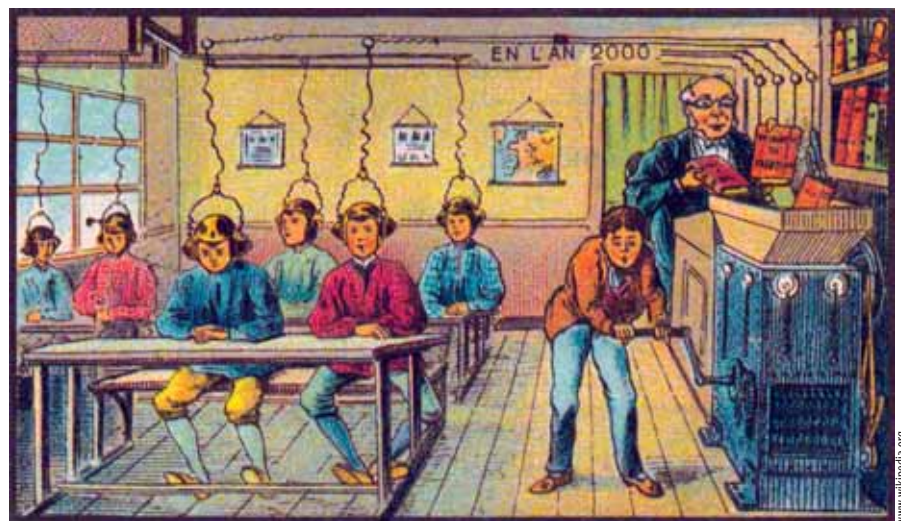


Abb. 3: (Elektronisches) Lernen im Jahr 2000 – so die Vorstellungen von Jean-Marc Côté aus dem Jahr 1899. Die damit verbundene Vision ist bis heute aktuell.

4) Neue Medien und ein altes Medienverständnis blockieren erfolgreiches E-Learning.

Der Gedanke, die Lehr-Lern-Prozesse technologisch zu unterstützen oder abzubilden, ist nicht neu. Man denke nur einmal an das Leserad (Abb. 4) oder den Einsatz von Rechenmaschinen (vgl. Dittler 2011, S. 18). Medien waren und sind konstitutiv für jegliche Art von Bildungsvorgängen.

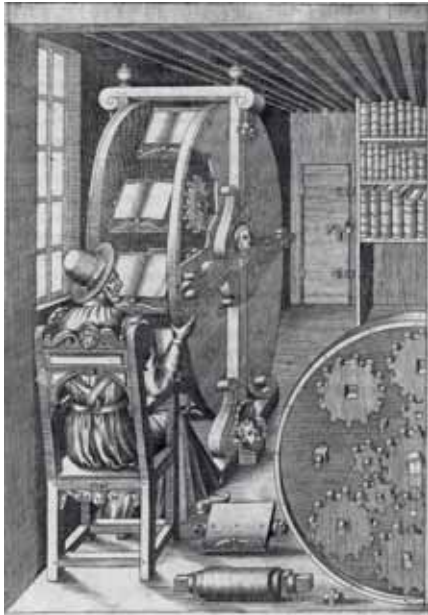


Abb. 4: Erfunden im 16. Jahrhundert durch Agostino Ramelli, ermöglichte dieses Leserad die Parallellektüre von bis zu zwölf Büchern – heute in Zeiten von Hypertexten alltäglich.

Die Entwicklung des E-Learnings steht in engem Zusammenhang mit Neuen Medien, die nicht nur eine größere Reichweite, sondern auch eine neue Qualität von Vermittlungs- und Aneignungsvorgängen ermöglichen. Diese liegt einerseits in der Multimedialität begründet; Schrift, Bild, Audio und Video werden durch PC, Notebook, Tablet und Co. in einem Medium vereinigt. Durch die Technologien des Web 2.0 sind Medien andererseits nicht mehr eindimensional, d. h. man konsumiert nicht nur vorgegebene Inhalte, sondern kann sie aktiv mitgestalten (vgl. O'Reilly 2005). Als Beispiele könnten hier Wikipedia oder Facebook dienen. So ergibt sich ein klarer Funktionswandel von alten hin zu den Neuen Medien in der Lehre. Dienten und dienen alte Medien in der Hauptsache der Veranschaulichung und Systematisierung von vorgegebenem Lehrstoff, so haben Neue Medien zusätzlich zur Unterstützung von Lernprozessen eine nicht unwesentliche Funktion bei der Generierung von Wissen (vgl.

Hensge 2005, S. 6). Das heißt, basiert E-Learning auf einem unreflektierten alten Medienverständnis, können die eigentlichen Potenziale kaum gehoben werden.

5) In der Abkoppelung Neuer Medien von der Hochschuldidaktik liegt der Kardinalfehler aktueller E-Learning-Debatten.

Die einleitend getroffene Aussage, dass E-Learning noch nicht zum Hochschulalltag gehört, Neue Medien jedoch allgemeine Anwendung finden, ist per se widersprüchlich. Bildung ohne Internet ist nicht mehr vorstellbar. Wahrscheinlich ist die Abkopplung des E-Learnings von der Hochschullehre und den ihr eigenen didaktischen Überlegungen als der eigentliche Kardinalfehler in der Debatte um die Integration Neuer Medien an deutschen Hochschulen anzusehen (vgl. Reinmann 2012, S. 64–67).

Gegenwärtige Rahmenbedingungen für die Umsetzung guter Lehre

Im Mittelpunkt steht mithin gar nicht die Frage nach Erfolg oder Misserfolg von E-Learning; vielmehr geht es in erster Linie darum, was und wie gute Hochschullehre eigentlich sein sollte. Dabei spielen neben unterschiedlichen Motiven, Bedürfnissen und Bedarfen von Lehrenden wie Lernenden vor allem gesellschaftspolitische Anforderungen eine erhebliche Rolle (Lebenswelt/Arbeitsmarktpolitik/Bildungssystem). Ausgangs- und Zielpunkt der Frage nach guter Lehre ist für alle beteiligten Akteure und Instanzen schlicht Studienerfolg.³

Dieser zeigt sich einerseits kurz- und mittelfristig als Output, also in den Leistungsergebnissen der Studierenden im Studium. Andererseits ist Studienerfolg langfristig zu denken, nämlich anhand des *Outcomes*, d. h. an der vielseitigen und flexiblen Verwertbarkeit von fachlichen und überfachlichen Studienerfahrungen im späteren Berufsleben und darüber hinaus (vgl. Klinger 2012, S. 2) bzw. – um noch eine andere aktuelle Bildungsdebatte zu streifen – in umfassen-

³ Da an dieser Stelle kein erschöpfender Aufriss der aktuellen Qualitätsdebatte für den Bereich Hochschullehre erfolgen kann (s. hierzu beispielsweise: von Richthofen, A./Lent, M.: Qualitätsentwicklung in Studium und Lehre. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2009), soll hier Studienerfolg als Ausgangspunkt (und gewissermaßen auch Endpunkt) guter Lehre stehen. Damit soll weder den Lehrenden eine einseitige Bringschuld aufgebürdet, noch den Studierenden eine utilitaristische Bildungsauffassung nähergelegt werden.

der Handlungskompetenz. Um die Leistungsergebnisse und den Erwerb von Handlungskompetenz gleichermaßen zu befördern, steht eine reflexive Auseinandersetzung sowohl mit den fachlichen Gegenständen des Studiums (in Theorie und Praxis) als auch mit Lehrenden und Kommilitonen im Mittelpunkt. Dem Lehrenden kommt dabei die Aufgabe zu, eine Lernumgebung bereitzustellen, in der Wissen nicht nur passiv vermittelt wird, sondern die eine interaktive Aneignung ermöglicht. Dieser Ansatz ist nicht neu, wenn auch zwischen Theorie und Praxis eine nicht unerhebliche Lücke klafft. Neu sind die Parameter, unter denen Lehrende und Lernende agieren – darunter besonders drei:

a) Wandel der Referentialität des Wissens

In der Diskussion um den Wandel zur Informations- und Wissensgesellschaft wird eine Verschiebung der Referentialität von Wissen deutlich. Bereits Platon und nach ihm Aristoteles unterscheiden in *episteme*, das wahrheitsbegründende Wissenschaftswissen, und *doxa*, das subjektive Alltags- oder Meinungswissen. Wie der Theologe und Medienwissenschaftler Norbert Bolz in einem Spiegelinterview 2006 unter dem Titel „Exhibitionismus leicht gemacht“ erklärte, ist gegenwärtig eine Aufwertung des Meinungswissens zu verzeichnen. Am Beispiel von Wikipedia macht er deutlich, dass das Wissen der Vielen, vor allem durch seine Aktualität – wie seinen Praxisbezug – durchaus mit streng wissenschaftlichen Abhandlungen mithalten kann. Wissenschaftswissen hat so mittlerweile ein Relevanz- und ein Dynamik-Problem. Das heißt nicht, dass Grundlagenvorlesungen durch ein Wikipedia-Studium ersetzt werden können oder sollen, jedoch ist ein offensiverer Umgang mit offensichtlichen Verwischungstendenzen vonnöten. Ist es zunächst ganz natürlich, eine Recherche oder Informationsgewinnung mit Wikipedia zu beginnen, wird es vor allem in wissenschaftlichen Kreisen ungern gesehen, diese Referenz anzugeben. Als Ergebnis sucht man eine andere, möglichst seriöse Quelle, die dasselbe aussagt oder – viel verheerender – man verschweigt die eigentliche Herkunft der Informationen. Angemessener und zudem im Sinn guter Lehre scheint es, diese Tendenzen kontrolliert in formale Bildungsprozesse zu integrieren und gleichzeitig an der öffentlichen Meinungsbildung mitzuwirken.

b) Formales und informelles Lernen

Eine fundierte Grundlagenausbildung ist unersetzbar und gerade im Ingenieurbereich lebenswichtig. Doch in welchen Situationen wird das essenzielle, grundlegende Wissen überhaupt erworben? In einzelnen Studien wurde bereits um die letzte Jahrtausendwende festgestellt, dass lediglich 20 Prozent des (berufs-)relevanten Wissens in formalen Lehr-Lern-Umgebungen erworben werden. Die restlichen 80 Prozent lernt man im informellen Kontext und *on the job* (de Vries/Brall/Lukosch 2009, S. 123). In Bezug auf gute Lehre heißt das, dass – wo auch immer möglich – zu informellem Austausch angeregt werden sollte. Dieser passiert eben heute zu großen Teilen auf sozialen Plattformen im Internet. Facebook hier kategorisch auszuschließen, wäre ein fataler Fehler (vgl. Hörber/Schuster 2012, o. S.).

c) Wandel von Bildungsstrukturen

In diesem Zusammenhang muss das Stichwort Bologna noch einmal bemüht werden. Eigentlich wäre der zugehörige Prozess 2010 abzuschließen gewesen. Aber während des Vorantreibens der Modularisierung von Studiengängen ist die eigentliche Zielstellung etwas außer Acht geraten. Ziel war es ursprünglich nicht, junge Menschen möglichst schnell mit einem akademischen Abschluss auf den Arbeitsmarkt zu bringen, sondern sie im Studium bereits beschäftigungs- und berufsfähig zu machen. Hier besteht an vielen Stellen noch Nachbesserungsbedarf, nicht nur was die einzelnen Studienordnungen betrifft (EHEA Ministerkonferenz 2012). Ergo: Gute Lehre denkt immer auch an die spätere Beschäftigung und Beruflichkeit.

Verschärft durch den demografischen Wandel, muss sich die TU Bergakademie als Universität und gesellschaftliche Gestaltungsinstanz diesen Herausforderungen zwangsläufig stellen. Auch ein stärkeres Eingehen auf die Ansprüche und Vorstellungen potenzieller Studierendengruppen aus dem Kreise der *Digital natives* sollte dabei Beachtung finden – alles ganz im Sinn von Nachhaltigkeit, Innovation und Anziehung (TU Freiberg 2012).

E-Learning als Dehnungsfuge für gute Lehre

Angesichts der geschilderten Herausforderungen und Potenziale sollte E-Learning als eine Art Dehnungsfuge für gute Lehre an Hochschulen betrachtet und

eingesetzt werden. Das würde für die TU Bergakademie bedeuten,

- eine engmaschige, persönliche und individuelle Betreuung,
- eine den meisten Studiengängen genuine Praxis-, Handlungs- und Berufsorientierung sowie
- die Selbstverpflichtung zur ganzheitlichen (Ingenieur-)Bildung nicht nur beizubehalten, sondern mithilfe des E-Learnings auszubauen. Wie kann dies nun aussehen?

Zentrale Zielstellung ist es, die für beide Seiten äußerst gewinnbringende Zeit der Diskussion und der aktiven Auseinandersetzung in Vor-Ort-Veranstaltungen durch E-Learning zu intensivieren und nicht komplett in den virtuellen Raum zu verlagern. Wie das gehen kann, zeigen aktuell drei Hochschullehrer aus Bielefeld, Marburg und Heidelberg für die Bereiche Mathematik und Informatik. Sie praktizieren die Methode des *Flipped classrooms* – zu deutsch, des vertauschten Klassenraums. Die Idee dabei: Statt wöchentlich passiv im Hörsaal den Grundgenvorlesungen beizuwohnen, setzen sich die Studierenden mittels Videoaufzeichnung der Vorlesung und didaktisch abgestimmter Zusatzmaterialien – wie Lückenskripten, Beispielen, weiterführenden Links u. ä. – im angeleiteten Selbststudium aktiv mit den theoretischen Inhalten auseinander. Die eigentliche Vorlesungs- und damit Qualitätszeit wird dann zum gemeinsamen Problem- und Aufgabenlösen genutzt (PH Heidelberg et al. 2012).

Qualitätszeit kann aber auch niedrigschwelliger gewonnen werden, indem man beispielsweise administrative Aufgaben wie Einschreibungen, Aufgaben- und Terminvergabe oder auch kurze Nachfragen über das jeweilige Lernmanagementsystem erledigt. Für Sachsen – und damit auch Freiberg – steht dabei OPAL zur Verfügung.

Bezüglich der veränderten Referentialität von Wissen: Man muss kein Freund der bereits mehrfach genannten großen Online-Enzyklopädie werden, aber man kann, insbesondere für Grundlagenveranstaltungen, das Wiki-Konzept adaptieren. Die Kommunikation und Kollaboration über Wikis, sei es in OPAL oder außerhalb, hat für Studierende nicht nur einen Wiederholungseffekt, sondern ermöglicht den Aufbau und die Festigung vernetzten Wissens und kann en passant auch noch Team- und Kritikfähigkeit schulen. Auch die Möglichkeit, Wissen-

schaftswissen in das Meinungswissen quasi einzuspeisen, sollte nicht außer Acht gelassen werden.

Die Kombination von formalem und informellem Lernen wie auch die Verstärkung von Praxis- und Handlungsorientierung kann erreicht werden, indem Präsenzzeiten und Zeiten des Selbststudiums didaktisch aufeinander abgestimmt werden. Spezielle *Blended-Learning*-Szenarien aus dem Bereich der beruflichen Bildung wie beispielsweise das Konzept der Fernausbildung, (vgl. Schulz 2005, S. 10–34) geben hierfür eine Anleitung. Das Prinzip klingt einfach: Handeln – Lernen – Handeln. Zu Beginn des Semesters bekommen die Studierenden eine komplexe (bisweilen praxisnahe) Aufgabe, die sie allein oder im Team vor Ort im Beisein des Lehrenden lösen. Anhand dieser Aufgabe bekommen nicht nur die Lehrenden einen Eindruck vom Wissensstand der Studierenden. Auch die Lernenden bemerken selbst und durch das Feedback des Lehrenden, wo ihre Defizite – oder pädagogisch korrekter – Lernbedarfe liegen. Dementsprechend kann der Dozent Aufgaben für eine nun folgende Selbststudienphase ausgeben, die beispielweise durch Tutoren präsent oder via OPAL virtuell, moderiert und begleitet wird. Die Motivation dafür, diese Selbststudienphase ernst zu nehmen, ergibt sich nicht zuletzt durch das zweite Handeln in der Abfolge Handeln-Lernen-Handeln. Hier sehen sich die Lernenden abermals mit einer komplexen (Handlungs-)Aufgabe konfrontiert, die im Vorfeld der Klausur die Funktion einer Lernsachstandskontrolle hat. Auf die geschilderte Art kann je nach Lehrveranstaltungsthema eine stärkere Berufsorientierung verankert werden.

Eine andere Möglichkeit – in Freiberg häufig eingesetzt – ist es, Experten aus der Wirtschaft einzubinden. Diese lassen die Studierenden an ihren aktuellen praktischen Erkenntnissen teilhaben. Warum aber solche Experten anreisen lassen? Durch Nutzung des durch das Deutsche Forschungsnetz (DFN) bereitgestellten Virtuellen Klassenraums steht der TU Bergakademie ein Werkzeug zur Gestaltung interaktiver Videokonferenzen zur Verfügung. Das heißt, Studierende können nicht nur Fragen stellen, sondern mit den Experten auch gemeinsam an Dokumenten arbeiten. Möglichkeiten didaktischer wie technischer Art gibt es an der TU Bergakademie Freiberg viele;

wäre da nicht die begrenzte Ressource der Lehrenden ...



Um diese Potenziale im Sinne der vielbemühten Schlagworte Nachhaltigkeit, Innovation und Anziehung sichtbar und nutzbar zu machen, genügt es nicht, nur die entsprechenden Werkzeuge zur Verfügung zu stellen. Eine solche Vorgehensweise schafft auf die Dauer lediglich weitere Akzeptanzprobleme – sowohl aufseiten der Studierenden wie auch der Lehrenden. Letztere bedürfen einer umfassenden und vor allem kontinuierlichen Beratung und Betreuung, was die Transformation ihrer Lehre betrifft (vgl. Haug/Wedekind 2009, S. 34f.). Vor diesem Hintergrund haben sich die hiesige Universitätsbibliothek und das Universitätsrechenzentrum als zentrale Dienstleister der Technischen Universität zusammengetan. Anspruch der Initiative war es, nicht noch ein E-Learning-Projekt aus der Taufe zu heben, sondern am Medienzentrum der Bergakademie eine neue und umfassende Dienstleistung bzw. Einrichtung zu etablieren. Durch die im Juli eingerichtete Koordinationsstelle E-Learning sollen die vorhandenen E-Learning-Aktivitäten gebündelt und eine effizientere Nutzung teils bereits vorhandener Ressourcen, Werkzeuge und Dienste angestoßen werden.

Strategisch ist die interdisziplinär angelegte und entsprechend durch eine Mediendidaktikerin und einen Medientechniker besetzte Koordinationsstelle eng an das Prorektorat Bildung und den Beirat zur Qualitätssicherung Dritte Säule Hochschulpakt angebunden. Praktisch bedeutet dies, gemeinsam mit den Lehrenden und Studierenden in den einzelnen Fakultäten zu ermitteln, was gute Lehre an der TU Bergakademie gegenwärtig ist und zukünftig ausmachen soll und wie E-Learning hierzu beitragen kann. Aus diesen Erkenntnissen wird dann eine mittel- und langfristige E-Learning-Strategie bzw. ein didaktisches (und explizit kein bildungsökonomisches) Konzept entwickelt.

Operativ steht, dem Selbstverständnis unserer Universitätsbibliothek, des Universitätsrechenzentrums und des Medienzentrums folgend, eine umfassende Serviceorientierung im Vordergrund. Lehrende, aber auch Studierende finden umfassende Information, Beratung und

Unterstützung – sei es bei der Handhabung von OPAL, der Gestaltung interaktiver Vorlesungsskripte, bei der Aufnahme und Bereitstellung von *E-Lectures* oder bei der Modellierung umfassender *Blended-Learning*- und/oder *Cross-Media*-Angebote. Neben der technischen Handhabung und der didaktischen Ausgestaltung von Lehr-Lern-Umgebungen werden auch urheber- und medienrechtliche Fragestellungen diskutiert. Der erste Meilenstein, der Aufbau eines First-Level-Supports für OPAL, wurde bereits realisiert. Die intensive Nutzung dieses Dienstes zu Semesterbeginn sowie die regelmäßige Begleitung und Unterstützung von Lehrveranstaltungen in insgesamt drei Fakultäten zum Wintersemester 2012/2013 lässt vermuten, dass E-Learning und die TU Bergakademie doch irgendwie zusammengehören ...

Literatur

- Arnold, P./Kilian, L./Thillosen, A./Zimmer, G.: Handbuch E-Learning: Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag 2011.
- Bolz, N.: Exhibitionismus leicht gemacht. In: Der Spiegel Jg. 59/2006 Heft 29, S. 68 ff.
- Bundesministerium für Forschung und Bildung – BMBF (2011): Qualitätspakt Lehre. Einsatz für optimale Studienbedingungen. URL: <http://www.bmbf.de/de/15375.php> - Download vom 18.09.2012.
- De Vries, P./Brall, S./Lukosch, H.: Fokussierung, Strukturierung und Vernetzung informellen Lernens in Unternehmen. In: Bildungsforschung Jg. 6/2009, Heft 1, S. 121-137.
- Dittler, U.: E-Learning: Lernen, Wissen und Bildung auf dem Weg in die Postmedialität. In: Dittler, Ullrich: E-Learning. Einsatzkonzepte und Erfolgsfaktoren des Lernens mit interaktiven Medien. 3., komplett überarbeitete Auflage. München: Oldenbourg Verlag 2011.
- European Higher Education Area – EHEA Ministerial Conference (2012): Making the Most of Our Potential: Consolidating the European Higher Education Area. Bucharest Communiqué. URL: http://www.bmbf.de/pubRD/Bucharest_Communique_2012.pdf - Download vom 07.10.2012.
- Fischer, H./Schwendel, J.: Zielstellung, Inhalt und Struktur des Buches. In: Fischer, Helge/Schwendel, Jens [Hrsg.]: E-Learning an sächsischen Hochschulen. Strukturen – Projekte – Einsatzszenarien. Dresden: TUDpress 2009, S. 1-4.
- Fogolin, A./Zinke, G.: Mediennutzung als Indikator für Ausbildungsqualität. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis. Themenheft: Bildungspersonal und Medieneinsatz. Jg. 34/2005 Heft 6, S. 10-14.
- Haug, S./Wedekind, J.: „Adresse nicht gefunden“ – Auf den digitalen Spuren der E-Teaching Förderprojekte. In: Dittler, Ulrich/Krameritsch, Jakob/Nistor, Nicolae/Christine Schwarz/Thillhosen, Anne [Hrsg.]: E-Learning eine Zwischenbilanz. Kritischer Rückblick als Basis eines Aufbruchs. Münster: Waxmann Verlag 2011, S. 19-38.
- Hensge, K.: Rahmenbedingungen des Ausbildungshandelns verändern sich. Qualifizierungs-

anforderungen und Lernkulturen beim Einsatz neuer Medien In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis. Themenheft: Bildungspersonal und Medieneinsatz. Jg. 34/2005 Heft 6, S. 5-9.

- Hörber, G./Schuster, A.: Pro und Contra der Einbindung von Social Networks in die Lehre bei berufsbegleitenden Studiengängen, Vortrag gehalten im Rahmen der 7. Tagung des Hochschulverbandes Distanz Learning. Brandenburg am 11.06.2012.
- Kerres, M.: Multimediale und telemediale Lernumgebungen: Konzeption und Entwicklung. 2. überarbeitete Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2001.
- Klinger, M. (2009): Merkmale guter Hochschullehre: Definitionsversuche und Operationalisierbarkeit. In: bwpat Nr. 21. URL: http://www.bwpat.de/ausgabe21/klinger_bwpat21.pdf – Download vom 29.09.2012.
- Institut für Medien- und Kompetenzforschung – mmb/MultimediatelekomHamburg – mmkh(2004): E-Learning an deutschen Hochschulen – Trends 2004. URL: http://www.mmkh.de/upload/dokumente/texte/studie_elearning_trends_2004_final.pdf – Download vom 03.10.2012.
- Meyer, D.C./Lemser, T.: Studienbedingungen und Lehrqualität: Erfolg in erster Runde. „Dritte Säule Hochschulpakt“ schafft Spielräume. In: ACAMONTA. Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg. Jg. 18/2011, S. 111.
- O'Reilly, T. (2005): What ist Web 2.0. URL: <http://oreilly.com/web2/archive/what-is-web-20.html> - Download vom 06.10.2012.
- Obermeier, B. (2002): E wie Ernüchterung. In: FAZNet. URL: <http://m.faz.net/aktuell/wirtschaft/karrieresprung-e-wie-ernuechterung-160207.html> - Download vom 03.10.2012.
- Pädagogische Hochschule Heidelberg/Philipps Universität Marburg/Fachhochschule Bielefeld (2012): Vorlesung verkehrt, aber richtig. Hochschullehrer definieren alte Lehrkonzepte neu. URL: <http://www.uni-marburg.de/aktuelles/news/2012b/invertedclassroom> - Download vom 05.11.2012.
- Pressestelle der TU Bergakademie Freiberg – Riedel, C. (2011): TU Bergakademie Freiberg verbessert Studienbedingungen. URL: http://tu-freiberg.de/presse/aktuelles/aktuelles_detail.html?Datensatz=1419 - Download vom 06.10.2012.
- Reinmann, G. (2012): Hendl Tipp: Finger weg von digitalen Medien in der Hochschullehre? In: HDS Journal, 2012. Interdisziplinäre Perspektiven guter Lehre. URL: https://www.hds.uni-leipzig.de/fileadmin/media/HDS_Journal_1-2012_Tagungsedition.pdf – Download vom 28.09.2012.
- Schönwald, I.: Change Management in Hochschulen. Die Gestaltung soziokultureller Veränderungsprozesse zur Integration von E-Learning in die Hochschullehre. Köln: Josef Eul Verlag 2007.
- Schulz, M.: Fernausbildung ist mehr ... Auf dem Weg vom technologischen Potential zur didaktischen Innovation. In: Schulz, M./Glump, H.: Fernausbildung ist mehr ... Auf dem Weg vom technologischen Potential zur didaktischen Innovation. Augsburg: Ziel Verlag 2005, S. 10-38.
- TU Bergakademie Freiberg (2012): Hochschulentwicklungsplan TU Bergakademie Freiberg 2012 – 2020. URL: <https://tu-freiberg.de/intranet/strategie/> - Download vom 28.09.2012.
- Wissenschaftsrat: Empfehlung zur Hochschulentwicklung durch Multimedia in Studium und Lehre. Mainz: o. V. 1998.

Wohnst du noch oder lebst du schon?

So wohnt es sich als Student in Freiberg

Bastian Fermer

Nicht nur vor dem Beginn des Studiums, auch während der Semester an der Uni spielt die Suche nach dem geeigneten Wohnraum bei den Studenten eine Rolle. Und da viele Studenten sich mit der Art der Wohnform – alleine in einer Wohnung, mit anderen in einer WG oder in einem Wohnheim – auch ausprobieren, was am besten zu ihnen passt, ziehen sie während ihrer Studienzzeit mindestens einmal um. Zu den wohl am häufigsten gewählten Wohnformen haben wir Freiburger Studenten über ihre Erfahrungen erzählen lassen:

Wohnform 1: Alleine wohnen

Das Alleine-Wohnen ist nicht unbedingt ein Zeichen von mangelnder Sozialkompetenz oder eines gut gefüllten Geldbeutels, sondern für viele Studenten die einfachste Variante, überhaupt erst einmal in Freiberg anzukommen. Insbesondere Studenten aus entfernteren Gegenden Deutschlands haben nicht die Möglichkeit, sich vor ihrem Studienbeginn tagelang von WG-Casting zu WG-Casting zu hangeln – ohne gesicherte Aussicht, dabei ein Zimmer abzubekommen. Deswegen ziehen sie es vor, stattdessen an einem Tag ein paar Wohnungsbesichtigungstermine zu vereinbaren und sich dann für eine Wohnung zu entscheiden. Dieses Vorgehen verfolgte Friederike, die aus der Nähe von Braunschweig nach Freiberg zog, auch wenn sie das nicht aus Überzeugung tat: „Meine erste Wohnung hier habe nicht ich gefunden, sondern

meine Mutter. Ich wäre sehr gern in eine WG gezogen, doch meine Eltern haben mir klargemacht, dass ich ja nicht mal eben nach Sachsen fahren und mir eine nette WG suchen könne. Ich solle erst einmal ein Einzelappartement nehmen, und dann könne ich ja immer noch in eine WG ziehen.“ Der Plan ging auch auf: Die Einzimmerwohnung war schnell gefunden, lag sehr zentral zwischen allen Unigebäuden und der Innenstadt. Für Friederike wurde aus dieser Wohnform trotzdem nur ein Provisorium, denn der Freiburger Winter setzte der Wohnung übermäßig hart zu, erinnert sich die Geoökologie-Studentin: „Leider hatte ich im ersten Winter dann auch Eis an den Innenseiten meiner eigentlich so sehr geliebten Fensterfront. Also beschloss ich, vor dem nächsten Winter auszuziehen, zumal die Wohnung auch nicht so billig war, dass man ein Auge hätte zudrücken können. Zudem hatte die Studentin in der Zwischenzeit ihren Freund kennengelernt, und so wurde aus dem Wohnen alleine bei der Gelegenheit gleich das Leben zu zweit.

Das Wohnen zu viert strebt Geotechnik/Bergbau-Student Lukas nach seinem ersten Studienjahr in Freiberg an. Davor stand auch bei ihm das Wohnen alleine. Auch der gebürtige Paderborner verfolgte zum Studienstart die Strategie, erst einmal etwas schnell für sich zu finden und dann im Studium die geeigneten Leute für eine WG-Gründung zu suchen.

So zog Lukas in eine Appartementwohnung in den Wohnpark Gentilly an der Chemnitzer Straße, wo das Alleine-Wohnen allerdings nicht mit Vereinsamen gleichzusetzen ist: „Eigentlich war die Zeit im Wohnpark nett, da auch die anderen Bewohner meist Studenten sind und man im Grünen wohnt. Alles in allem ist der Wohnpark eine gute Sache, wenn man kurzfristig nach einer schönen – wenn auch nicht unbedingt günstigen – Wohnung sucht.“

Wohnform 2: Im Wohnheim wohnen

Für jeden fünften Studenten hat das Studentenwerk Freiberg einen Wohnheimplatz. Mit dieser Versorgungsquote von 20 Prozent steht man eigentlich gut da, aber nichtsdestotrotz gibt es natürlich mehr Anfragen als Plätze – auch in Freiberg. Das mag auch daran liegen, dass die Studentenwohnheime hier zentral auf dem Campusgelände liegen und somit der Weg zwischen eigenem Zimmer und der Mensa, der Bibliothek oder der nächsten Vorlesung nicht sehr weit ist: Wer im Wohnheim wohnt, fällt aus seiner Tür quasi in das Audimax. Neben der zentralen Lage ist auch der Preis für ein Wohnheimzimmer im Vergleich zu anderen Wohnformen sehr günstig, zudem sind Leistungen wie ein Internetanschluss inklusive.

Für viele Erstsemestler bleibt der Wohnheimplatz zum Studienstart jedoch ein Traum, weil sie sich zu spät darum bewerben. Gilt für den Studienplatz an der TU Bergakademie, dass eine Bewerbung für einen Studiengang bis Ende September für das tags darauf beginnende Wintersemester möglich ist, müssen Bewerbungen für ein Wohnheimzimmer



beim Studentenwerk viel frühzeitiger abgegeben werden, um Erfolgchancen zu haben. Diese Erfahrung hat auch Stefan gemacht, der im Rückblick über seine Naivität nur lachen kann, sich erst ein paar Wochen vor dem Studienstart um ein Zimmer bemüht zu haben: „Meine Erfahrung sagt mir mittlerweile, dass das Ganze damals viel zu spät war. Eine Faustformel besagt nämlich, dass spätestens ein halbes Jahr vor Studienbeginn ein Antrag abgeschickt werden sollte. Selber empfehle ich jedem, diesen bereits an die jeweilige Universität zu stellen, sobald an ein Studium dort gedacht wird. Dann entstehen auch keinerlei Probleme, denn das Zimmer kann praktisch jederzeit zurückgegeben werden. Leider kannte ich diese Weisheit damals noch nicht.“ Dabei ist das Wohnen im Wohnheim für Erstsemester sicherlich eine gute Variante, um in Freiberg anzukommen, findet der Network-Computing Student aus der Nähe von Dresden: „Für einen fairen Preis bekommt man ein möbliertes Zimmer sowie eine Heizungs-, Wasser- und Stromflatrate. Vor allem als Fremder bzw. Neuling kann mit einem Wohnheimplatz nicht viel falsch gemacht werden. Für den neuen Studenten entsteht dadurch kein organisatorischer und finanzieller Aufwand. Wer mit der Einschränkung Zimmergröße und Lautstärke klarkommt, fährt hiermit gut durch sein Studium.“

Das kann Susann nur bestätigen. Die Masterstudentin wohnte einige Semester in einem Wohnheim in der Agricolastraße. Auch sie begeistern das Rundum-Sorglos-Paket mit Strom und Wasser im Mietpreis von 180 Euro und der geringe Aufpreis von wenigen Euro für das In-

ternet, was die Einbußen beim Komfort ausgleicht: Obwohl mit allen Möbeln ausgestattet, war das Platzangebot recht spärlich, vor allem in der Miniküche. Doch nicht nur die lauten Nachbarn, auch die eigenen Mitbewohner einer Wohnheimwohnung können für das Wohngefühl ein Risiko bedeuten, immerhin kann man sich diese im Wohnheim nicht selber aussuchen. Das Zusammenwürfeln von Studenten in den Heimen ist daher immer wieder ein Experiment à la Big Brother, was nicht nur für Soziologen interessant wäre, sondern erst recht für die Bewohner selbst, die mit fremden Menschen auf einmal Bad, Küche und im besten Fall auch ihr Leben teilen. Susann kam mit ihrer Mitbewohnerin gut klar, obwohl sie sich vorher nicht gekannt hatten. Vielleicht liegt aber auch genau darin das Geheimrezept für ein erfolgreiches Zusammenleben; schließlich haben auch schon viele gute Freundschaften das Zusammenwohnen eben nicht verkräftet.

Wohnform 3: In einer Wohngemeinschaft leben

Diese Wohnform ist sicherlich die beliebteste unter den Studenten, auch in Freiberg. Schließlich ermöglicht die WG den Einzug in eine normale Wohnung, die zum Beispiel attraktiv in der Altstadt liegen kann, was für Studenten seinen ganz eigenen Charme hat. So beschreibt Studentin Friederike ihre Wohnung – sie lebt zusammen mit ihrem Freund – in der Nähe des Theaters so: „Unter uns wohnen Studenten, über uns ein junges Pärchen. Wenn nachts das Fenster offen steht, kann man die Gespräche der Nachbarn mithören. Die Wohnung hat ein kleines Bad, wo die Sonne einem morgens

ins Gesicht scheint.“ Dabei hatte die Geoökologie-Studentin auch schon eine ganz andere Erfahrung außerhalb der Altstadt in der ziemlich befahrenen Schönleberstraße gemacht. Der Wohnungsmarkt, egal ob für eine Pärchen-WG oder eine WG von Freunden, ist eben ebenso vielfältig wie undurchsichtig. Von positiven und negativen Geschichten kann daher fast jeder Student berichten. Geotechnik-Student Lukas freut sich auf die für ihn beginnende WG-Zeit, die nach einem Jahr in einem kleinen Appartement auch ungeahnte Großzügigkeit bedeutet: „Wir werden in den Genuss einer großen Küche, zweier Badezimmer, eines großen Wohnzimmers und eines Gartens kommen. Gerade alltägliche Dinge wie das Kochen machen gleich viel mehr Spaß, wenn man es nicht nur für sich alleine tut.“ Eine WG-Neugründung ist allerdings kein leichtes Unterfangen, weiß Stefan: „Wenn man mit mehreren Leuten eine neue WG aufmachen und eine gute Wohnung haben will, muss einem das Glück echt hold sein. In der Regel ziehen dort nämlich immer nur einzelne Leute aus, sodass die Wohnung über Jahre in WG-Hand ist.“

Am Ende stehen die unterschiedlichen Wohnformen für viele Dinge: Für den einen ist es eine Geldfrage, für den anderen eine Geschmackssache, für einige eine Frage der Lebensphilosophie. Schließlich gibt es ja auch noch die Studenten, die eigentlich immer noch zu Hause bei Mama wohnen, weil sie bereits am Donnerstagabend Freiberg verlassen und in die nahe Heimat zurückkehren. Diese Studenten haben wieder ein ganz eigene Antwort auf die Frage: Wohnst du noch oder lebst du schon?



Laus-Erik Gätner / TU Bergakademie Freiberg

Kein großer Ärger mit Bologna

Übergang zwischen Bachelor und Master funktioniert

Susann Dreikorn

Im Zuge der Bologna-Reform vor genau zehn Jahren wurde bekanntlich das Bachelor/Mastersystem eingeführt, das über die Jahre das althergebrachte Diplom als Studienabschluss in den meisten Studiengängen ablöste. Doch immer noch führt das Thema zu kontroversen Diskussionen, und viele wollen sich einfach nicht mit dem Bachelor anfreunden: „Bulimie-Studieren“ und „Damit findet man doch keinen Job“ – das sind die Klischees, die über den Bachelor existieren. Ich habe von 2008 bis 2012 ein Bachelorstudium im Fach Wirtschaftsingenieurwesen hier in Freiberg absolviert und hatte durch die frische Umstellung des Systems ein wenig zu kämpfen. Dennoch hat alles geklappt – und zwar in der Regelstudienzeit. Nun habe ich den Master in einem anderen Fach begonnen und möchte meine Eindrücke aus dem Bürokratie-Wirrwarr schildern.

Natürlich hatte ich die Vorurteile über den Bachelor gehört, aber es gab keine große Wahl mehr, denn das Diplom war fast überall abgeschafft. Dennoch machte ich mir keine allzu großen Sorgen: Studieren ist schließlich Studieren. Die Orientierungsphase im Studium, also

das erste und das zweite Semester, verliefen reibungslos. Man hatte viele Prüfungen zu schreiben, aber wenn man sein Studium schnell absolvieren möchte, musste man dies doch auch im Diplomstudiengang. „Rumgammeln“ oder „Prüfungen schieben, weil Angst davor“ gab es bei mir nicht, weswegen ich auch alle Rausschmeißer-Klausuren wie die in Technischer Mechanik oder Makroökonomie glatt bestanden habe. In der Vertiefungsphase (ab dem 3. Semester) wählte ich nun die Studienrichtung Erdöl- und Erdgasgewinnung und Tiefbohrtechnik. Nur sieben meiner ehemals 100 Kommilitonen taten dies, was aber nicht unbedingt schlecht war. Man rückte enger zusammen. So vergingen die Semester problemlos, und es gab in meiner Vertiefungsrichtung sogar Kommilitonen, die das Bachelorstudium schon nach sechs Semestern abschließen konnten. Ich kann demnach gar nichts Schlechtes am Bachelor finden. Man muss sich vielleicht etwas mehr anstrengen, was aber meiner Meinung nach nichts Nachteiliges ist, denn für einen Universitätsabschluss sollte man doch etwas leisten. Der unschlagbare Vorteil des Bachelors

ist seine Internationalität: Meine Kommilitonen zum Beispiel konnten problemlos an ausländische Universitäten wechseln, und auch ich konnte bei meinem Fachpraktikum im Ausland meiner Firma besser verständlich machen, was ich da in Deutschland eigentlich studiere. Meine Bachelorarbeit schrieb ich am Lehrstuhl für Geoströmungstechnik über Geothermie. Nach erfolgreich bestandener Bachelorprüfung begann das Masterstudium offiziell. An der TU Bergakademie darf man, um einen leichteren Übergang zu finden, schon ein Semester im Master studieren, ohne den Bachelorabschluss bereits in der Tasche zu haben. Bedingung ist aber, dass man den Bachelor innerhalb dieses Semesters abschließt. Ich entschied mich für einen anderen Studiengang, nämlich für Technologiemanagement, um mich mehr auf die regenerativen Energien spezialisieren zu können. Ich kenne aber auch einige Kommilitonen, die nach dem Bachelor direkt ins Arbeitsleben gestartet sind und die diesen Schritt nicht bereuen. Der Ingenieurmangel, der derzeit herrscht, macht die Angebote mancher Firmen so lukrativ, dass man als Student nicht widerstehen kann. Man muss für sich persönlich entscheiden, ob man sich für den Berufsalltag schon bereit und gerüstet sieht. Resümierend kann ich sagen, dass alles Naserümpfen über die Bologna-Reform hier in Freiberg – zumindest für mich – nicht nachvollziehbar ist.

Studieren im fernen Osten?

Warum ostdeutsche Hochschulen die besseren sind

Bastian Fermer

Im Rahmen des Hochschulpakts 2020 fällt den ostdeutschen Hochschulen eine besondere Rolle zu: Sie sollen die durch Geburtenknick und Abwanderung fallende Nachfrage nach Studienplätzen von Schulabgängern aus den eigenen Bundesländern durch mehr Studienanfänger aus den alten Bundesländern ausgleichen und damit nicht nur ihren Bestand sichern, sondern gleichzeitig auch die Hochschulen im Westen entlasten, bei denen die Lehrqualität unter der Masse der Bewerber spürbar leidet. So unternimmt auch die TU Bergakademie in etlichen Projekten Anstrengungen, mehr Bewerber und Studienanfänger aus den alten Bundesländern zu gewinnen, sowohl im

Rahmen ihrer hauseigenen Kampagne „Zeit für neue Pioniere“ als auch in dem der Landeskampagne „Pack dein Studium. Am besten in Sachsen“ sowie in der Kampagne der Hochschulinitiative neue Bundesländer „Studieren in Fernost“. Und das mit Erfolg: Die Zahl der Studienanfänger aus den alten Bundesländern ist zum Wintersemester 2011/12 auf ein Allzeithoch gestiegen. Gut 20 Prozent der Erstsemester kamen bereits aus den alten Bundesländern. Zu den Studenten, die für ihr Studium ihre Heimat einige hundert Kilometer hinter sich gelassen haben, gehören Lukas Fahle und Friederike Kutz. Für die ACAMONTA schildern beide, warum sie sich für ein Studium in

Freiberg entschieden haben und wie sie das Leben hier im Unterschied zu dem in ihrer alten Heimat empfinden.

Von Paderborn nach Freiberg

So mal eben nach Hause geht nicht mehr

Zunächst stellt sich natürlich die Frage: Warum bin ich überhaupt nach Freiberg gegangen und habe mich nicht für eine Universität nahe meiner Heimatstadt Paderborn entschieden. Es wäre doch viel einfacher, zuhause zu bleiben und dort zu studieren als im 400 Kilometer entfernten Freiberg! Doch dafür gab es einige gute Gründe: Erst einmal wollte ich nach 19 Jahren, die ich zuhause gelebt hatte, endlich einmal auf eigenen Beinen stehen und in einer eigenen Wohnung bzw. WG leben. Ich hatte mich schon für die Studienrichtung Geotechnik und Bergbau entschieden. Und nach kurzer Recherche stellte sich heraus, dass es diesen Studiengang in Deutsch-

land nur noch in Aachen und Clausthal gibt. Da Aachen mit seiner 35.000 Studenten starken Uni für mich viel zu groß erschien, um auch mal in Kontakt mit Lehrenden zu kommen, und Clausthal wiederum zu klein, fiel die Wahl auf Freiberg. Nach einem Besuch am Tag der offenen Tür stand dann endgültig fest, dass es zum Semesterbeginn nach Freiberg geht. Zwar musste ich mir einige spöttische Bemerkungen von Freunden anhören, da von ihnen keiner plante, im Osten zu studieren. Meine Familie aber unterstützte mich tatkräftig bei der Durchsetzung meiner Pläne und war auch von den Vorteilen der kleinen Uni überzeugt.

Nach nun einem Jahr kann ich ein erstes Fazit wagen, ob es den Versuch wert war, in den Osten auszuwandern. Und da liegt eigentlich auch einer der sehr wenigen Kritikpunkte am Studium in „Fernost“: Es ist schon ein ziemlich langer Weg nach Hause. Mal eben für ein Wochenende nach Hause zu fahren und sich dort bedienen zu lassen, klappt leider nur selten. Man muss sich die Zeitpunkte für Heimfahrten schon gut aussuchen, damit man diese dann auch auskosten kann (alte Freunde treffen, Wäsche waschen lassen usw.). Abgesehen davon habe ich die Uni sehr schnell schätzen gelernt. Die Wege zwischen den Hörsälen sind kurz, und man benötigt weder den öffentlichen Nahverkehr noch ein eigenes Auto, um sich in Freiberg zu bewegen. Der gute alte Drahtesel ist der beste Freund des Studenten. Die Vorlesungen sind interessant und fast allen Dozenten merkt man an, dass sie vom eigenen Fach begeistert sind und auch versuchen, dieses Gefühl an die Studenten weiterzugeben. Natürlich haben die Dozenten ganz andere Anforderungen an ihre Studenten als die Schule und sich durchzumogeln, ohne oder mit nur wenig Lernaufwand, klappt wohl nur in den seltensten Fällen.

Zu den Einrichtungen der Universität lässt sich sagen: Der äußere Schein trägt. Auch wenn einige der Gebäude der Universität von außen etwas bieder daherkommen, so sind sie innen meist doch auf dem neuesten Stand und top ausgestattet. Lediglich die Universitätsbibliothek könnte sowohl von innen als auch von außen eine Renovierung gebrauchen.

Und das Leben in Freiberg? Als Student nimmt man am typischen Freiburger Leben eher nicht teil. Meist bleibt man unter sich, gerade wenn man nicht aus Freiberg stammt und sich deshalb

seinen Freundeskreis an der Uni sucht. Die meisten Studenten sind nette Leute und wenn man offen auf sie zugeht, wird man schnell neue Freunde finden. Das typische Wessi-Klischee wird vom Ossi zwar ab und an bedient, aber meist muss man doch nur etwas schmunzeln. Negative Erfahrungen habe ich bislang kaum gemacht.

Freiberg hat eine hübsch zurechtgemachte Altstadt zu bieten, in der man eigentlich alles bekommt, was man fürs tägliche Studentenleben so braucht. Wer allerdings einmal richtig einkaufen gehen will, sollte dann doch eher nach Dresden fahren. Auch was Partys angeht, ist Freiberg eben nur eine Kleinstadt. Ab und an lockt zwar die eine oder andere Studentenparty, aber wer wirklich Spaß haben will, sollte doch eher auf WG-Partys vertrauen. Für mich ist das kein Problem, denn auch sonst findet man immer genug Ablenkung vom Lernen: Sei es beim Sport oder einfach nur bei einer Runde Entspannung am Waldsee. Die Region um Freiberg hat mehrere Highlights zu bieten: Klettern, Mountainbiken oder Wandern im Erzgebirge sind meine Lieblingsfreizeitaktivitäten. Wenn der Winter kommt, lohnt es sich, das eine oder andere Skigebiet zu erkunden.

■ Lukas Fahle

Von Braunschweig nach Freiberg Kleinstadt schlägt Hauptstadt

Nur eins wusste ich schon, bevor ich wusste, was ich studieren will: Ich möchte nach Berlin! Als ich mich dann damit beschäftigt habe, was ich denn überhaupt studieren wollte, bin ich aufgrund meines Interesses an Biologie, Chemie und Erdkunde an der Geoökologie hängen geblieben. Voller Euphorie für den Studiengang begann ich die Suche, wo ich das denn erlernen könnte. Da kam auch schon die erste Ernüchterung: Geoökologie gibt es nicht in Berlin. Mein erster Gedanke: „So ein Mist“! Aber dann entdeckte ich das Wunschfach wenigstens in Potsdam. „Na gut, so weit weg ist das ja nicht von Berlin. Wenn du mal abends in die Disco willst, setzt du dich halt eine halbe Stunde in die Bahn, und schon hat sich der Fall.“ Es gab aber dort einen N.C., den ich leider um 0,7 Einheiten verfehlte. Was nun? Mit dem Glauben an das Gute bewarb ich mich trotzdem in Potsdam. Aber ich wollte dann doch mein Glück nicht ausreizen. Eine Alternative musste her. Es gab noch vier weitere Universitäten mit einem Geoökologieangebot. Da mir alle nicht

besonders viel sagten, habe ich mir die Entscheidung leicht gemacht. Meine ganze Familie wohnt im Norden. Also wollte ich nicht ganz in den Süden verschwinden, auch wenn ich von Anfang an nicht vorhatte, jedes Wochenende nach Hause zu fahren. Denn dann hätte ich auch in meiner Heimatstadt Braunschweig bleiben können. Die nächst-nördliche „Geoökologie-Universität“ war Freiberg. Ich habe mich also in Freiberg eingeschrieben und bin mit meinen Eltern in den Osten gefahren, um eine Wohnung zu suchen. Freiberg war und ist eben das Gegenteil von Berlin. „Nur leider im negativen Sinne“, dachte ich mir. Aber es half ja alles nichts. Augen zu und durch. Wie der Zufall es so wollte, habe ich einen Tag später auch die Zusage für Potsdam erhalten. Meine Eltern versicherten mir, dass wir alles in Freiberg stehen und liegen lassen könnten (inklusive 75 Euro Semestergebühren und 300 Euro Provision für die bereits geordnete Wohnung). Doch ich lehnte dankend ab, da ich mich mit Freiberg angefreundet hatte, nachdem ich mir die Vorzüge einer Kleinstadt doch noch einmal vor Augen geführt hatte: immer mit dem Fahrrad schnell am Ziel; zum Mittagessen immer nach Hause können und keine Mensakost essen müssen (wobei sich das Mensaessen als echt gut herausgestellt hat); bei schönem Wetter schnell mal im Wald spazieren gehen und nicht zuletzt das Motto der Uni: Klasse statt Masse.

„Meine Tochter geht also tatsächlich in den Osten“, meinte mein Vater daraufhin nur. Aber er wusste selber, dass „der Osten“ so in Freiberg nicht mehr existiert. Die Innenstadt ist sehr schön saniert, und die Uni hat einen guten Ruf (und das weiß er als Geologe nur zu gut).

In meiner Entscheidung wurde ich während meines Studiums oft bestätigt. Meine zunächst erhofften Vorteile Freibergs haben sich tatsächlich alle bewahrt. Einige wurden sogar übertroffen. Man kann sich auch mit Freunden ins Auto setzen und binnen einer Stunde in die Sächsische Schweiz fahren und da ganz wunderbar wandern gehen. Mit ein paar kleinen Klettereinheiten dazwischen ist es echt super! Zusammen mit der idyllischen Stadt und dem doch eher (für mich) entspannten Studium habe ich an manchen Tagen das Gefühl, als würde ich einen Dauerurlaub machen ... bis die Prüfungen mich wieder in die Realität hineinziehen.

■ Friederike Kutz

Als Studienbotschafter auf Messen

Studienwerbung ist auch Studierendensache

Bastian Fermer

Die TU Bergakademie Freiberg ist jedes Jahr auf etwa 20 Messen mit dem Schwerpunkt Studienorientierung in ganz Deutschland vertreten, um Jugendlichen das Studienangebot der Ressourcenuniversität näherzubringen. Am Stand der Bergakademie werden die Mitarbeiter der Zentralen Studienberatung dabei von Studierenden unterstützt, die den Schülern in Beratungsgesprächen nicht nur Fragen zum eigenen Studiengang beantworten, sondern auch generell zum Studium und zum Studentenleben in Freiberg Auskunft geben und damit Lust auf ein Studium an der TU machen sollen.

Auf der Vocatium-Messe in Fürth waren der Student Stefan Grems (Network Computing) und auf der Vocatium-Messe in Dresden die Studentin Stefanie Lorenz (Angewandte Naturwissenschaft) als Studienbotschafter für ihre Uni im Einsatz und sind mit vielen Eindrücken zurückgekehrt.

Stefan Grems: Ich war vor allem von dem Konzept der Messe überrascht. Mittlerweile bin ich sehr begeistert. Bis dato hatte ich noch nie von einer Vocatium-Messe gehört. Bei dieser Messe zur Studienorientierung werden im Vorfeld Termine zwischen interessierten Schülern und den Ausstellern über den Messeveranstalter als Vermittler vereinbart. Hierfür werden Listen von Studiengängen bzw. von Ausbildungsberufen in die regionalen Schulen gegeben, und die Schüler können ankreuzen, welches Studium sie interessiert oder welcher Name sie neugierig gemacht hat. Zum Teil er-

fahren sie so von Studiengängen, von denen sie zuvor noch nie etwas gehört hatten. Auf meinen Studiengang Network Computing bin ich vor über fünf Jahren nur per Zufall im Internet gestoßen. Damals gab es weit weniger Möglichkeiten, sich zu informieren. Das Angebot an Studiengängen und die Information sind zwischenzeitlich deutlich reichhaltiger. Somit würde ich sagen, dass die heutigen Schüler einen echten Vorteil haben. Ein gutes Beispiel dafür bei der Informationsbeschaffung ist die bereits erwähnte Vocatium-Messe: Dort wird eine Gesprächsanbahnung mit den Universitäten und Unternehmen durch Vereinbarung exklusiver Gesprächstermine vereinfacht. Eine Einstiegshürde gibt es bei den Messen, an denen die TU Freiberg teilnimmt, nicht. Bei den Terminen wird über den angedachten Studiengang gesprochen. Für die Interessenten ist dieses Gespräch angenehm und erzeugt eine lockere und entspannte Atmosphäre.

In meinen Beratungsgesprächen wollten die meisten Schüler von mir wissen, was sich hinter dem einen und dem anderen Studiengang für Inhalte verbergen, da sie die entsprechenden Namen interessant fanden. Das heißt, es kamen Fragen wie: Was beinhaltet das Studium? Wie sieht der Lehrplan aus? Gibt es Praktika? Was für einen Beruf kann ich später damit ausüben? Wie sieht es in Freiberg aus? Die Schüler waren sehr angenehme Gesprächspartner, auch wenn ihre Fragen meist noch sehr allgemein ausfielen.

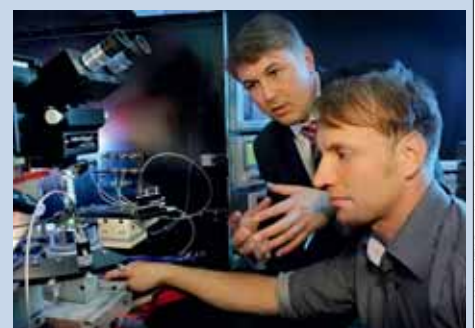
In seltenen Fällen hatten sich Schüler

bereits ausführlich informiert. Ihnen war schon prinzipiell klar, was sie später studieren werden. Sie wollten nur noch Auskunft darüber haben, wie es sich zum Beispiel in Freiberg lebt. Dieses Anliegen hatten mehr oder weniger alle. So kam es, dass ich viel über die Bergakademie und die Stadt Freiberg erzählen musste. Viele waren über die Qualität der Universität – ungeachtet ihrer geringen Größe – erstaunt. Die modernen Gebäude und ihre Ausstattung sowie das optimale Studenten-Professoren-Verhältnis haben die Schüler begeistert. Einigen Unentschlossenen konnte ich auch die Schüleruniversität im Gespräch näherbringen.

Stefanie Lorenz: Auf der Vocatium-Messe in Dresden begegneten mir vor allem Schüler der neunten und zehnten Klassen. In meinen Beratungsgesprächen fiel mir auf, dass sich sehr viele für die für Freiberg spezifischen Studiengänge wie Umwelt-Engineering, Angewandte Naturwissenschaft und auch Geologie/Mineralogie interessierten. Ich selbst hatte mich für die TU Freiberg wegen des einzigartigen Studiengangs Angewandte Naturwissenschaft entschieden, und mit umso mehr Begeisterung konnte ich Schüler davon überzeugen. Nicht immer blieb es bei den für das Beratungsgespräch im Vorfeld als Thema angegebenen Studiengängen. Oft war die erste Frage der Schüler, ob ihnen denn nach dem Studium ein ansehnliches Gehalt winkte. Ich konnte im Gespräch aber deutlich machen, dass der Spaß am Studium und am Studienort an erster Stelle stehen sollte. Die Gespräche mit den Schülern machten mir sehr viel Freude. Ich habe versucht, sie von den einzigartigen Studienbedingungen hier in Freiberg zu überzeugen, die unsere kleine familiäre Universität und die wunderschöne Stadt zu bieten haben.

Freiberger Physiker erhält renommierten Max-von-Laue-Preis

Die deutsche Gesellschaft für Kristallographie (DGK) überreichte im März in München dem Freiberger Physiker Dr. Tilmann Leisegang den Max-von-Laue-Preis. Der Mitarbeiter des Instituts für Experimentelle Physik erhält die Auszeichnung für seine wissenschaftliche Arbeit auf dem Gebiet der Kristallographie. In seiner Dissertation beschäftigte sich Leisegang mit dem atomaren Aufbau komplexer Verbindungen der Seltenen Erden. Der Preis ist einer der wichtigsten für Nachwuchswissenschaftler in der Kristallographie und dem Andenken an den deutschen Physiker und Nobelpreisträger Max von Laue gewidmet. Gewürdigt werden damit Leisengangs umfassende Strukturanalysen der Seltenerd-Verbindungen, wobei er insbesondere die Synchrotronstrahlung zur Untersuchung einsetzte. ■ Cornelia Riedel



Dr. Tilmann Leisegang (vorn) bei der Charakterisierung elektronischer Funktionsmaterialien (mit Prof. Dirk C. Meyer, Direktor des Instituts für Experimentelle Physik)

Dettler Müller / TU Bergakademie Freiberg

Erweiterung des Lehr- und Forschungsangebots durch Anbindung an das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg

Matthias Zschornak

Studenten der TU Bergakademie Freiberg können zukünftig im Verlauf ihres Studiums neue moderne Forschungsmethoden am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg nutzen. Auf einen erfolgreichen Antrag des Prorektors für Bildung Prof. Dirk C. Meyer hin stehen ab sofort Mittel für diverse Lehr- und Praktikumsangebote bereit. Die Programme werden über die Dritte Säule des Hochschulpakts gefördert und bieten durch die Anbindung an das DESY die Möglichkeit, moderne Forschung an Großgeräten schon innerhalb der akademischen Ausbildung mitzerleben und selbst durchzuführen.

Das Helmholtz-Zentrum DESY ist gegenwärtig vor allem in der Wissenschaft von den Photonen weltweit eines der führenden Beschleunigerzentren. Insbesondere durch das 2009 in Betrieb gegangene Synchrotron Petra III wird hier Forschern aus vielen Bereichen die derzeit brillanteste Röntgenstrahlung bereitgestellt. In dem ACAMONTA-Artikel von 2011 zur Freiburger Beteiligung an der neuen Chemical Crystallography Beamline als Experimentierstation der zurzeit im Bau befindlichen Petra-III-Erweiterung wurde ausführlich auf die aktuellen Forschungsschwerpunkte und die dort einzigartigen Experimentiermöglichkeiten eingegangen.

Die neu entstandenen Lehrprogramme umfassen regelmäßige Exkursionen zum DESY, bei denen erfahrene Wissenschaftler vor Ort die Studenten durch alle Bereiche des Forschungszentrums führen und anhand konkreter Experimente die wissenschaftlichen Fragestellungen erläutern. Im März dieses Jahres haben 22 Studenten diese Möglichkeit wahrgenommen (Abb. 1). Das Programm umfasste neben einer Führung durch das DESY-Gelände speziell auch die Demonstration von Experimenten am Linearbeschleuniger Flash (T. Golz) und an den Speicherringen Petra III (Dr. D. Novikov) und Doris III (Dipl.-Phys. C. Richter). Des Weiteren vermittelte Prof. Dr. S. Molodtsov, wissenschaftlicher Direktor des XFEL-Projekts, Einblicke in die zukünftige Forschung am im Bau befindlichen Röntgen-Freie-Elektronen-Laser (Abb. 2). Abgerundet wurde die Exkursion mit einer Führung durch die Hamburger Air-



Abb. 1: Dipl.-Phys. Carsten Richter, Freiburger Doktorand am DESY, erklärt Studenten der TU Freiberg ein Synchrotron-Experiment am Speicherring Doris während der Exkursion im März 2012.

bus-Werke, die den Studenten einen detaillierten Überblick über die Fertigung von Flugzeugen inklusive des Modells A 380 gab.

Im Aufbau befindet sich u. a. auch ein eigenständiges Synchrotron-Praktikum, das in das Curriculum verschiedener Masterstudiengänge integriert werden soll. Es beinhaltet eine Reihe von Versuchen, insbesondere mit modernen spektroskopischen Röntgenmethoden wie der X-Ray Absorption Fine Structure (XAFS) und der Diffraction Anomalous Fine Structure (DAFS), bei denen aus energie-

abhängiger Absorption und Streuung von Röntgenstrahlung an element-spezifischen Energien des Probenmaterials Parameter der unmittelbaren lokalen Umgebung der resonant angeregten Streuer gewonnen werden. Unterstützt wird diese Praktikumsplanung durch den Freiburger Doktoranden Carsten Richter, der am DESY u. a. an der Projektierung der Chemical Crystallography Beamline arbeitet.

Im Rahmen eines vor kurzem unterzeichneten Kooperationsvertrags nutzen Freiburger Studenten, u. a. Melanie Nentwich und Torsten Golz, die Einrichtungen des DESY bereits für Messungen zu ihren Diplom-, Master-, Bachelor- bzw. Studienarbeiten oder führen zur Bereicherung ihres Studiums verschiedene individuelle Praktika in Arbeitsgruppen vor Ort durch. Die Initiative neuer Lehrprogramme wird flankiert durch ein weiteres Projekt, eine an Petra III ab 2014 vorgesehene Messstation, die die Umsetzung zukünftiger Lehrinhalte am DESY stark fördern wird. Die für die Lehre im akademischen Bereich dedizierte *Educational Beamline* wird derzeit durch den Wissenschaftler Dr. D. Novikov geplant und kann in Zukunft auch größeren Studentengruppen die Möglichkeit der akademischen Ausbildung auf dem Gebiet der modernen Röntgenmethoden bieten.



Abb. 2: Freiburger Studenten bei der Führung zum aktuell im Bau befindlichen Röntgen-Freie-Elektronen-Laser XFEL durch den wissenschaftlichen Direktor des Projekts, Prof. Dr. S. Molodtsov, während der DESY-Exkursion im März 2012

Neu an der Bergakademie: Psychologische Beratungsstelle

Carolin Butler Manning

Die TU Bergakademie Freiberg unterhält seit diesem Jahr eine psychologische Beratungsstelle, um Studierende auf dem Weg zu einem erfolgreich abgeschlossenen Studium über die fachliche Ausbildung hinaus zu begleiten. Im Rahmen des Bund-Länder-Programms für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre, auch bekannt als Dritte Säule Hochschulpakt, war die TU Bergakademie Freiberg mit ihrem Antrag „Maßnahmen für erfolgreiches Studieren an einer international orientierten Ressourcenuniversität“ (MESIOR) bereits in der ersten Ausschreibungsrunde außerordentlich erfolgreich und warb Drittmittel in Höhe von 7,6 Mio. EUR ein. Die Mittel werden gezielt für die Verbesserung der Lehrqualität und der Studienbedingungen eingesetzt, insbesondere für Personal sowie Lehrausstattung.

Grundlage für das geförderte Maßnahmenpaket waren Erkenntnisse aus Analysen zum aktuellen Stand der Betreuung und zur Beratung von Studierenden. Dabei wurde ersichtlich, dass eine alleinige Verbesserung der Lehre nicht ausreicht. Wie wichtig ein breit aufgestelltes Beratungsangebot inklusive psychologischer Betreuung ist, unterstreichen die langjährigen Erfahrungen des Freiburger Studentenwerks. Die Hochschullandschaft und das Studieren an sich haben sich auf Grund des europaweiten Bologna-Prozesses verän-

dert, und auch die Anforderungen des Arbeitsmarkts stellen die Studierenden vor neue Herausforderungen. Neben der Fachkompetenz gewinnen auch soziale und emotionale Kompetenzen an Bedeutung, sodass Studierende sich angesichts der an sie gestellten Anforderungen vermehrt unter Druck gesetzt fühlen.

Die neu eingerichtete Beratungsstelle ist somit eine wichtige Komponente des Maßnahmenpakets der TU Bergakademie Freiberg und unterstützt Studierende darin, alle Phasen ihres Studiums meistern zu können. Das Beratungsangebot wird in enger Zusammenarbeit mit dem Freiburger Studentenwerk ausgestaltet und ist auch räumlich in einem der Wohnheime des Studentenwerks angesiedelt, um als zentrale Anlaufstelle fungieren zu können. Das Studentenwerk betreibt bereits eine etablierte Beratungsstelle, bislang mit dem Schwerpunkt Sozialberatung, und begrüßt die Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg.

In der Umsetzung bietet das zweiköpfige Team der psychosozialen Beratung zum einen persönliche Einzelberatung, beispielsweise für Rat suchende Studierende, die Lernprobleme, Prüfungsangst oder auch eine persönliche Krise erleben. Dieses Angebot kann bei Bedarf auch die Form eines Coachings haben, das sich über mehrere Termine erstreckt und einzelne Studierende über einen begrenzten Zeitraum begleitet. Zum anderen bietet

die Beratungsstelle in Kooperation mit dem Studentenwerk Seminare für Kleingruppen zu Themen wie dem Umgang mit Prüfungen oder auch der Selbstorganisation an. Innerhalb eines studienbezogenen Rahmens werden Studierende kompetent und vertraulich beraten. Ihnen werden bei Verdacht auf eine ernsthafte seelische Erkrankung passende außeruniversitäre Beratungsstellen oder Psychotherapeuten empfohlen.

Ein besonderer Service wird den internationalen Studierenden geboten. Die Beratung kann auf Grund der aktuellen personellen Besetzung auch in portugiesischer, spanischer sowie englischer Sprache stattfinden.

Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Studentenwerk wird nicht nur ein breiter gefächertes Angebot für die Studierenden verfügbar. Dieses ermöglicht ebenso die interne Qualitätssicherung durch kollegiale Fallberatungen. Die Berater/-innen von Bergakademie und Studentenwerk können sich unter Wahrung absoluter Vertraulichkeit zu Problemen in ihrer Beratungspraxis austauschen und deren Qualität untereinander prüfen und gegebenenfalls verbessern.

Mit der Bündelung von Kompetenzen beider Einrichtungen wird ein alternativer Weg in der Studierendenberatung eröffnet. Prof. Dr. D. Meyer, Prorektor für Bildung, freut sich über die Anhebung der Qualität.

Go out?

Zur Entwicklung des Bereichs Auslandsstudium an der TU Bergakademie Freiberg

Ingrid Lange

Was hat man als Student nicht alles für Möglichkeiten! Nach beendeter Schulzeit und erster Orientierung, Entscheidung und damit Weichenstellung zum weiteren Ausbildungsweg befindet man sich nun in einer Lebensphase, die so langsam den Charakter einer Zielgeraden annimmt – oder jedenfalls sollte sie das ...

Eine etwas klarere Vorstellung vom späteren Berufs- und Erwerbsdasein

schält sich schüchtern heraus. Das Lernpensum ist – im Vergleich zur Sekundarschule – zielorientierter; Erfolge und Misserfolge dabei bekommen eine andere Wertigkeit. Alles wird wichtig und immer wichtiger, schwerwiegender, schwieriger und zeitaufwendiger. Und doch ist es auch die Zeit, in der sich nach der langen fest strukturierten Schulzeit plötzlich eine ganze Reihe von Möglichkeiten auftut. Entlassen aus der SchulPFLICHT hat man nun plötzlich die LernFREIHEIT. Eine Freiheit, mit der man sich natürlich erst einmal auseinandersetzen muss: Zur Vorlesung gehen? Oder ins Fitnessstudio? In der Bibi lernen oder Schlaf nachholen? Spezialisierungen wählen oder ändern? Prüfungen verschieben? Chinesischkurs belegen oder doch lieber

Französisch verbessern? Kochen mit den Kommilitonen aus Russland und Pakistan? Hiwi-Job suchen? Exkursion nach Italien mitmachen? Ein Semester in Kanada studieren? Oder ein Praktikum in Norwegen? Oder ein Sprachkurs in Madrid? Oder doch besser das Hilfsprojekt in Tansania? Womit wir mitten in der Thematik dieses Beitrags angekommen wären.

Als ich im November 1992 im damaligen Akademischen Auslandsamt (neu gegründet an der Bergakademie Freiberg 1991 unter Leitung von Dr. Reinhard Zimmermann¹) die Stelle als Sachbear-

¹ 1995 wechselte der Gründer und bisherige Leiter des Freiburger Akademischen Auslandsamts (Dr. Reinhard Zimmermann), in das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft

beiterin Auslandsstudium (nicht zu verwechseln mit Ausländerstudium) antrat, hatte ich nur eine vage Vorstellung von meinem künftigen Aufgabengebiet. Die Begriffe Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD), ERASMUS, Fulbright oder IAESTE waren mir neu, was sich dahinter verbarg, fremd, aber interessant. Die Idee, das Studium auch für einen Blick hinter die Kulissen oder gar hinter den nun nicht mehr vorhandenen eisernen Vorhang zu nutzen, war kaum vorhanden, von wenigen Exkursionen oder Forschungsaufenthalten in der Tschechoslowakei oder der Sowjetunion einmal abgesehen.

Dies änderte sich in den darauffolgenden Jahren, wenn auch langsam. Forschungspartner in aller Welt betreuten erste Freiburger Studierende und Doktoranden; frühe Austauschprojekte entstanden. Die neuen Hochschullehrer aus den westlichen Bundesländern brachten auch Kontakte und Ideen mit, aus denen erste Austauschabkommen, z. B. mit Universitäten in den USA, entstanden (Colorado School of Mines, South Dakota School of Mines and Technology, St. Olaf College, University of St. Thomas). Freiburger Studierende bewarben sich erstmals 1994 erfolgreich für DAAD- und Fulbright-Stipendien zum Studium in Irland und den USA.

Das IAESTE-Lokalkomitee Freiberg wurde mit Unterstützung und Starthilfe durch das Akademische Auslandsamt bereits 1992 von sehr engagierten Studierenden, vor allem der Geowissenschaften, gegründet. Die International Association for the Exchange of Students for Technical Experience, kurz IAESTE, ist eine internationale unpolitische, unabhängige Organisation zur Vermittlung von Praktikumsplätzen im Ausland, die seit 1948 besteht. Diese Organisation arbeitet bis heute erfolgreich und wird mittlerweile durch die Studierenden vollständig selbstständig geführt. Jährlich

und Kunst. An seine Stelle trat Dr. Holger Finken. (Mittlerweile ist er Leiter der DAAD-Außenstelle in Tokio.) Kurzzeitig wurde das Auslandsamt auch von Birgit Seidel geführt, ehe dann im November 2000 das Internationale Universitätszentrum „Alexander von Humboldt“ gegründet wurde. Gründungsdirektor war Prof. Nippa, Leiter wiederum Dr. Holger Finken. Seit Januar 2002 wird das IUZ durch Katja Polanski geleitet. Mit der Gründung des IUZ (und durch die in der Akademiestraße 6 beginnenden Baumaßnahmen bedingt) kam es zum Umzug dieser Einrichtung in die Lessingstraße 45, wo wir uns noch heute befinden (bis zur Fertigstellung des Schloßplatzquartiers).

werden ca. 15 internationale Praktikanten während der Sommermonate in Freiberg betreut; umgekehrt können jährlich etwa ebenso viele Freiburger Studierende einen Praktikumsplatz im Ausland vermittelt bekommen.

Man stelle sich vor: Kontakte und Absprachen weltweit – und das ohne Internet und E-Mail! Nun, dies änderte sich rasant während der nun folgenden Jahre. Ebenso rasch entwickelten sich Strukturen und Programme zur Unterstützung der Studierenden. Hervorzuheben ist hier natürlich der Deutsche Akademische Austauschdienst. Als Akademischer Austauschdienst (AAD) 1925 in Heidelberg gegründet und 1931 mit der Deutschen Akademischen Auslandsstelle des Verbandes der deutschen Hochschulen und der Alexander-von-Humboldt-Stiftung zusammengeschlossen, ist der DAAD die weltweit größte Förderorganisation für den internationalen Austausch von Studierenden und Wissenschaftlern. Mit großer Euphorie unterstützten der DAAD, die Fulbright-Kommission und das British Council nicht nur die Hochschulen in den neuen Bundesländern, sondern vor allem auch die nach der Wende an allen ostdeutschen Hochschulen gegründeten Akademischen Auslandsämter. Dies geschah durch Schulungen, Bildungsexkursionen, Sonderstipendien, Sprachreisen etc., was dazu beitrug, dass den ostdeutschen Hochschulen der Anschluss an die auf diesem internationalen Parkett weitaus erfahreneren westdeutschen Hochschulen recht bald gelang.

Ein wichtiges Instrument für die Förderung der Mobilität von Studierenden und Lehrenden, aber auch zur Intensivierung von Kontakten und Kooperationen mit Hochschulen innerhalb Europas war und ist das ERASMUS-Programm, das in diesem Jahr 25 Jahre besteht. Die TU Bergakademie Freiberg ist seit 1991 am ERASMUS-Programm beteiligt. Die ersten Programme gab es im Bereich Werkstoffwissenschaften mit der Universität Metz in Frankreich und im Bereich Chemie mit der Universidad Politecnica de Catalunya Barcelona. Über diese Programme absolvierten im Jahr 1992/93 die ersten zwei Studenten ein Auslandssemester. Seither hat sich die Zahl der ERASMUS-Studenten *outgoing* (also derer, die hinausgehen) wie *incoming* (die Gaststudenten, die zu uns kommen) natürlich ebenso erhöht wie die Zahl der Mobilitätspartner.

Die ersten solcher Programme waren oft Zufallsprodukte im Rahmen gemeinsamer Forschungsaktivitäten. Dennoch erwachsen aus diesem Gerüst bis heute existierende gute Partnerschaften. Aber auch die Akteure der ersten Stunde sind teilweise bis zum heutigen Tage als ERASMUS-Koordinatoren der Institute weiterhin am Ball. Dies betrifft vor allem die Bereiche Chemie/Physik und Betriebswirtschaftslehre mit Partnern in Spanien, Frankreich und Italien (Universität Trento). Einige Bereiche erkannten das Potenzial, das eine gut funktionierende ERASMUS-Partnerschaft in sich birgt. Unter anderem ist es nämlich sehr studienwerbewirksam, den eigenen Studierenden attraktive Ziele, gekoppelt mit einer finanziellen Förderung für ein Auslandssemester, anbieten zu können. Auch gewinnt man über dieses Programm für andere, größere Projekte bereits ein kleines Netzwerk an potenziellen Partnern.

Zwischen 1992 und 2011 nahmen insgesamt 637 Freiburger Studenten am ERASMUS-Programm teil. In diesem Zeitraum wurden außerdem 230 ERASMUS-Dozenten-Lehraufenthalte realisiert. Hauptzielländer der Studierenden waren dabei Norwegen (NTNU Trondheim), Frankreich (Chambéry, Paris Est), Spanien (UP Barcelona, UP Cartagena, Uni Almeria, UP Madrid), Italien (Trento, Rom, Florenz), Schweden (KTH Stockholm, TU Lulea) und Polen (Wirtschaftsuniversität Poznan). Die Lehraufenthalte führten häufig nach Frankreich, Italien, Tschechien, Polen, Rumänien und Bulgarien (TU Sofia). Austauschpartner in Mittel- und Osteuropa rückten bei den Studierenden erst in den letzten 6-8 Jahren in den Fokus. Bis dahin wurden fast ausschließlich Ziele in Westeuropa favorisiert.

Unbedingt hervorheben muss man die unangefochtene Attraktivität der NTNU Trondheim, unserer Partneruniversität seit 1994! Jedes Jahr entsenden wir um die 15 Studierende für ein Teilstudium oder ein Praktikum an diese renommierte norwegische Einrichtung – und das trotz extrem hoher Lebenshaltungskosten. Dankenswerterweise wurde diese Kooperation von Beginn an durch die Verbundnetz Gas AG Leipzig unterstützt. So konnten bisher insgesamt 169 ausgewählte Studierende eine Förderung der VNG für ihr Auslandssemester in Trondheim, aber auch in Prag, Krakau oder in St. Petersburg erhalten.

Es lässt sich konstatieren, dass Studierende aller Studiengänge gleichermaßen

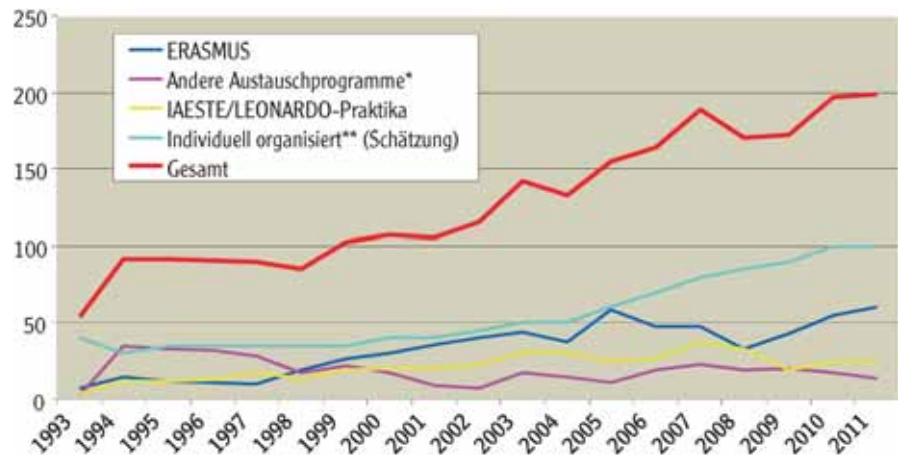
am Programm partizipieren und kein eindeutiger Trend zu einer umfassenden Nutzung der Austauschprogramme durch einzelne Bereiche zu erkennen ist. Mit einer Ausnahme: Im noch recht jungen internationalen Masterprogramm International Business in Developing and Emerging Markets ist ein Auslandssemester zwingend vorgeschrieben.

Ausgewählte Zahlen zu ERASMUS:

Jahr	Partnerschaften	Länder	Studenten ERASMUS Outgoing	Studenten ERASMUS Incoming
1992/93	8	5	2	---
1995/96	19	9	12	7
1997/98	23	13	10	10
2001/02	35	14	36	32
2003/04	51	18	44	40
2007/08	93	23	48	50
2010/11	108	24	55	40

Wenn die enorm gestiegene Zahl von Partneruniversitäten nicht mit der Entwicklung der Zahl der mobilen Studierenden (bei mittlerweile ca. 5.500 Studenten) konform geht, hat das sicher mehrere Gründe:

- oftmals fehlende Information/Aufklärung unserer Studierenden seitens ihrer Hochschullehrer über die Möglichkeiten, ein bis zwei Semester an einer anderen Universität zu absolvieren, sowie über die mögliche Anerkennung der auswärts erbrachten Studienleistungen,
- mangelnde sprachliche Voraussetzungen unserer Studierenden, was die mit Rumänien, Griechenland, Polen, Tschechien, der Türkei etc. abgeschlossenen Vereinbarungen betrifft, sofern es nicht definitiv und eindeutig möglich ist, dort ein Studienprogramm in englischer Sprache zu absolvieren und
- daraus resultierend die mangelnde Attraktivität der angebotenen Ziele für unsere Studierenden,
- Studiendekane/Vorsitzende der Prüfungsausschüsse sind sich unsicher in der Frage, wie mit der Anerkennung von im Ausland erbrachten Leistungen zu verfahren sei. Oftmals bekommen die Studierenden die Ergebnisse nur als Wahlpflichtfächer oder gar nicht anerkannt.
- Das eindeutige Bestreben der Freiburger Studierenden, ihr Studium schnell und zügig zu beenden und durch ein Auslandssemester nicht unnötig zu verlängern. Dabei waren bis heute die relativ guten Jobchancen unserer Absolventen, vor allem der ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen, ausschlaggebend.



Entwicklung der Outgoings der TU Bergakademie

* USA, Kanada, Doppeldiplomprogramme mit Polen, Italien, Frankreich, Russland; MBA-Programm Budapest
 ** Studienaufenthalte z. B. in Großbritannien oder Neuseeland, Sprachkurse im Ausland; Praktika; in einigen Studienordnungen werden zunehmend Auslandspraktika ausdrücklich empfohlen

• Auch Finanzierungsprobleme spielen eine Rolle.

Natürlich nutzen unsere Studierenden nicht ausschließlich das ERASMUS-Programm, um einen Auslandsaufenthalt oder ein Praktikum im Ausland zu organisieren bzw. zu finanzieren. In Übersee haben wir derzeit Abkommen zum Studierendenaustausch mit der University of Alberta und der University of Calgary (Kanada), mit der Pittsburg State University in Kansas sowie der South Dakota School of Mines and Technology (USA), mit der Universität de Santiago de Chile und der Universität Concepción (Chile) sowie mit der Universität Akita (Japan). Dazu kommen studiengangsspezifische Doppelabschlussabkommen wie zum Beispiel mit der Nationalen Universität für Wissenschaft und Technologie Moskau (Moskauer Institut für Stähle und Legierungen – MISIS) oder mit der Wuhan University of Science and Technology (China).

Das IUZ versucht, über die Zahl der mobilen Freiburger Studierenden eine einigermaßen korrekte Statistik zu führen. Leider ist die genaue Zahl nicht erfassbar, da sich Studierende für einen Auslandsaufenthalt nicht unbedingt beantragen lassen müssen. Exakt ist nur die Zahl derjenigen erfassbar, die über Austauschprogramme oder Organisationen wie DAAD, IAESTE, LEONARDO, Fulbright etc. registriert sind.

Während erkennbar ist, dass sich die Zahl der an einem ERASMUS-Austauschprogramm teilnehmenden Studenten erhöht hat, ist die Zahl der Studierenden, die mit Hilfe anderer Programme ins Ausland gehen, rückläufig. Dies liegt

zum einen an der geringer werdenden Zahl von Austauschplätzen in Übersee (z. B. USA), die für die Studierenden eingeworben werden konnten. In den Jahren unmittelbar nach der Wende war eine gewisse Euphorie auf allen Seiten spürbar. Die neu gewonnene Freiheit wurde gern für die Erkundung anderer Kontinente genutzt; umgekehrt enthielt der Finanzhaushalt der US-amerikanischen oder australischen Hochschulen noch Spielraum, um durchaus etwas großzügiger zu sein in Bezug auf die Aufnahme von deutschen Studierenden auch außerhalb von ausbalancierten Austauschzahlen.

Mittlerweile spielt jedoch der Kostenfaktor eine entscheidendere Rolle. Derzeit gibt es nur noch einige wenige studiengebührenfreie Plätze in den USA. (Die jährlichen Studiengebühren in den USA liegen, je nach Hochschultyp und -region, zwischen 10.000 und 40.000 US-Dollar).

Die Austauschprogramme funktionieren in aller Regel nach dem 1:1-Prinzip. Wenn keine Studierenden aus den Partneruniversitäten den Weg zu uns finden, können wir dorthin auch leider keine entsenden. Derzeit ist das z. B. mit der Colorado School of Mines der Fall.

Die mittlerweile auch bei uns aufgelegten englischsprachigen Masterprogramme und zunehmend auch diverse Lehrveranstaltungen in englischer Sprache geben jedoch Anlass zur Hoffnung, dass diese auch Studierende aus den Ländern anziehen, in die unsere eigenen Studierenden so gern gehen möchten.

Mit den Partnern in Kanada (University of Alberta und University of Calgary) können wir unseren Studierenden seit ca. sechs Jahren ein sehr attraktives

Angebot für ein Auslandssemester unterbreiten. Dies ist möglich, da wir im Gegenzug jedes Jahr eine Reihe von kanadischen Studierenden empfangen, die an einer sechswöchigen Sommerschule zur Thematik Erneuerbare Energien teilnehmen, organisiert durch das Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik (Lehrstuhl Prof. Trimis) und das IUZ.

Das Interesse, ein oder zwei Semester im Ausland zu verbringen, hat keinesfalls nachgelassen, wie aus den entsprechenden Anfragen von Studierenden und den sehr gut besuchten Sprechstunden und Veranstaltungen des Internationalen Universitätszentrums hervorgeht. Leider ist es nach der Umstellung der in Aussicht auf einzubauende Auslandssemester etwas flexibleren Diplomstudiengänge auf vollgepackte Bachelor- und

Masterstudiengänge sehr viel schwieriger geworden, ein sogenanntes Mobilitätsfenster für einen Auslandsaufenthalt zu organisieren. Zu beobachten ist auch, dass den Studierenden einiger Bachelorstudiengänge (insbesondere bei den Ingenieurwissenschaften) sogar von einem Auslandsaufenthalt abgeraten wird.

Für die Finanzierung von Auslandsaufenthalten steht den Studierenden eine Reihe von Förder- und Finanzierungsprogrammen zur Verfügung:

- ERASMUS-Stipendien für Studium und Praktikum,
- DAAD-Stipendien (u. a. Jahresstipendien, Go-East-Programm),
- PROMOS-Stipendienprogramm des DAAD (für Semester- und Kurzaufenthalte, Praktika und Sprach- und Fachkurse),

- DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm (für Studienaufenthalte bei bestimmten Partneruniversitäten in Osteuropa),
- Fulbright-Jahres- und Reise-Stipendien für die USA,
- Stipendien von Stiftungen, Firmen und Organisationen (z. B. Verbundnetz Gas AG),
- Auslandsbafög,
- Bildungskredite u. a.

Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle, dass der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg ebenfalls bereits zahlreiche Studierende unterstützt hat, insbesondere auch in den Fällen, wo eine anderweitige Förderung aus unterschiedlichen Gründen nicht zu haben war und das Auslandsvorhaben zu scheitern drohte.

Drei Jahre Hochschulpartnerschaft Freiberg/Irak

Manuela Junghans, Torsten Mayer

Als Teil eines vom Auswärtigen Amt aufgelegten Sonderprogramms vereinbarten der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) und das irakische Bildungsministerium im Februar 2009, den Irak beim Wiederaufbau akademischer Strukturen zu unterstützen. Ein Ziel des Programms ist die Förderung von deutsch-irakischen Hochschulpartnerschaften.

Von derzeit insgesamt sechs Kooperationsprojekten an fünf Universitäten werden zwei an der TU Bergakademie Freiberg vom DAAD gefördert: Geoscience Resources Iraq (GRI) und Mechanical Engineering Germany Iraq (MEGI). Der Förderungszeitraum betrug zunächst drei Jahre. Beginn war 2009. Nun wurde die Förderung bis Ende 2014 verlängert. Die Fördersumme für die TU Bergakademie Freiberg beträgt insgesamt rund 2,7 Mio Euro. Die Projektleiter sind Prof. Broder Merkel vom Institut für Geologie und Prof. Bertram Hentschel vom Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung. Bis 2011 leitete der inzwischen emeritierte Prof. Jürgen Bast vom Institut für Maschinenbau das MEGI-Projekt. Schwerpunkte der Projekte sind:

1. die Kooperation in der studentischen Ausbildung einschließlich der Ein-

2. Weiterbildungsmaßnahmen für irakische Wissenschaftler, Promovierende, Studierende und Techniker und
3. die Anschaffung und Installation von Forschungsgeräten, die beim Aufbau moderner Laboratorien an irakischen Universitäten helfen.

Vorangetrieben wird der Aufbau des gemeinsamen englischsprachigen Masterstudiengangs *Arid Water Resources Management*. Inhalt des Studiengangs ist das Wassermanagement in niederschlagsarmen Gebieten. Im MEGI-Projekt auf dem Gebiet des Maschinenbaus ist ein Doppelabschlussprogramm geplant. Weiterhin unterstützt das Projekt GRI den Aufbau eines Ausbildungszentrums für wissenschaftliches Tauchen an der Universität Basra.

Die Auftaktveranstaltung für die Hochschulkooperation fand im Dezember 2009 in Freiberg statt. Rund 50 Wissenschaftler waren anwesend, darunter mehrere Rektoren irakischer Universitäten. Ziel war es, sich im Detail über die geplanten Schwerpunkte der Kooperationsprojekte zu verständigen. Seitdem wurden mit sieben irakischen Universitäten aus Bagdad, Erbil, Sulaimania, Diyala und Basra Kooperationsvereinbarungen unterzeichnet. Seit Beginn der Hochschulpartnerschaften konnten insgesamt rund 300 Wissenschaftler, Promovierende, Studierende und technische Mitarbeiter von den Weiterbildungsveranstaltungen in Freiberg und im Irak profitieren. Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Fragestellungen sowie

solche zur nachhaltigen Erdölgewinnung und deren Einfluss auf die Umwelt waren und sind die Schwerpunkte der Seminare und Sommerschulen im GRI-Projekt. „Die Bewirtschaftung von Grund- und Oberflächenwasser ist eine besonders wichtige Thematik im Irak, sowohl was die Wasserversorgung als auch die Behandlung von Abwässern betrifft“, sagt Prof. Broder Merkel, der Projektkoordinator des GRI-Projekts. „Auch wir Deutschen profitieren bei der Auseinandersetzung mit Problematiken, die bei uns nicht existieren: Deutschland hat ein gemäßigtes Klima; aride, also niederschlagsarme Regionen wie im Irak, stehen vor ganz anderen Herausforderungen in der Wasserversorgung.“

Im Rahmen des MEGI-Projekts wurden Geräte für die Salahaddin Universität in Erbil und die TU Bagdad angeschafft. Anfang Juni 2012 konnte an der Salahaddin Universität das Glück-auf-Labor eröffnet werden. „Es trägt diesen Namen in Anerkennung der Leistungen der TU Bergakademie Freiberg“, erklärt Dr. Abdulkader Kadauw, Projektkoordinator des MEGI-Projekts. Für die Dozenten, Promovierenden und Mitarbeiter, die diese Geräte nutzen werden, wurden Trainingskurse durchgeführt. „Wir haben uns entschieden, die Trainingsmaßnahmen an der Salahaddin Universität in Erbil, im kurdischen Teil des Irak, durchzuführen. Dort ist die Sicherheitslage stabil. Bereits sechs Freiburger Dozenten und Mitarbeiter gaben dort Seminare für Iraker aller Partneruniversitäten“, so Dr. Kadauw. „Im Gespräch mit Professoren der iraki-

schen Partneruniversitäten ist unstrittig, dass der Irak auf dem Weg zum Wiederaufbau und zur Modernisierung der Wirtschaft gut ausgebildetes Personal dringend benötigt und dass dafür Hilfe aus dem Ausland willkommen ist. Die deutsch-irakische Hochschulkooperation spielt vor diesem Hintergrund eine maßgebliche Rolle. Dazu gehören der geplante Masterstudiengang und die laufenden Trainingskurse. Wenn die Absolventen zurück in ihr Heimatland gehen, können sie ihr Wissen z. B. in der Metallindustrie, in der Klima- und Energietechnik, bei der Qualitätskontrolle und beim Umweltschutz anwenden – alles Gebiete, die von großer Bedeutung für die Zukunft des Irak sind. Auch deutsche Firmen, die im Irak tätig sind, profitieren von gut ausgebildeten Absolventen.“

Erste Engagements von Firmen gibt es bereits in beiden Hochschulpartnerschaftsprojekten: kostenlose Workshops zur Modellierung von Erdöllagerstätten und Software für Trainingskurse zum Thema Modellierung von technischen Prozessen. Beide Projekte waren in den ersten drei Jahren der Förderung erfolgreich. Deshalb bewilligte der DAAD eine Projektverlängerung bis Ende 2014. Die ersten Studierenden für den englischsprachigen Masterstudiengang *Arid Water Resources Management* sollen im Wintersemester 2013/14 immatrikuliert werden. Im Bereich Maschinenbau ist zum Sommersemester 2012 die Pilotphase für ein zukünftiges Doppelmasterprogramm angelaufen. Es sollen jährlich bis zu sechs irakische Studierende als Kontaktstudenten eingeschrieben werden. „Bis zu einem möglichen Doppelmasterprogramm müssen jedoch noch Hürden überwunden werden. So müssen die irakischen Studierenden die deutsche Sprache erlernen“, bilanziert Dipl.-Ing. Karin Sichone, Bildungsbeauftragte der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik. Erst vor wenigen Monaten wurde in Kooperation mit dem Herder-Institut Leipzig eine Deutschabteilung in Erbil eingerichtet. Ab Oktober 2012 wird dort der erste fachübergreifende Deutschkurs angeboten. Die Aktivitäten in beiden Projekten haben zur Folge, dass sich immer mehr irakische Studierende für ein Studium – vor allem für ein Promotionsstudium – in Freiberg entscheiden. Im Dezember 2008 kamen vier irakische Studierende und Promovierende nach Freiberg, im Wintersemester 2012/13 stieg die Zahl auf 23.



Training für Mitarbeiter irakischer Partneruniversitäten durch Dr. Abdulkader Kadauw und Steffi Lütznier an CNC-Dreh- und Fräsmaschinen im Glückauf-Labor an der Salahaddin Universität Erbil

Ein Werkstoffwissenschaftler aus Bagdad in Freiberg

Prof. Dr. Alaa Abdulhasan Atiyah, Prodekan für wissenschaftliche Angelegenheiten am Institut für Werkstofftechnik der University of Technology Bagdad (UoT Bagdad), war bereits zweimal beruflich in Freiberg zu Gast.

Mit welchem Ziel kamen Sie nach Freiberg?

Im November 2010 kamen wir, das heißt fünf Hochschullehrer der TU Bagdad, für einen Monat nach Freiberg, um an einem Kompaktkurs teilzunehmen. Für uns war es besonders wichtig, Einblicke in die aktuelle Forschungsarbeit nehmen zu können. In Bagdad mangelt es derzeit an modernen Messeinrichtungen und Laboratorien. Wir liegen in manchen Bereichen 30 Jahre hinter dem Stand der Technik. Ich interessiere mich besonders für die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Computersimulation technischer Prozesse.

Haben Sie sich weiterbilden können?

Eine Reihe von Betriebsbesichtigungen, etwa bei Solarworld, standen auf unserem Programm. Ich habe viele Gespräche mit Dr. Abdulkader Kadauw, dem Projektkoordinator in Freiberg, und mit Prof. David Rafaja geführt. Wir diskutierten beispielsweise, wie einer meiner Studenten den praktischen Teil seiner Masterarbeit an der TU Bergakademie Freiberg durchführen kann. Im September 2011 war es dann soweit – der Student führte fünf Monate lang Experimente unter Betreuung von Prof. Rafaja durch. Kürzlich schloss er sein Masterstudium mit einem ausgezeichneten Ergebnis ab.

Was ist noch Teil der Hochschulpartnerschaft?

Die TU Bagdad erhielt einige Messgeräte und Maschinen aus DAAD-Mitteln: ein Festigkeitsprüfgerät zur Herstellung von Standardprüfkörpern in der Gießerei, CNC-Fräs- und Drehmaschinen und ein Spektrometer, das zur Bestimmung von Elementen im materialwissenschaftlichen Bereich eingesetzt wird. Damit können wir nun zahlreiche Studenten an zeitgemäßen Maschinen ausbilden. Unsere Doktoranden betreiben außerdem Forschung damit. Wir sind sehr zufrieden. Die Geräte bilden die Grundlage für moderne Laboratorien, und wir möchten weitere Geräte aus Eigenmitteln anschaffen. Bei deren Auswahl werden wir von den Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg beraten. Mit Trainings helfen sie uns außerdem, die neue Technologie zu verstehen und zu beherrschen.

Welche Perspektive sehen Sie für die weitere Zusammenarbeit?

Die Kooperation unserer beiden Universitäten sollte weiter ausgebaut werden. Für die hoffentlich nicht allzu ferne Zukunft hoffe ich auf eine stabile Sicherheitslage im gesamten Irak und würde mich freuen, dann die ersten Studierenden, Doktoranden und Hochschullehrer an unserer Universität in Bagdad begrüßen zu können.

Durchs wilde Kurdistan – ein Erfahrungsbericht von Anna Seither

„In den Irak, bist du verrückt? Anna, kannst du dir nicht irgendein anderes Land aussuchen?“ – Meine Eltern waren nicht begeistert, als ich ihnen von meinen Plänen erzählte. Prof. Merkel, der Leiter des Projekts Geoscience Resources Iraq, hatte meiner Kommilitonin Karin Heiland und mir ein spannendes Thema für unsere Diplomarbeit angeboten – die Untersuchung einer Karsthöhle im kurdischen Teil des Iraks.

Die meisten der bekannten Karsthöhlen entstehen durch Lösung der Carbonatgesteine Kalk und Dolomit durch Kohlensäure. In diesem Fall jedoch handelt es sich um eine sog. Schwefelsäure-Karsthöhle. Schwefelwasserstoff steigt aus dem Untergrund auf, entgast in den Höhlenraum und bildet Schwefelsäure. Das Karbonatgestein kann der Schwefelsäure nicht standhalten, löst sich auf, und es bildet sich Gips. Die Gipsschichten werden immer dicker und schwerer, sodass sie nach und nach zu Boden fallen. Bäche und Flüsse, die durch die Höhle fließen, lösen den Gips auf und tragen ihn davon. Auf diese Weise werden die

Höhlen im Laufe der Zeit immer größer.

Unsere Aufgabe sollte es sein, den Ursprung der Höhle und der dort vorkommenden säurehaltigen Wässer mit Hilfe von wasserchemischen, mineralogischen, mikrobiologischen sowie isotope-geochemischen Untersuchungen besser zu verstehen. Fragen, mit denen wir uns beschäftigen sollten, waren unter anderem: Wo kommt der Schwefelwasserstoff her? Kommt er vielleicht aus dem Erdöl, das sich im Untergrund verbirgt? Welche Rolle spielen Bakterien bei der Entstehung und Vergrößerung der Höhle?

Am 11. September 2011 reisten wir also voller Erwartungen (und mit Rucksäcken voller Probengefäße, Elektroden, zwei Gasmasken und Stirnlampen) nach Sulaimania, der kulturellen Hauptstadt der Autonomen Region Kurdistan im Irak. Gemeinsam mit irakischen Medizinstudentinnen lebten wir sechs Wochen lang in einem Mädchenwohnheim inmitten der Altstadt Sulaimanias.

Die Karsthöhle liegt ungefähr zwei Stunden von Sulaimania entfernt. Während dort noch erträgliche 40 °C herrschten, glich das Aussteigen aus dem klimatisierten Geländewagen an der Höhle dem Öffnen einer Backofentür. Trockene, heiße Luft schlug uns entgegen. Das Gebiet wird zu Recht Garmian (= sehr heiß)

genannt. Die Höhle selbst ist sehr beeindruckend. An der Erdoberfläche sieht man davon zunächst nur ein großes, rundes Loch. Zuerst über eine Leiter, dann mit ein wenig Kletterei, gelangt man schließlich in einen großen Höhlenraum. Wasser bedeckt den Großteil des Bodens. Elementarer Schwefel und wunderhübsche Gipskristalle dekorieren die Wände. Weiße schleimige Biofilme bedecken kleine Pools mit saurem Wasser, und es riecht überall nach Schwefelwasserstoff. Die Schwefelsäure in der Höhle wurde für uns zu einem Problem. Wir mussten uns mehrmals neue Hosen kaufen, da die Säure unsere Kleidung zersetzte. Waren wir nicht im Gelände, arbeiteten wir am Kurdistan Institute for Strategic Research and Scientific Studies, um DNA aus den Bakterien der Biofilme zu extrahieren, einige wasserchemische Untersuchungen durchzuführen und die nächsten Geländetage zu planen. Der Großteil der Analysen konnte aus messtechnischen Gründen leider erst in Deutschland durchgeführt werden.

Rückblickend möchte ich sagen, dass die Zeit in Kurdistan unglaublich aufregend, aber auch anstrengend war. Sechs Wochen lang waren wir Teil einer anderen Kultur, und unsere Tagebücher quollen über von festgehaltenen Eindrücken.



Shaguft Abubakir Ali

Die Karsthöhle im Gebiet Garmian, in der Anna Seither und Karin Heiland hydrogeochemische und mikrobiologische Untersuchungen durchführten



Molycorp Mountain Pass Rare Earth Facility in der kalifornischen Mojavewüste – das einzige Vorkommen von Seltenerdmetallen in Nordamerika und einer der wenigen Plätze, wo diese Materialien außerhalb Chinas zu finden sind

Strategische Rohstoffe – Risikovorsorge

Das 4. Symposium Freiburger Innovationen 2012

Jörg Matschullat¹, Martin Bertau, Jens Gutzmer und Peter Kausch

Was nützt die beste Idee zur Entwicklung einer neuen Technik, wenn die dafür notwendigen Rohstoffe entweder viel zu teuer oder erst gar nicht verfügbar sind? Was bedeutet technologische Führerschaft, wenn nicht mehr der Beweis erbracht werden kann, dass neue Ideen auch dem harten Test der Wirklichkeit standhalten?

Diesen und vielen weiteren Fragen galt die Veranstaltung, die im April 2012 nunmehr zum vierten Mal stattfand und Vortragende und Gäste aus allen Kontinenten nach Freiberg lockte. Es hatte im Jahr 2000 sehr klein angefangen. Peter Kausch, damals noch Lehrbeauftragter, später als Honorarprofessor an unsere Universität berufen, lud führende Vertreter der internationalen Rohstoffwirtschaft zu Vorträgen an unsere Alma Mater. Exzellente Präsentationen und offene

Diskussionen – u. a. mit führenden Vertretern von Anglo Gold, BHP Billiton und Rio Tinto – begeisterten die damals äußerst übersichtliche Zahl von Teilnehmern. Im April 2010 fand das dritte Symposium zum Thema Rohstoffe und Energie statt; der Jahresband unseres Vereins der Freunde und Förderer berichtete (17. Jg., 2010: 62f.). Aus der Veranstaltung entstand mit Unterstützung des Vereins ein Buch – und dieses wurde ein Verkaufsschlager. Das zudem äußerst positive Echo seitens der Vortragenden und Teilnehmer ermutigte die Veranstalter, im Jahr 2012 das Thema weiter zu verfolgen und mit dem Fokus auf strategische Rohstoffe erstmals gemeinsam mit dem Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) einzuladen.

Ganz bewusst sollte die Veranstaltung intim sein und bleiben; mit 120 Teilnehmern im Jahr 2012 wurde dies auch erreicht: statt großem Auflauf wieder nur höchste Qualität, handverlesene und ge-

zielt eingeladene Referenten und ein Fachpublikum, das in diesem Rahmen den idealen Hintergrund für Gespräche und Verhandlungen über künftige Zusammenarbeit und gegenseitigen Austausch fand. Der Vertreter einer auf die Rohstoffwirtschaft spezialisierten Privatbank berichtete zufrieden von vier Vorabschlüssen; australische und kanadische Fachkollegen gaben zu Protokoll, dass es die beste Tagung gewesen sei, an der sie jemals teilgenommen hätten. Was kann man mehr wünschen?

Unter der Schirmherrschaft des Bundeswirtschaftsministers Philipp Rösler und nach gastfreundlicher Eröffnung durch Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm, den wissenschaftlichen Direktor des Helmholtz-Zentrums Rossendorf, Prof. Roland Sauerbrey, und Rektor Prof. Bernd Meyer, ging es *in medias res* mit den Themenblöcken Rohstoff-Management, Primäre Rohstoffe, Sekundäre Rohstoffe und Recycling sowie Verarbeitung und Produkte.

Rohstoff-Management

Der erste Themenblock wurde durch einen substantziellen Beitrag von Werner Rissing, Ministerialdirektor am BMWi,

¹ Prof. Dr. Jörg Matschullat, Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, TU Bergakademie Freiberg, Brennhausgasse 14, D-09599 Freiberg, joerg.matschullat@ioez.tu-freiberg.de

eingeleitet. Dieses politische Urgestein machte unmissverständlich deutlich, dass es wohl nur dank sturer Köpfe und Institutionen wie der TU Bergakademie Freiberg heute möglich ist, das wieder aufgekeimte Bewusstsein für die Notwendigkeit der Ressourcenkompetenz in Deutschland und Europa in sinn- und kraftvolle Aktivitäten umzusetzen, was die Bundesregierung nicht zuletzt auch mit der Gründung des HIF honoriert.

Der weltweit vielleicht bedeutendste Chemiekonzern, BASF, vertreten durch Joaquim-Felipe Fünfgeld, zeigte am Beispiel der Seltenen Erden die neue Rohstoffeinkaufspolitik des Konzerns, der erkannt hat, dass es nicht genügt, sich auf den Einkauf von strategischen Rohstoffen zu beschränken, sondern dass es tatsächlich der eigenen Expertise, zuverlässiger Partner und eines dauerhaften Zugriffs bedarf, sowohl um Innovationen zu ermöglichen und zur Marktreife zu bringen als auch um Kunden auf hohem Qualitätsniveau dauerhaft und zuverlässig bedienen zu können.

Aus Sicht eines Geowissenschaftlers und Investors referierte Dr. Joachim Berlenbach von der Earth Resources Investments AG, Lehrbeauftragter der Bergakademie, der seine Erfahrung regelmäßig auch in Spezialvorlesungen den Geowissenschaftlern unserer Fakultät 3 vermittelt. Berlenbach ließ die Zuhörer hinter die Kulissen der Entwicklung des Weltrohstoffbedarfs und der daraus resultierenden Herausforderungen für die Explorations- und Bergbauindustrie blicken. Sein Fazit für die zukünftige Versorgung mit dringend benötigten Rohstoffen fiel ernüchternd aus, wesentlich mit Blick auf den hohen Finanzbedarf der Industrie und das fehlende Vertrauen der Investoren auf den internationalen Finanzmärkten.

Diese Sicht teilte Dr. Volker Steinbach, Leiter der Deutschen Rohstoffagentur (DERA), mit einem aktuellen Übersichtsbeitrag zur Bedeutung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe und der (Dienstleistungs-)Rolle der DERA. Besonders interessant war bei ihm der breite Überblick – auch zur Vernetzung mit mächtigen Partnern wie dem Geologischen Dienst der USA (USGS).

Abgeschlossen wurde der Themenblock mit einem Vortrag von Georg Hirt, Siemens AG, der zum Thema „Seltene Erden aus Sicht der endverbrauchenden Industrie“ sprach. Egal, ob es um Technologien für Kommunikation, Mobilität

oder regenerative Energien geht: Die Abhängigkeit von Seltenerdelementen (SEE) ist sehr hoch und teilweise kritisch. Zugleich betonte er – wie die Kollegen der BASF – die Verpflichtung der führenden deutschen Industrie zur Nachhaltigkeit in allen Schritten der Rohstoffkette und damit nicht allein die Wahrnehmung entsprechender Verantwortung, sondern auch das Setzen von Standards.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass nicht das Factum möglicher Rohstoffverknappung die Diskussion der absehbaren Zukunft prägt, sondern die Frage des Zugriffs auf die Ressourcen und der klugen Investitionspolitik, um diese Zukunft mitgestalten zu können und den Technologie- und Industriestandort Deutschland konstruktiv zu behaupten.

Primäre Rohstoffe

In dieser Runde sprach zunächst Dudley Kingsnorth, Professor für Rohstoffwirtschaft an der Curtin Universität in Perth, Australien, und zugleich einer der Schlüsselberater der globalen Rohstoffwirtschaft zum Thema „Können wir die Versorgung mit Seltenerd-Elementen ernsthaft sichern?“. Anders als bei den Vorträgen von BASF und Siemens ging es hier um Lagerstätten – die Potenziale von bekannten und die Aussichten von derzeit in Exploration und Entwicklung befindlichen – und deren Marktfähigkeit in Konkurrenz mit dem heutigen Marktführer VR China.

Professor Yury Voytekhovskys Beitrag im Anschluss passte perfekt dazu. Er zeigte am Beispiel der Kola-Halbinsel das dortige Rohstoffpotenzial, speziell der Seltenen Erden, und die dortigen Entwicklungschancen auf. Zugleich wies er jedoch auch auf die wirtschaftspolitischen Hindernisse hin, die nach wie vor – und derzeit eher noch stärker als vor wenigen Jahren – in Russland existieren. Zu diesem konkreten Thema waren dann die Pausengespräche mehr als spannend, in denen intime Kenner der russischen Verhältnisse und teilweise Freiburger Alumni deutlich machten, welche Wege es dennoch gäbe, um entsprechende Hindernisse weitgehend aus dem Weg zu räumen.

Der nachfolgende Vortrag von Professor Wolfgang Voigt, Fakultät 2, zur Lithiumgewinnung aus Primärrohstoffen nahm dasselbe Thema auf. Während sein Ausblick auf die Verhältnisse in Bolivien eher ernüchternd klang, zog er dennoch eine positive Bilanz; denn nicht zuletzt

auch Lagerstätten in unmittelbarer Nähe Freibergs einerseits und andererseits neue Gewinnungstechniken geben Anlass zur Hoffnung, genügend Lithium für die Versorgung der wachsenden Elektromobilität auf längere Sicht zu akzeptablen Marktpreisen gewinnen zu können.

Den Abschluss bildete dann der engagiert gehaltene Beitrag von Professor Jens Gutzmer, der sich der Frage annahm, wie die Versorgungsprobleme mit wirtschaftskritischen Rohstoffen zu erklären sind. Er kam zu dem Resultat, dass Abhängigkeiten, resultierend aus der sehr ungleichen geologischen Verteilung von Lagerstätten, klar unterschieden werden müssen von solchen, die durch die Dominanz der VR China auf dem Rohstoffmarkt oder durch technologische Defizite entstehen, da nur die erstgenannten Abhängigkeiten unvermeidbar sind.

Fazit des zweiten Themenblocks ist ganz eindeutig, dass es in absehbarer Zeit definitiv nicht um Rohstoffverknappung aus Mangel an primären Rohstoffen geht, sondern um teilweise erhebliche Herausforderungen in Bezug auf die Zugänglichkeit dieser Rohstoffe und bei der Finanzierung. Die gute Nachricht ist, dass weltweit erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um die Abhängigkeit von einzelnen Liefergebieten zu reduzieren.

Sekundäre Rohstoffe und Recycling

Nicht allein wegen des zuvor Beschriebenen, sondern auch deshalb, weil längerfristig eine wachsende Weltbevölkerung sowohl aus Versorgungs- als auch aus Nachhaltigkeitsgründen auf effizienteres Recycling und die Nutzung von Sekundärrohstoffen angewiesen sein wird, wurde dem Thema entsprechende Aufmerksamkeit zuteil. Beeindruckende Vorträge zeigten den Stand der Technik und absehbare Entwicklungen, die nicht nur Hoffnungen auf erhebliche Effizienzsteigerungen begründen, sondern teilweise großen Respekt angesichts bereits erreichter Leistungen abnötigen.

Ulrich Kammer, Direktor der Preussag Pure Metals, illustrierte eindrucksvoll den Stand der Technik zum Recycling von Gallium, Germanium und Indium – mit Beispielen, die noch vor sehr kurzer Zeit als Zukunftsmusik oder gar Phantasie abgetan worden wären. Ebenso wie im Vortrag seines Nachredners, Christian Hagelüken von Umicore, zeigte sich, dass grundsätzlich gerade klassische Recycling- und Hüttenfachbetriebe ein

besonders hohes Innovations- und Entwicklungspotenzial haben und nutzen, um erfolgreicher als Nischenentwickler ein breites Spektrum von Elementen wirtschaftlich in den Kreislauf zurückbringen zu können.

Nicht weniger Mut und Freude machten die weiteren Vorträge – von Wolfram Palitzsch (Loser-Chemie) zum Recycling von Dünnschichtsolarmodulen und von Prof. Harald Weigand zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm. An beiden Themen ist die TU Bergakademie Freiberg nicht ganz unbeteiligt. Das Beispiel von Loser-Chemie unterstrich, dass Prozesse, die noch vor wenigen Jahren als unwirtschaftlich oder undurchführbar galten, heute bereits (noch bei sehr wenigen Unternehmen) als Stand der Technik bezeichnet werden müssen. Dass die P-Rückgewinnung aus Klärschlamm eher an rechtlichen und bürokratischen Hürden zu scheitern droht, gibt wiederum Hoffnung, denn Richtlinien lassen sich sicherlich schneller ändern, als dass nicht vorhandene Lagerstätten herbeigezaubert werden könnten. Dennoch wird der Recyclingdünger produziert – und gekauft, was an einem Beispiel aus Sachsen-Anhalt eindrücklich demonstriert wurde. Die Herausforderung hierbei scheint zu sein, seitens des Gesetzgebers einen vermeintlichen Abfall nicht als Müll, sondern eben als Sekundärrohstoff zu betrachten.

Verarbeitung und Produkte

Die Herausforderungen enden bekanntlich nicht, wenn der Rohstoff aus primären oder sekundären Quellen zur Verfügung steht. In beiden Fällen stehen die saubere Trennung und Anreicherung vor jeglicher Rohmaterialproduktion und Produktwerdung.

So berichtete Roland Stepputat von der Vacuumschmelze GmbH über den aktuellen Stand bei der Nutzung von Seltenerdmetallen mit einem Schwerpunkt auf der (Permanent-)Magnet-Herstellung und der hierbei absehbaren Entwicklung in den kommenden Jahren. Die Leistungsanforderungen steigen, was die Kosten in die Höhe treibt. Zugleich verbessert sich damit jedoch auch die Wirtschaftlichkeit der Nutzung sekundärer Rohstoffe, und es wächst die Motivation dafür, schon bei der Produktplanung an Recycling und Nachnutzung zu denken. Hier breitet sich der Gedanke des *cradle to cradle* zunehmend aus, und nicht nur einmal hatten die Teilnehmer den Ein-

druck, dass die führende Industrie der Politik ein paar Schritte voraus ist.

David Kennedy, Direktor der Great Western Minerals Group, erläuterte die Verarbeitung der Seltenerdelemente eindrücklich und nahm den zuvor verfolgten Faden der entsprechenden primären und sekundären Rohstoffe wieder auf. Sein Beitrag wurde von Patrick Taylor von unserer Partneruniversität, der Colorado School of Mines, in einem Übersichtsvortrag zum Stand der Aufbereitungstechnik und zu den auf diesem Gebiet zu erwartenden Entwicklungen komplementär diskutiert. Interessant war dabei, dass in den USA die Diskussion um kritische Rohstoffe früher begonnen hat, die Umsetzung in neue Forschungs- (HIF)- und Beratungs-(DERA)-Kompetenz dagegen in Deutschland sehr viel rascher und nachhaltiger erfolgt ist.

Dieser letzte Tagungsblock endete mit dem herausragenden Vortrag von Prof. Gerhard Roewer von unserer TU Bergakademie Freiberg zum Thema Konsequenzen der modernen Germaniumchemie. Roewer spannte den Bogen von der Entdeckung der siliciumverwandten Elemente über grundsätzliche physikochemische Randbedingungen bis zu derzeit erkennbaren und sich rapide entfaltenden Entwicklungssträngen, die absehbar zu neuen Produkten und Leistungen führen werden. Dass er weiß, wovon er spricht, hat Kollege Roewer vielfach und nicht zuletzt auch durch sehr erfolgreiche einschlägige Unternehmensausgründungen einiger seiner Schüler bewiesen.

Der Abschluss der Tagung fand gleich zweimal statt. Zuerst im Vortragssaal der Alten Mensa mit einem kritischen Fazit von Prof. Jörg Matschullat unter dem Titel „Rohstoffe und Umwelt – machen wir uns etwas vor?“ und im Anschluss mit einem gemeinsamen Ausklang des Symposiums in der „Stadtwirtschaft“, deren Räumlichkeiten kaum ausreichten. Denn die Tagung hatte nicht allein viele Interessierte angezogen – diese blieben auch noch ganz bis zum Ende und hatten offensichtlich an Freiberg Gefallen gefunden. Für alle, die dieses Symposium verpasst haben, und jene, die noch etwas tiefer in die Materie eindringen wollen, darf verraten werden, dass voraussichtlich im Jahr 2013 ein von den Veranstaltern und Autoren dieses Beitrags herausgegebenes Buch im Spektrum Verlag (Springer) erscheinen wird, das die Beiträge des Symposiums im Wesentlichen enthalten wird.

Freiberger Forschungsforum

63. Berg- und Hüttenmännischer Tag

Der Berg- und Hüttenmännische Tag ist die wissenschaftliche Hauptveranstaltung der TU Bergakademie Freiberg und erlebte 2012 seine 63. Auflage unter dem Leitthema Nachhaltige Energienutzung.

Plenarvortrag: Prof. Klaus Töpfer, ehemaliger deutscher Umweltminister, referierte in seinem Vortrag über die Herausforderungen der Energiewende.

Fachkolloquien:

- FK 1: Gas- und Wärmetechnisches Kolloquium mit Absolvententreffen
- FK 2: Energiemanagement und -politik aus einzel- und gesamtwirtschaftlicher Sicht
- FK 3: Mathematik in den Ingenieurwissenschaften
- FK 4: Bodenverflüssigung bei Kippen des Lausitzer Braunkohlebergbaus
- FK 5: Magnesiumknetlegierungen: Ressourceneffiziente Verarbeitungsverfahren und Anwendungen
- FK 6: Anforderungen an die Betriebsorganisation in Bergwerksbetrieben durch Veränderungen von behördlichen Vorgaben und Arbeitsplatzgrenzwerten
- FK 7: Aufbruch zu unkonventionellen Fluidlagerstätten
- FK 8: Materialien unter extremen Bedingungen
- FK 9: SFB 799 TRIP-Matrix-Composite
- FK 10: Rechtliche Grundlagen der Bergbausanierung – Fachkolloquium des Sächsischen Oberbergamts
- FK 11: Potenziale regenerativer Energieerzeugung in ehemaligen Bergbauregionen

Rahmenkolloquien:

- RK 1: Agricola-Kolloquium
- RK 2: 7. Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler

Berichte zu den einzelnen Kolloquien:

<http://tu-freiberg.de/researchforum>

Der **64. Berg- und Hüttenmännische Tag** findet am 12. bis 14. Juni 2013 statt. Informationen erhalten Sie über Frau Löttsch (Telefon: 03731 39-2585).

Mission (Im)possible?

Die Energiewende als Auftaktthema der Freiburger Zukunftsgespräche

Silke Gloaguen, Andrea Hanebuth

Deutschland ist eine bedeutende Industrienation, und die Gewährleistung einer langfristigen Energieversorgung ist für unser Land essenziell. Im Zuge des Atomausstiegs, der Verknappung fossiler Ressourcen und mit dem Anspruch umweltschonender Energieerzeugung gilt es nun, die sogenannte Energiewende umzusetzen. Dieser Umbruch bedeutet eine radikale Neugestaltung unseres Energiesystems und ist mit zahlreichen technischen, gesellschaftlichen und politischen Herausforderungen verbunden, die es zu verstehen und zu meistern gilt. Deutschland nimmt im globalen Kontext diesbezüglich eine Vorreiterrolle ein, was eine erfolgreiche Umsetzung der Wende umso wichtiger macht. Als renommierte Ressourcenuniversität nimmt sich die TU Bergakademie Freiberg dieser Themen an und beschäftigt sich mit Problemkreisen, die sowohl technische als auch soziale, politische und wirtschaftliche Aspekte der Energieversorgung betreffen.

Durch seine Forschung im Rahmen des Deutschen EnergieRohstoff-Zentrums (DER) leistet der Lehrstuhl für ABWL, insbesondere Unternehmensführung und Personalwesen (Prof. Michael Nippa), mit vier Doktorandinnen (Andrea Hanebuth, Katarina Jagiello, Silke Gloaguen und Roh Pin Lee) einen wesentlichen Beitrag zur Suche nach Antworten auf diese Fragestellungen, u. a. im Bereich der Technologieakzeptanzforschung. Ende des Jahres 2011 engagierten sich die Mitarbeiterinnen des Lehrstuhls daher auf Initiative von Frau Dr. Kristina Wopat bei der Konzipierung der Freiburger Zukunftsgespräche. Diese neu ins Leben gerufene Gesprächsreihe soll Nachwuchswissenschaftlern eine Plattform bieten, auf der sie Kenntnisse und Gedanken zu aktuellen ressourcenbezogenen Themen über ihre Disziplinen hinweg austauschen. In einem Team, bestehend aus den Doktorandinnen der wirtschaftswissenschaftlichen Forschungslinien des DER, der GraFA und weiteren engagierten Nachwuchswissenschaftlern/innen der Universität, wurde ein Konzept für einen partizipativen Dialog erarbeitet, der es ermöglichen soll, ein grundlegendes Thema in seiner vollen Breite unter Hinzuziehung einschlägiger Experten als auch interessierter Nachwuchswissenschaftler unterschiedlicher Fachrichtungen zu erörtern. „Das von der GraFA und den Nachwuchswissenschaftlern erarbeitete Konzept bot die Grundlage für eine Reihe der Freiburger Zukunftsgespräche. Wir als Mitarbeiter des DER freuen uns, dass wir die Thematik „Energie-Wende – Mission (Im)possible?“ hier platzieren konnten“, so Katarina Jagiello Lee vom DER.

Bei der Auftaktveranstaltung der Gesprächsreihe am 18. Januar 2012 trafen Experten aus Wirtschaft, Politikberatung, Medien und Wissenschaft in der Alten Mensa auf ca. 50 Freiburger Nachwuchswissenschaftler. Dagmar Dehmer-Omondi (Redakteurin beim Berliner Tagesspiegel), Roh Pin Lee (Doktorandin am DER/Lehrstuhl für ABWL, insbesondere Unternehmensführung und Personalwesen der TU Bergakademie), Dr. Manfred Goedecke (stellvertretender Hauptgeschäftsführer der IHK Chemnitz), Prof. Timo Leukefeld („Energie verbindet“) sowie Martin Reimer (Sächsische Energieagentur) standen auf dem Podium zunächst Rede und Antwort und gaben einleitend Einblicke in die Bedeutung der Energiewende und deren Auswirkungen auf ihr jeweiliges Tätigkeitsumfeld. Im anschlie-

ßenden offenen Diskussionsforum tauschten dann Experten und Nachwuchswissenschaftler intensiv ihre Ansichten zu technischen, politischen, ökonomischen, ökologischen sowie gesellschaftlichen Problemen der Energiewende aus. Kritisch hinterfragt wurde die Rolle der Politik, deren Aufgabe es ist, die erforderlichen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Realisierung der Energiewende zu schaffen. Uneinigkeit und unterschiedliche Interessenlagen von Akteuren auf dem politischen Parkett erschweren jedoch eine Konsensbildung und das Zustandekommen eines klaren Fahrplans. Viele Teilnehmer nehmen die gegenwärtige Förderpolitik als Marktverzerrung wahr und vermissen klare Botschaften hinsichtlich der auf die Bevölkerung zukommenden zusätzlichen Energiekosten. Die einschlägigen Kostenberechnungen und -prognosen seien vielfach widersprüchlich. Je nach Interessenlage oder den zu Grunde gelegten Annahmen resultieren deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Hochrechnungen. Intensiv diskutiert wurde außerdem der Problemkreis der Stromspeicher und -netze, der sich als eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahre darstellt. „Wenn Deutschland die Energiewende nicht erfolgreich meistert, würde diese auch von anderen Nationen kritisch gesehen, denn Deutschland gilt hier als Vorbild“, kommentierte Roh Pin Lee. Die Energiewende wird als ein sehr komplexes und vielschichtiges Thema empfunden. Die Charakterisierung des Bedarfs an einer interdisziplinären Betrachtung der Vorgehensweisen und Auswirkungen war ein Ergebnis des Dialogs. Eine stärker zielgerichtete Politik, Technologieentwicklung und -förderung sowie eine plausible Kommunikation sind wünschenswert, denn nur daraus können die Nachvollziehbarkeit von entsprechenden Entscheidungen und das Vertrauen der Bevölkerung in die Bemühungen um ihre erfolgreiche Umsetzung erwachsen.

Der lebendige Meinungs Austausch sowie die Breite und Tiefe der in der Diskussion entstandenen Ergebnisse verdeutlichen, dass die Freiburger Zukunftsgespräche eine exzellente Plattform für junge Wissenschaftler bieten, auf der sie untereinander sowie mit Experten ins Gespräch kommen und sich über Themen mit gesellschaftlicher Brisanz, die im direkten Bezug zur Ausrichtung der Bergakademie in Forschung und Lehre stehen, austauschen. Auch die geladenen Experten zogen ein positives Fazit. Dr. Manfred Goedecke von der IHK Chemnitz merkte an, dass die Diskussion zur Energiewende insgesamt stark von Halbwissen geprägt ist und die Experten manchmal zu scheu seien, darüber zu diskutieren. Plattformen wie diese können daher ein Motor sein, um den notwendigen Informationsaustausch zu initiieren. „Unsere besondere Kompetenz ist, dass wir Wissenschaftler aus verschiedenen Fachgebieten zusammenführen und so komplexe Fragen wie die der Energiewende diskutieren können. Und das wollen wir ausbauen“, so Dr. Wopat im Schlusswort zur Veranstaltung. Die Freiburger Zukunftsgespräche sollen künftig halbjährlich stattfinden. Das DER wird sich auch weiterhin in diese Initiative einbringen, um einen partizipativen und interdisziplinären Austausch über Fragen der Ressourcenforschung und -wirtschaft zu unterstützen.

Dem neuen Berggeschrey in Sachsen verpflichtet Interview mit dem Freiburger Oberberghauptmann Bernhard Cramer



Torsten Mayer / TU Bergakademie Freiberg

Seit dem 1. Dezember 2011 ist Prof. Dr. Bernhard Cramer Leiter des Sächsischen Oberbergamts. Der 47-jährige Geologe trat damit die Nachfolge von Prof. Reinhard Schmidt an, der nach 20-jährigem Wirken in den Ruhestand ging. Der neue Oberberghauptmann arbeitete zuvor in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover. Dort leitete er die Unterabteilung Energierohstoffe. Als Honorarprofessor an der Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover lehrt Cramer seit 1999 Lagerstättenkunde. In einem Interview für ACAMONTA sprach Christel-Maria Höppner mit ihm über die neue Herausforderung als Chef der obersten sächsischen Bergbehörde sowie seine Erlebnisse und Erfahrungen aus den ersten Monaten an seiner Wirkungsstätte in Freiberg.

Seit rund einem Jahr sind Sie im Amt. Wie wurden Sie, der aus dem Norden kommt, in Sachsen aufgenommen?

Mir war klar, wenn man als in Sachsen relativ Unbekannter und daher für die meisten als Außenstehender in dieses Amt kommt, dass es unterschiedliche Reaktionen auf meine Berufung gibt. Ich habe aber wenige Vorbehalte wahrgenommen. Meist war es umgekehrt. Sowohl bei beruflichen als auch privaten Begegnungen wurde mir Interesse und Aufgeschlossenheit entgegengebracht. Ich interpretiere das für mich so, dass

die Erwartung besteht, neue Akzente zu setzen. Mein Blick von außen, die beruflichen Erfahrungen, meine Vorbildung und Prägung einzubringen in diese Region, das stellt ja für beide Seiten eine Chance dar. Positiv nahmen mich auch die Mitarbeiter im Oberbergamt auf. Mit meinem Vorgänger, Prof. Schmidt, verbindet mich ein kollegiales Verhältnis. Er unterstützte mich sehr in der Übergangszeit, und wenn ich Fragen habe, kann ich mich an ihn wenden.

Welche Aufgaben standen in den ersten 100 Tagen für den Chef des Oberbergamts im Mittelpunkt?

In dieser Zeit habe ich zunächst viel zugehört. Man fängt an zu agieren, versucht die neue Umgebung mit allen Sinnen zu erforschen, sich einzulesen und die vielen Personen, die man in kürzester Zeit kennenlernt, einzuordnen. Die ersten vier Wochen waren dabei eher eine körperlich anstrengende Zeit. Mein Dienstbeginn war der 1. Dezember. Und wie in Sachsen üblich, fanden in diesem Monat viele Metenschichten statt. Diese Tradition besitzt speziell im Erzgebirge eine hohe Intensität und Dichte, es war Stehvermögen gefragt. Da zu diesen festlichen Zusammenkünften auch Rechenschaft über die Ergebnisse des zu Ende gehenden Jahres abgelegt wurde, gab es für mich neben dem Kennenlernen der Region zusätzlich

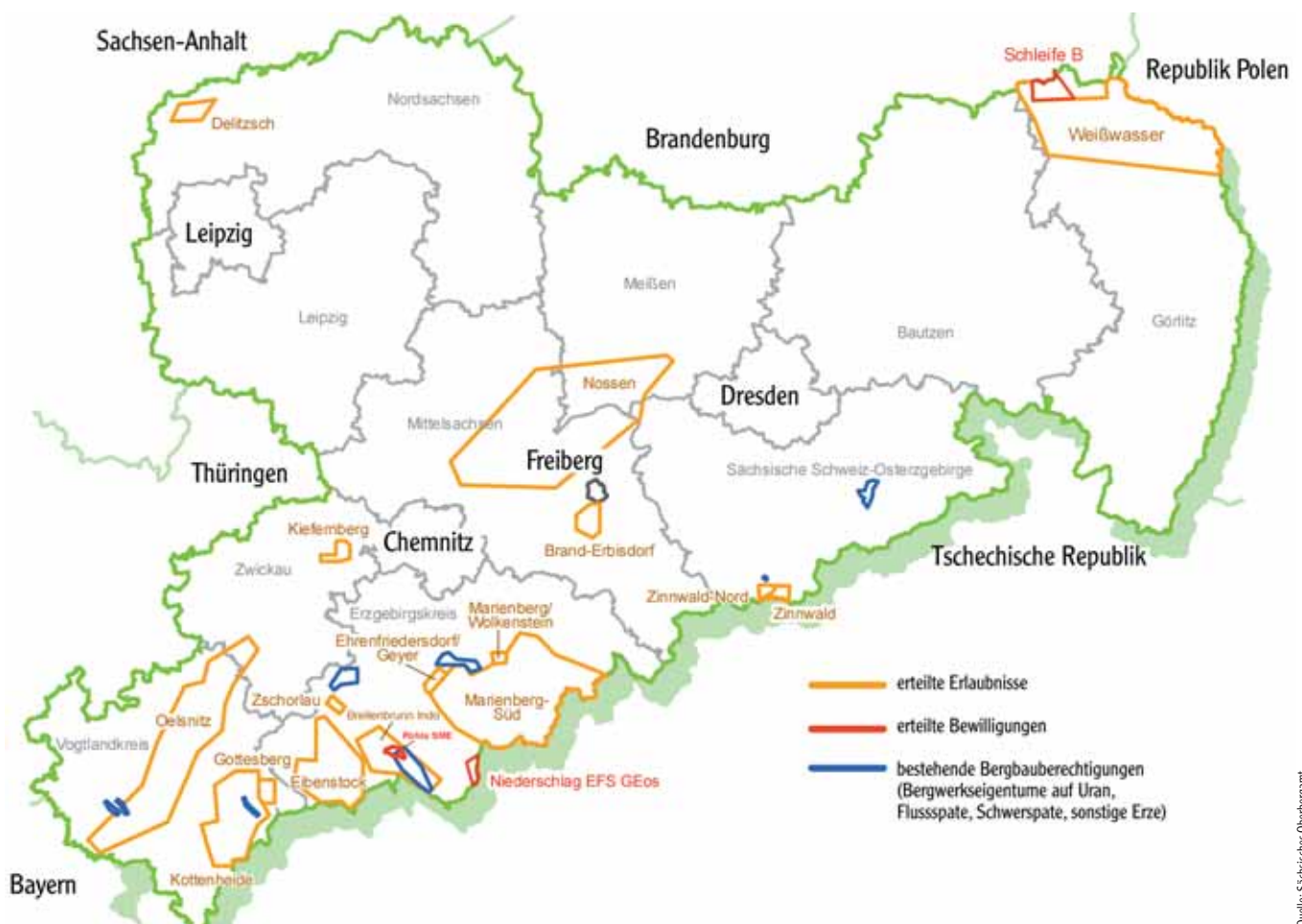
VITA BERNHARD CRAMER

- 1965 in Hamburg geboren
- 1988 bis 1994 Studium an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel, Abschluss als Diplom-Geologe
- 1994 bis 1997 Wissenschaftler am Forschungszentrum Jülich, Institut für Erdöl und Organische Geochemie
- 1997 Promotion zum Dr. rer. nat. an der Christian-Albrechts-Universität Kiel zur Entstehung der Erdgaslagerstätte Urengoi, Sibirien
- 1997 bis 2003 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Rohstoff-geochemie, Erdöl- und Erdgasgeologie
- 2004 bis 2005 Rohstoffreferent am Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit Berlin
- 2005 zurück zur BGR, zuletzt Leiter der Unterabteilung Energierohstoffe
- 2007 Honorarprofessor Lagerstättenkunde an der Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover
- Seit 1. Dezember 2011 Leiter des Sächsischen Oberbergamts
- Familienstand: verheiratet, 3 Kinder

vielfältige Informationen, die hilfreich für die nun anstehenden Aufgaben sind. Im Januar begann dann die eigentliche Zeit der inhaltlichen Einarbeitung. So nach und nach setzte auch die Außenwirkung ein. Von mir wird erwartet, dass ich das neue Berggeschrey in Sachsen aktiv verfolge, fördere und engagiert begleite. Neben dem aktiven Bergbau auf Braunkohle und Steine und Erden, dem Altbergbau und der Wismutsanierung liegt mir persönlich die Braunkohlesanierung am Herzen. Hier müssen in der Lausitz Lösungen zur Stabilisierung der Innenkippen umgesetzt werden.

In einem Pressebeitrag äußerten Sie, dass Sie sich auf Freiberg und die neuen Herausforderungen gefreut haben. Sind inzwischen Alltag und Routine eingelebt?

Auf meine neue Tätigkeit in Freiberg habe ich mich sehr gefreut und kann sagen, dass ich diesen Schritt nicht bereut habe. Wer wie ich schon länger in diesem Metier arbeitet, für den ist Freiberg ein Name, mit dem viele positive Assoziationen zum Bergbau verbunden sind. Immerhin ist das Sächsische Oberbergamt die älteste deutsche Bergbehörde und in Nachfolge von Persönlichkeiten wie Abraham von Schönberg, Hans Carl von Carlowitz oder Friedrich Wilhelm von



Quelle: Sächsisches Oberbergamt

Bergbauberechtigungen auf Erze und Spate. Stand 11. September 2012

Oppel zu wirken, ist Ansporn und Verpflichtung. Alltag ist bei mir noch nicht eingekehrt und Routine im positiven Sinn ebenso wenig. Das Oberbergamt mit seinen knapp 80 Mitarbeitern hat ein umfangreiches Pensum zu bewältigen: Es ist für die Betriebsaufsicht über knapp 300 Gewinnungsbetriebe, die Arbeitssicherheit und den Gesundheits- und Umweltschutz im sächsischen Bergbau zuständig. Das Gros stellen die Betriebe des Steine- und Erdenbergbaus dar, hinzukommen die vier Braunkohletagebaue Nochten, Reichwalde, Vereinigtes Schleenhain und Profen sowie knapp 80 Gewinnungsbetriebe ohne Förderung und über 100 Sanierungsbetriebe und -anlagen. Gerade im Erzgebirge nicht zu vergessen sind die Schadensereignisse durch historischen Altbergbau. Da hält jeder Tag Überraschungen bereit.

Es wird viel vom neuen Berggeschrey gesprochen. Was bedeutet Ihnen der Begriff?

Für mich besitzt er eine positive Prägung: Bergbau als Aufbruchsstimmung, in alter Stärke, mit wirtschaftlichem Nutzen für die Region und mit traditio-

nellen Werten. Ich verbinde damit die Hoffnung auf ein neues Berggeschrey mit modernem, nachhaltigem Bergbau. Sachsen hat das naturgegebene Glück, über viele Rohstoffe zu verfügen, die täglich ge- und verbraucht werden. Neben Braunkohle, Steine und Erden gehören dazu auch bedeutende Vorkommen von Fluss- und Schwerspat und von Metallerzen. Sowohl die Regierung als auch weite Teile der Bevölkerung in Sachsen wollen aktiven Bergbau. Die Ende August 2012 verabschiedete Rohstoffstrategie für den Freistaat betont, dass Sachsen ein Bergbauland bleiben und die eigenen Potenziale und Vorkommen nutzen will. Wir dürfen aber nicht vergessen, dass jede Aktivität im Bergbau von der Weltwirtschaft abhängt. Berggeschrey in Sachsen ist eng mit den globalen Rohstoffmärkten verzahnt. Das beweist nicht zuletzt das Interesse weltweit agierender Bergbaukonzerne an den sächsischen Rohstoffen.

Warum bemühen sich viele ausländische Firmen um eine Bergbauberechtigung?

Bergbau in Sachsen verspricht wirtschaftlich interessant zu sein. Hinter-

grund sind die weltweit gestiegenen Rohstoffpreise. Interessenten aus Südafrika oder Australien beispielsweise kommen selbst aus Bergbauregionen. Erkundungen im Bergbau sind immer ein Risiko und benötigen hohe Finanzmittel, und diese Firmen bringen Investitionsmittel mit. Mit ihrem Geld tragen die ausländischen Unternehmen so einen Teil des Risikos der initialen Bergbauphase.

Wichtig für uns ist, dass die Wertschöpfung des Bergbaus aber in Sachsen erfolgt. Die ausländischen Unternehmen verfügen außerdem über Erfahrung und Wissen in der Erkundung von Lagerstätten und dem Bergbau. Die jetzt aktiven ausländischen Firmen sind aber auch angewiesen auf das regionale bergbauliche Wissen über die Lagerstätten. Daher kooperieren sie in fast allen laufenden Projekten mit sächsischen Fachfirmen.

Ein Teil dieses Wissens um die Lagerstätten stammt wahrscheinlich noch aus Erkundungen der DDR in den 1970er- und 1980er-Jahren. Ich denke da an Lausitzer Kupfer oder an Zinn im vogtländischen Gottesberg beziehungsweise im erzgebir-

gischen Geyer. Werden diese alten Daten überhaupt genutzt?

Aber ja. Dieses Wissen der Geologen stellt eine sehr wichtige Grundlage dar. Die DDR hat damals gründlich Erkundungsarbeiten vorgenommen, die heute durch aktuelle Bohrungen meist bestätigt werden. Diese alten Untersuchungen genügen den aktuellen internationalen Kriterien zur Anwerbung von Bergbauinvestoren aber nicht. Deshalb müssen sie durch neue Bohrungen und aktuelle Lagerstättenabschätzung ergänzt und geprüft werden. Je weiter die Erkundung fortschreitet, umso besser muss das Bild der Lagerstätte sein. Daher werden zusätzlich viele Verdichtungsmessungen durchgeführt. Die Technik hat sich weiter entwickelt, die Bohrungen dringen in andere Tiefen vor. Die neu gewonnenen Daten, die zum Teil in ausländischen Speziallabors analysiert werden, gilt es dann nach vorgegebenen Standards zu bewerten. Erst danach kann man abschätzen, ob sich der zukünftige Abbau lohnt. Der Prozess vom Erteilen der Erlaubnis, also dem Recht auf Erkundung, bis zur Bewilligung auf Bergbau dauert aber seine Zeit. Da gehen meist einige Jahre ins Land.

Die Menschen in den einschlägigen Regionen sind noch stark mit dem Bergbau verbunden und hoffen auf Arbeit ...

Viele Arbeitsplätze entstehen erst, wenn der Bergbau läuft. In Niederschlag beispielsweise, wo das erste „neue“ sächsische Flussspatbergwerk bereits in die Betriebsphase eingetreten ist, sind zwischen 30 und 50 Arbeitskräfte tätig. Ein erstes zartes Pflänzchen ... Für ein wirkliches Bergeschrey reicht das natürlich nicht aus. Die kritische Masse dafür sind vielleicht drei bis fünf neue Bergbaubetriebe. Je nach Lagerstätte und Gewinnungsbetrieb wird es dort ebenfalls keine sehr großen Beschäftigungszahlen geben. Allerdings rechnet man damit, dass in den nachgeordneten Wirtschaftszweigen wie der Aufbereitung oder der Prozessbegleitung auf jeden Bergmann ein Mehrfaches an neuen Arbeitsplätzen in der Region entsteht. Das ergibt dann eine wirtschaftliche Stärkung. Bergbau als Primärwirtschaft funktioniert nur stabil, wenn er etabliert ist und langfristig betrieben werden kann. Diesen Schritt müssen wir noch schaffen.

Wie zeigt sich nun das neue Bergeschrey?

Es geht derzeit schon eine Welle über den Freistaat Sachsen. Wir sprechen von



Detlev Müller / TU Bergakademie Freiberg

Dr. Klaus Grund, der stellvertretende Bergwerksdirektor des Lehr- und Forschungsbergwerks Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg, Dr. Andreas Handschuh, der Kanzler der TU Bergakademie Freiberg, Olaf Einicke, Geschäftsbereichsleiter Bergbau bei der TS Bau GmbH in Jena, und Professor Bernhard Cramer, Leiter des Sächsischen Oberbergamts, zerschneiden das Band vor der neuen Fahrkorbanlage, mit der nun der Rothschöninger Stolln in 230 Metern Tiefe per elektrischem Lift erreichbar ist.

einer intensiven Phase des Erkundungsbergbaus. Genauer: Es wird seit 2007 vor allem Bohrungserkundung an über 15 Standorten zwischen Weißwasser und Zinnwald betrieben. Dabei reicht die Palette der untersuchten Bodenschätze von Kupfer, Zinn, Wolfram, Flussspat, Blei, Eisen, Silber, Zink, Titan, Lithium bis zu Seltenen Erden. Drei Standorte – Niederschlag, Schleife und Pöhla – erhielten bereits die Bewilligung auf Bergbau. In Niederschlag – wie gesagt – wird das Bergwerk gerade aufgefahren. In Pöhla sind Arbeiten zur Vorbereitung des Bergbaus, insbesondere auf Zinn und Wolfram, angelaufen und Schleife erlebt eine Phase der vorbereitenden Nacherkundung auf Kupfer.

Die TU Bergakademie ist sicher ein Partner, mit dem Sie regelmäßig Kontakt pflegen.

Mein erster „Außentermin“ nach dem Amtsantritt führte mich an die TU Bergakademie. Rektor Prof. Meyer hatte mich zu einer Rektoratssitzung eingeladen. Das war eine sehr wichtige und konstruktive Begegnung.

Die Kontakte zur TU Bergakademie sind inzwischen vielfältig. Bereits bei meiner Tätigkeit in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover hatte ich Verbindung zur Freiburger Universität. Sie ist von ihrem Profil her in Deutschland inzwischen einzigartig als klassische Bergakademie.

Diese Tradition und die heutige moderne Ausrichtung machen für mich ihre Stärke aus. Ich freue mich, dass sich nun in meiner neuen Funktion eine noch intensivere Zusammenarbeit ergibt.

Welche Projekte haben Sie dabei im Blick?

An erster Stelle steht die Stärkung des Geomontan-Standorts Freiberg. In Freiberg haben wir eine einmalige Konzentration an Wissen, Firmen, Institutionen und Ausbildung im Geo- und Bergbaubereich. So sind in Freiberg neben der TU Bergakademie und dem Oberbergamt viele Geo- und Bergbauconsultants und -firmen, die Landesgeologie, das sächsische Bergarchiv und das Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie ansässig. Wir bilden im Berufschulzentrum „Julius Weisbach“ Geologie- und Bohrtechniker sowie Berg- und Maschinenmänner aus. Fast alle Genannten sind im Geokompetenzzentrum hervorragend organisiert.

Anfang 2011 hat die Staatsregierung uns beauftragt, diese Strukturen weiter zu stärken. Seither bemühen wir uns zusammen mit der TU Bergakademie bei Projekten wie dem gemeinsamen Bohrkernlager oder einer gemeinsamen Bibliothek diesen Geomontan-Standort Freiberg noch effektiver zu gestalten. In der aktuellen Rohstoffstrategie hat sich die Staatsregierung noch einmal zur weiteren Stärkung des Geomontan-Zentrums Freiberg bekannt.

Meine Kontakte zu einzelnen Instituten der TU Bergakademie sind noch unterschiedlich stark ausgeprägt. Intensiv sind sie zum Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche, das ich schon mehrfach befahren habe. Dabei lernte ich auch Prof Mischo und den stellvertretenden Bergwerksdirektor, Dr. Klaus Grund, kennen und schätzen. Im Juli 2012 wurde die neue Fahrkorbanlage eingeweiht. Damit können nun Personen und Geräte von der öffentlich zugänglichen Sohle in 150 Meter Tiefe in den 230 Meter tiefen Rothschnberger Stolln befördert werden, der der Entwässerung des Grubengebäudes dient. Eine zweitägige Befahrung des Rothschnberger Stollens bis zum Mundloch war ein großes Erlebnis für mich. Im Zusammenhang mit Bohrungen zur Nutzung der Geothermie in Schneeberg gab es bereits intensivere Kontakte mit Professoren der Tiefbohrtechnik und der Geothermie.

Aktuell beschäftige ich mich mit dem Jubiläum „300 Jahre Nachhaltigkeit“, das nächstes Jahr ja auch an der Universität ein thematischer Schwerpunkt ist. Hans von Carlowitz, der einst diesen Begriff prägte, war mein Amtsvorgänger. Ich habe daher gern von der TU Bergakademie den Auftrag übernommen, in einem Vortrag meine Sicht auf die Nachhaltigkeit im Bergbau darzulegen.

Können Sie sich vorstellen, neben der Mitarbeit an Forschungsprojekten auch Lehraufgaben an der Freiburger Universität zu übernehmen?

Sehr gern würde ich Lehre in Freiberg übernehmen. Zurzeit arbeite ich noch als Honorarprofessor an der Universität in Hannover. Das geht bei der räumlichen Entfernung nur im Blockunterricht. Die TU Bergakademie wäre da künftig eine willkommene Option.

Freiberg feiert in diesem Jahr sein 850. Jubiläum. Hatten Sie Zeit, die eine oder andere Veranstaltung zu besuchen und Ihre neue Heimatstadt schon etwas kennenzulernen?

Da ich zurzeit noch ohne Familie in der Freiburger Innenstadt wohne, nutze ich die freien Abende auch ab und zu zum Bummel durch die Stadt. Bis meine Familie im kommenden Jahr nach Freiberg umzieht, erkunden meine Frau und ich mit den Kindern an den gemeinsamen Wochenenden die Umgebung. Und auch unseren Urlaub verbrachten wir dieses Jahr in Sachsen, um Land und Leute noch besser kennenzulernen.

Natürlich war die Große Bergparade zum Jubiläum ein wichtiger Termin in meinem Kalender. Ich hatte viel Spaß dabei, persönlich am großen Festumzug teilzunehmen. Gemeinsam mit Kollegen gestalteten wir das Bild „Ausrufung des Bergrechts“. Ich verkörperte einen Bergmeister. Mein historisches Kostüm bestand aus einem dicken Pelzmantel und einer Mütze. Zum Glück hat es etwas geregnet, da waren die sommerlichen Temperaturen unter dem Kostüm einigermaßen erträglich. Dieser Umzug war ein ganz tolles Erlebnis, und ich war sehr beeindruckt vom Geschichtsverständnis der Freiburger und von ihrer Feierlaune.

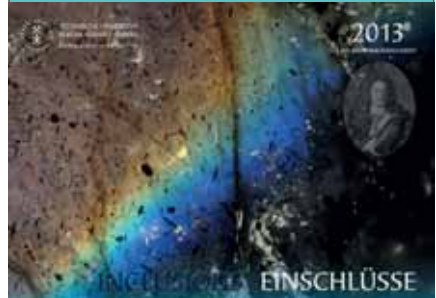
Noch aus einem weiteren Grund fühle ich mich in Freiberg wohl. Es liegt am Bergmannsgruß „Glückauf“. Als Student war er für mich wichtig, und ich nahm ihn überzeugt an. In der Bundesbehörde war es dann nicht üblich, so zu grüßen. Umso bewusster genieße ich jetzt das „Glückauf“ bei allen meinen Begegnungen und auch als schriftlichen Gruß.

Wenn Sie drei Wünsche äußern könnten, welche wären das?

Ich würde sie auf drei Bereiche aufteilen, die mir wichtig sind:

1. Für den Bergbau in Sachsen wünsche ich mir, dass sich mit dem neuen Bergeschrey auch der Erz- und Spatbergbau wieder etabliert und nach wirtschaftlichen Maßstäben, umweltverträglich und erfolgreich läuft.
2. Für das Oberbergamt wünsche ich mir, dass wir die vor uns liegenden Herausforderungen meistern. Dabei steht in den kommenden Jahren die Personalentwicklung im Oberbergamt im Vordergrund. Viele der Mitarbeiter sind erfahrene Bergleute mit großem Wissen, langjährigen Erfahrungen in ihrem Fachgebiet und mit großem Engagement bei der bergbehördlichen Arbeit. Dieses Rückgrat aus Bergleuten, die den aktiven Bergbau noch kennen, wird in den nächsten zehn Jahren in den Ruhestand gehen. Hier muss es uns gelingen, kontinuierlich gute Nachwuchskräfte in unseren Dienst einzubinden.
3. Ganz persönlich wünsche ich mir, dass ich meine Familie möglichst bald in Freiberg um mich habe. Sie fehlt mir sehr zum endgültigen Ankommen. Und dann möchten wir als Familie möglichst viele Kontakte knüpfen, um die Stadt und ihre Menschen noch besser kennenzulernen.

TU Bergakademie Freiberg gibt erstmals eigenen Kalender heraus



Das Prinzip Nachhaltigkeit hat viele Facetten in der Natur und der Gesellschaft.

Der Freiburger Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz, der heute mit seinem Werk „Sylvicultura oeconomica“ von vor nunmehr 300 Jahren als Schöpfer des Nachhaltigkeitsbegriffs gilt, hat seinerzeit die Forstwirtschaft als Spielfeld für die Verwirklichung dieses Prinzips herangezogen. Heute sind Lehre und Forschung an der TU Bergakademie – im globalen Diskurs – entlang der Freiburger Traditionslinie des Nachhaltigkeitsgedankens zur umweltverträglichen Ressourcennutzung ausgerichtet. Mit dem jetzt erschienenen Kalender für 2013, „300 Jahre Nachhaltigkeit – Einschlüsse“, wird die Gesellschaft für die Umsetzung und Pflege des Nachhaltigkeitsgedankens sensibilisiert. Anschaulich vermittelt dies die Metapher „Einschluss des Wertvollen und Schönen in ein hartes Umfeld“ am Beispiel natürlicher Objekte: Schönheiten im Innern von Mineralen und Edelsteinen. Faszinierende Bilder von Dr.-Ing. Jürgen Weyer von Inklusionen aus der Mikrowelt – im optischen Kontrast zum umgebenden Ordnungsprinzip – suggerieren dem Betrachter die Dringlichkeit, das Leben auf unserem Planeten zu schützen und die Ressourcen dafür dauerhaft zu erhalten. Diese bildliche Impression wird verstärkt durch nachdrücklich anregende Begleittexte aus der Feder berühmter Wissenschaftler sowie durch einschlägige Zitate aus dem Brundtland-Report 1987. Ein Kalender ist entstanden, der uns über das ganze Jahr 2013 an die Pflicht erinnert, Sorge zu tragen für die globale Umwelt mit ihren endlichen Ressourcen – um die Lebensfähigkeit, Vielfalt und Schönheit der Erde zu schützen.

Erhältlich ist der Kalender im Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg in der Prüferstraße 1 sowie in der terra mineralia.



Was für ein Erlebnis!

Als Nummer 441 beim historischen Freiburger Festumzug dabei

Ein großer Festumzug mit über 1.100 Teilnehmern ließ Freibergs Geschichte Anfang Juli lebendig werden. Er war zugleich der Abschluss und Höhepunkt der Festwoche zum 850. Jubiläum der Stadt. Die über zweistündige Zeitreise in rund 90 Bildern führte von den ersten Silberfunden zu Beginn des 12. Jahrhunderts über wichtige Ereignisse und Personen der Stadtgeschichte bis zum heutigen Wissenschafts-, Wirtschafts- und Kulturstandort Freiberg.

Gemeinsam mit über 50 Mitarbeitern und Studenten der TU Bergakademie wollte ich das Riesenspektakel nicht als Zuschauer erleben, sondern intensiv und hautnah. Also meldete ich mich Anfang des Jahres auf den Aufruf der Stadt. Am 14. Juni kam dann der lang erwartete Brief mit der Zusage: Ich bin dabei – im Bild 7.8., meine Teilnehmernummer ist die 441. Nach kurzer Recherche war klar, es handelt sich um das Bild „1765 - Gründung der Bergakademie“. Die Freude war groß, gerade diesen historischen Augenblick mitzugestalten. Da damals Frauen noch keine Rolle an der Bergakademie spielten, war mir klar, ich werde Männerkleider tragen.

Die Kostüme erhielten wir am Vortag in der Heubner-Halle. Sie hatte sich in eine Riesengarderobe verwandelt. Auf fahrbaren Kleiderständen hingen die Kleider, Röcke, Uniformen und Mäntel – alles fein sortiert nach Bild und Nummer. Einige Mitwirkende kamen mir schon entgegen, alle hatten einen Plastbeutel geschultert, einige trugen schon vor lauter Vorfreude ihren Hut. „Sie stellen einen Studenten dar“, sagte die nette Einkleiderin vom Kostümverleih Nostalgie GmbH Gera. Dazu erhielt

ich einen altrosafarbenen Gehrock, eine bunte Weste, schwarze Kniebundhosen und einen Dreispitz, der mich sehr an Napoleons Kopfbedeckung erinnerte. Die Jacke passte, die Hose war etwas weit, aber man konnte sie gut raffen. Neben mir schlüpfte ein Edelfräulein in ein langes rotes Samtkleid, einige Ratsherren schlenderten vorbei. Sehr entspannt ging das Einkleiden vonstatten. Zwei Kostüme, so erfuhr ich, mussten extra wegen der bergmännischen Details für unser Bild angefertigt werden: die der Gründer der Bergakademie, Friedrich Anton von Heynitz und Wilhelm von Oppel.

Die Gründungsväter schritten am Sonntag dann auch in unserem Bild voran, dahinter reihten sich die Herren Professoren und fünf Studenten in originalgetreuen Kostümen ein. Wie aufmerksam die Zuschauer unsere mitgeführten Plakate lasen, erlebten wir dann mehrmals. „Wo sind denn die anderen Studenten geblieben?“, rief man uns lachend zu. Denn auf einem Plakat stand: Beginn des Lehrbetriebes mit 5 Lehrern und 15 Studenten. Der Fakt wurde aber auch folgendermaßen kommentiert: „So ein tolles Betreuungsverhältnis gibt es nie wieder.“

Die folgenden zwei Stunden vergingen wie im Fluge, obwohl wir ab und zu zum Stehen kamen. Eine längere Pause erlebten wir, als sich vor uns der Dresdner Fürstenzug mit all den hohen Herren zu Pferde, darunter auch August der Starke, einreihen musste. Doch ein Schwätzchen mit den Menschen am Straßenrand verkürzte die Zeit. Überall spürten wir die Verbundenheit der Freiburger mit ihrer Bergakademie. Freundliche Gesichter, viele Hallo-Rufe, Applaus und begeis-

terte Zurufe wie: Hier haben wir auch studiert! begleiteten uns ebenso wie der Bergmannsgruß Glück auf! Viele zückten ihre Fotoapparate und Kameras. Als wir an der Ehrentribüne vor der Jacobikirche vorbeiliefen, sprang unser Rektor, Prof. Meyer, von seinem Sitz auf und winkte uns begeistert zu.

Die gute Laune allseits störte selbst der Regen, der gelegentlich einsetzte, wenig. Die Zuschauer spannten ihre Schirme halt öfter mal auf. Wir hatten Glück, unsere großen Hüte ließen kein Wasser durch, allerdings wurden die Jacken, die die Feuchtigkeit aufnahmen, immer schwerer. Aber das vergaßen wir angesichts der großen Herzlichkeit und Begeisterung, die uns überall entgegengebracht wurde. Dieser Tag bleibt für mich als einmaliges, unvergessliches Erlebnis in Erinnerung. Und dank des Videos vom MDR, der den gesamten Festumzug aufgezeichnet hat, kann ich mir das Ereignis zu Hause ansehen und mich zudem an unserem gelungenen Auftritt freuen. Jeder Teilnehmer hat diese DVD erhalten. Interessenten können sie in der Tourist-Information kaufen.

Die TU Bergakademie präsentierte übrigens im Festumzug ihre Geschichte in insgesamt sieben Bildern. Neben berühmten Studenten wie Alexander von Humboldt, Herder, Novalis und Körner gab es Szenen zu wichtigen Erfindungen und namhaften Professoren. Dazu zählten die Installation der ersten Gasbeleuchtung auf dem europäischen Kontinent durch Lampadius und die Entdeckung der chemischen Elemente Indium durch Reich und Richter sowie des Germaniums durch Winkler. Das Abschlussbild – die moderne Ressourcenuniversität – gestalteten heutige Studenten aus aller Welt mit ihren Professoren.

■ Christel-Maria Höppner

20 Jahre Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG)

Am 20. Juni 2012 fand im bis auf den letzten Platz gefüllten Agricola-Saal der Freiburger Universitätsbibliothek ein Festkolloquium anlässlich des 20-jährigen Gründungsjubiläums des Instituts für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) der TU Bergakademie Freiberg statt.

Nach einem Grußwort von Frau Prof. Dr. Silvia Rogler, Dekanin der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, gab Institutsdirektor Prof. Dr. Helmut Albrecht zunächst einen Überblick über die Geschichte des IWTG sowie seine aktuelle Aufgabenstellung im Rahmen von Lehre, Forschung und Verwaltung an der TU Bergakademie Freiberg. Es folgten kurze Vorträge von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des IWTG zur Entwicklung und Aufgabenstellung der zum Institut gehörenden Bereiche des Historikums (Dr. Norman Pohl), der Kustodie (Dr. Jörg Zaun) sowie des Studium generale (Frau Ulrike Schöbel). Dr. Jörg Feldkamp, bis 2011 Direktor des Industriemuseums Chemnitz und Geschäftsführer des Zweckverbandes Sächsisches Industriemuseum, beleuchtete in einem abschließenden Vortrag die Rolle des IWTG für die Entwicklung der Industriedenkmalpflege und der Industriekultur in Sachsen. Abgeschlossen wurde das Kolloquium durch Prof. Dr. Dirk Meyer, Prorektor für Bildung der TU Bergakademie Freiberg, der im Namen des Rektorats dem IWTG und seinen Mitarbeiter/innen für die in den letzten beiden Jahrzehnten geleistete Arbeit dankte. Im Anschluss daran begaben sich die Kolloquiumsteilnehmer zur feierlichen Einweihung und Schlüsselübergabe des von der Marianne und Dr. Frank-Michael Engel-Stiftung für die TU Bergakademie Freiberg sanierten Institutsgebäudes in der Silbermannstraße 2 am Schloßplatz, das künftig neue Heimstatt des IWTG ist.

Die Gründung eines Instituts für Wissenschafts- und Technikgeschichte war am 19. März 1991 durch den Senat der

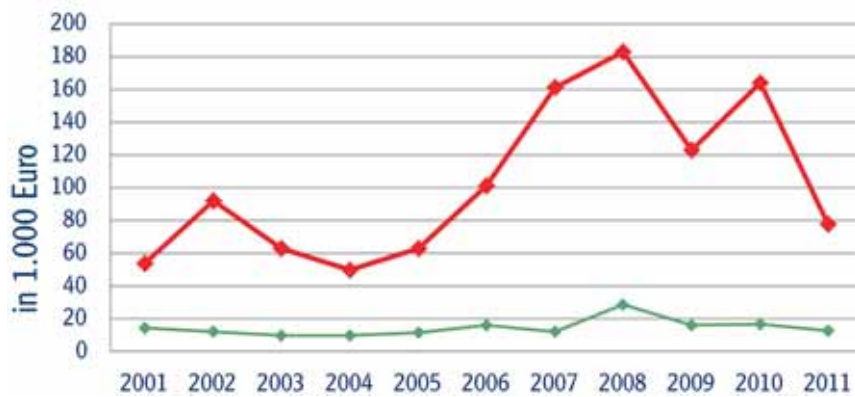


Torsten Mayer / TU Bergakademie Freiberg

Das neue Gebäude des Instituts für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte in der Silbermannstraße 2. Das Haus mit der denkmalgeschützten Fassade besitzt eine Wohn- und Bürofläche von rund 700 Quadratmetern, ein gotisches Gewölbe und ein denkmalschutzgerecht saniertes Treppenhaus aus dem 16. Jahrhundert. 30 Mitarbeiter der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften erhalten hier neue Büros, und im Dachgeschoss des Hauses sind außerdem zwei Wohnungen untergebracht.

Bergakademie Freiberg beschlossen worden. Das Institut sollte die Nachfolge des 1954 an der Bergakademie gegründeten Instituts für Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens (IGBH) antreten, das zu den ältesten technikhistorischen Instituten Deutschlands zählte. 1968 war das IGBH im Zuge der dritten Hochschulreform der DDR unter seinem damaligen Direktor, Prof. Dr. Eberhard Wächtler, zunächst in eine Arbeitsgruppe Geschichte der Produktivkräfte im Wissenschaftsbereich I und 1973 schließlich in einen eigenständigen Wissenschaftsbereich innerhalb der Sektion Sozialistische Be-

triebswirtschaftslehre an der Bergakademie Freiberg umgewandelt worden. Mit der Abwicklung der Sektion und des Wissenschaftsbereichs nach der friedlichen Revolution und der politischen Wende in der DDR übernahm Prof. Wächtler 1990 zunächst die Aufgabe, nach dem Vorbild der westdeutschen Universitäten für die Bergakademie Freiberg ein Studium generale aufzubauen. Der von ihm stammende Vorschlag zur Wiedergründung eines Instituts zur Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens führte schließlich zum bereits erwähnten Gründungsbeschluss vom März 1991 und am



Entwicklung der Dritt- und der Haushaltsmittel des IWTG (2001–2011). Die durchschnittlichen Haushaltsmittel des IWTG lagen in den vergangenen zehn Jahren bei ca. 16.000 €/Jahr, die eingeworbenen Drittmittel bei ca. 110.000 €/Jahr.

4. September 1991 zur Entscheidung des Senats, den in Dresden lehrenden Dozenten Dr. Otfried Wagenbreth zum Gründungsdirektor des neuen Instituts für Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) zu berufen. Zum 1. April 1992 wurde daraufhin Otfried Wagenbreth zum Professor für Technikgeschichte und Industriearchäologie sowie zum Direktor des IWTG an der Bergakademie Freiberg berufen. Dem neuen Institut wurden zugleich die Organisation und Durchführung des Studium generale sowie die Leitung des Historischen Kabinetts (heute Historikum) und der Kustodie der Bergakademie übertragen. Neben Wagenbreths Professur für Technikgeschichte und Industriearchäologie sollten 1992 am IWTG darüber hinaus zwei weitere Professuren für Wirtschafts-, Kultur- und Regionalgeschichte sowie für Geschichte der Naturwissenschaften eingerichtet werden. Im Zuge einsetzender Sparmaßnahmen wurde letztere überhaupt nicht und erstere nur vorübergehend von 1992 bis 1995 besetzt. 1994 wurde das IWTG schließlich der neu gegründeten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften an der nunmehrigen TU Bergakademie Freiberg zugeordnet.

Mit der Pensionierung von Prof. Wagenbreth im Jahr 1994 übernahmen zunächst Privatdozent Dr. Harm G. Schröter als zeitweiser Vertreter der Professur für Wirtschafts-, Kultur- und Regionalgeschichte und ab 1995 Dr. Helmuth Albrecht als Vertreter der Professur für Technikgeschichte und Industriearchäologie kommissarisch die Leitung des IWTG. Zum 1. April 1997 erfolgten schließlich die Berufung von Dr. Albrecht auf die Professur für Technikgeschichte und Industriearchäologie und seine Ernennung zum Direktor des IWTG. Auf der

Grundlage der von Prof. Wagenbreth geschaffenen Strukturen vollzog sich seitdem der Ausbau des IWTG zu einer international anerkannten Lehr- und Forschungseinrichtung für die Bereiche Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte.

2001 entstand der Diplomstudiengang Archäometrie/Industriearchäologie, aus dem 2005 der deutschlandweit einmalige Diplomstudiengang für Industriearchäologie hervorging. 2007 wurde dieser Diplomstudiengang erfolgreich in ein konsekutives Bachelor- und Masterprogramm für Industriearchäologie umgewandelt, das seit 2010 durch ein viersemestriges Masterprogramm für Industriekultur ergänzt werden konnte. Dank des innovativen, interdisziplinären und praxisorientierten Konzepts des industriearchäologischen Studienangebotes etablierten sich Freiburger Absolventen inzwischen erfolgreich auf dem Arbeitsmarkt, vor allem in den Bereichen Museumswesen und Denkmalpflege im In- und Ausland.

Zahlreiche vom IWTG organisierte nationale und internationale Fachtagungen (z. B. 1999 das Internationale Abraham-Gottlob-Werner-Symposium oder im Jahr 2009 der XIV. Internationale TICCIH-Kongress), eine Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen der Mitarbeiter/innen, die inzwischen 12 Bände umfassende, gemeinsam mit dem Sächsischen Industriemuseum seit 2001 herausgegebene Schriftenreihe *INDUSTRIEarchäologie – Studien zur Erforschung, Dokumentation und Bewahrung von Quellen zur Industriekultur* sowie die erfolgreiche Einwerbung umfangreicher Drittmittel (u. a. DFG-, BMBF-, VW-Stiftungs- und EU-Forschungsprojekte) belegen die erfolgreiche Forschungstätigkeit des IWTG



Stifterehepaar Marianne und Dr. Frank-Michael Engel bei der Einweihungsveranstaltung für das neue Gebäude in der Silbermannstraße am 20. Juni 2012

in den vergangenen zwei Jahrzehnten. Mit dem seit 2009 laufenden Graduiertenkolleg Geschichte der Bergakademie Freiberg im 20. Jahrhundert ist das IWTG darüber hinaus aktiv in die wissenschaftliche Vorbereitung des 250-jährigen Jubiläums der TU Bergakademie Freiberg im Jahre 2015 eingebunden. Anerkennung fanden diese Aktivitäten u. a. in der Wahl bzw. Berufung des Institutsdirektors in zahlreiche akademische und wissenschaftliche Gremien, so u. a. in den Senat (2000–2009) und zum Dekan der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (2003–2006) der TU Bergakademie Freiberg, als Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat des Deutschen Bergbau-Museums Bochum (2000–2010), als Vorstandsmitglied von TICCIH (seit 2006), als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats für Industriekultur in Sachsen (seit 2009) sowie zum sächsischen Kultursektor (seit 2011).

Mit dem Umzug des IWTG in die neuen Räumlichkeiten in der Silbermannstraße 2 haben sich die Bedingungen des Instituts in Lehre und Forschung nochmals verbessert. In den kommenden Jahren wird es Ziel und Aufgabe des Instituts sein, diese Chance zu nutzen und seine Position als führende sächsische und deutsche Lehr- und Forschungseinrichtung im Bereich von Industriearchäologie und Industriekultur weiter auszubauen.

■ Helmuth Albrecht

„Die Teilnahme ist frei für jedermann“ 20 Jahre Studium generale an der TU Bergakademie Freiberg



Referenten und Teilnehmer des Festkolloquiums 20 Jahre Studium generale am 16. Dezember 2011 im Senatssaal: Ulrike Schöbel; Prof. Dr. Ines Busch-Lauer, Westsächsische Hochschule Zwickau; Dr. Joachim Klose, Landesbeauftragter der Konrad-Adenauer-Stiftung für den Freistaat Sachsen; Prof. Dr. Manfred Heinemann, Leibniz-Universität Hannover; Frank Schneider, Hochschule Zittau/Görlitz; Prof. Dr. Caroline Y. Robertson-von Trotha, Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale Karlsruhe; Prof. Dr. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg; Prof. Dr. Elmar Schenkel, Universität Leipzig (v.l.)

„Die Teilnahme ist frei für jedermann“ – so hieß es in einer der ersten Ankündigungen zum Programm des Studium generale im Sommersemester 1991. An dieser Einladung für Studierende, Mitarbeiter/innen und Bürger/innen hat sich seit 20 Jahren nichts geändert, charakterisiert sie doch den Leitgedanken dieses Angebots – nämlich die Öffnung der Universität nach innen und außen sowie das damit einhergehende fachübergreifende Profil des Angebots. In seiner Grußadresse beim Festkolloquium zum 20-jährigen Bestehen des Studium generale im Dezember 2011 betonte der Prorektor Bildung, Prof. Dr. Dirk Meyer: „Besonders an einer technischen Universität wie der Bergakademie ... ist es unbedingt notwendig, den zukünftigen Führungskräften unseres Landes eine breite Bildung zu ermöglichen“.

Entstehung und Organisationsform

Ende Juni 1990 wurde vom Senat der Bergakademie Freiberg eine zeitweilige Kommission bestellt, die eine Konzeption für ein Studium generale entwickeln sollte. Die Verantwortung oblag Prof. Dr. Eberhard Wächtler. Ihm wurden drei Mitarbeiter zugeordnet: Prof. Dr. Frank Richter, Dr. Sabine Schetelich und als Sachbearbeiterin Frau Regina Biakowski.

Mit dem Sommersemester 1991 wurde der planmäßige Lehrbetrieb im Studium generale aufgenommen. 1992

übernahm Prof. Dr. Otfried Wagenbreth als Direktor des neu geschaffenen Instituts für Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) die Leitung des Studium generale. Er schied im September 1994 altersbedingt aus. Als kommissarischer Direktor des IWTG wurde nun Herr PD Dr. Schröter verantwortlicher Leiter des Studium generale. 1995 wurde er in dieser Funktion von Dr. Helmuth Albrecht, dem neuen kommissarischen Direktor des IWTG, abgelöst. Mit seiner Berufung auf die Professur für Technikgeschichte und Industriearchäologie sowie zum Direktor des IWTG am 1. April 1997 übernahm Prof. Albrecht endgültig die Leitung des Studium generale. Das IWTG und damit auch das Studium generale ist seit 1994 der Fakultät 6 für Wirtschaftswissenschaften zugeordnet.

Das Angebot des Studium generale gliedert sich in Ringvorlesungen und Kolloquien, in Lehrveranstaltungen des IWTG und aus allen Fakultäten sowie in Soft-Skill-Kurse. Seit dem Sommersemester 2012 wird das Programm des Studium generale unter der neuen Dachmarke *proWissen* gemeinsam mit den fachergänzenden Angeboten von Career Center, Graduierten- und Forschungsakademie, Internationalem Universitätszentrum, Gründernetzwerk SAXEED und Universitätsbibliothek angeboten. Diese neue Präsentationsform ist Ausdruck der wachsenden Vernetzung der Anbieter.

Besondere Veranstaltungen und Kooperationspartner

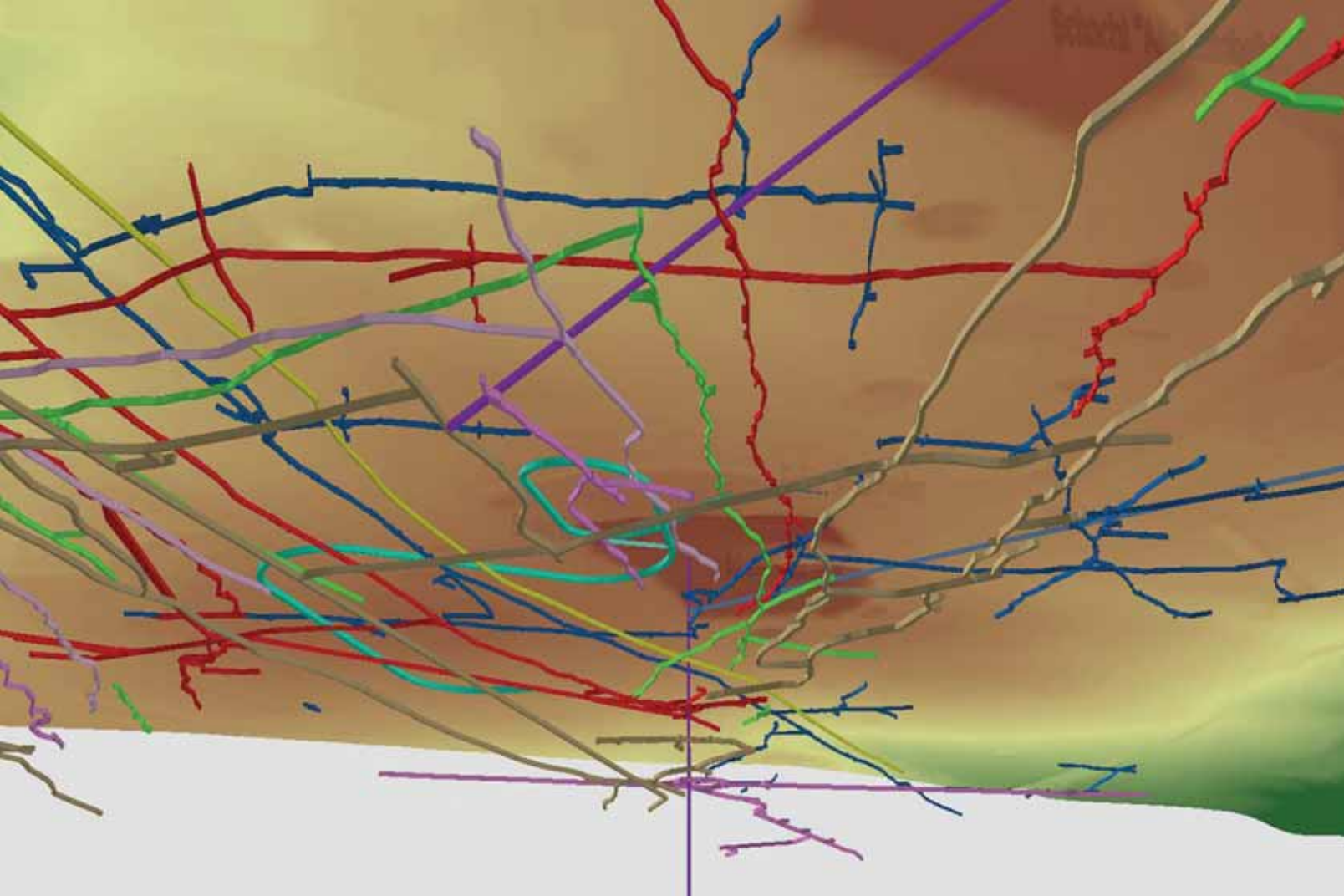
Das Angebot des Studium generale wird durch eine Vielzahl von Kooperationspartnern und Sonderveranstaltungen bereichert. So finden zum Beispiel seit dem Wintersemester 2002/03 im Rahmen des Novalis-Forums der Katholischen Akademie Dresden-Meißen Vorträge zu philosophischen, ethischen und religiösen Fragen statt. Die Zusammenarbeit mit dem Stadttheater Freiberg wurde Anfang der 90er-Jahre mit gemeinsamen Vortragsreihen begonnen. Auf Initiative von engagierten Studierenden werden zudem gemeinsame Veranstaltungsreihen organisiert, wie z. B. eine Ringvorlesung der AG Umwelt. Seit dem Sommersemester 1997 gibt es regelmäßig eine Ringvorlesung zum jeweiligen Jahr der Wissenschaft. Durch die Unterstützung des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg werden ferner ausgewählte Veranstaltungen ermöglicht, die sonst in dieser Form nicht angeboten werden könnten.

Am 21. April 1999 wurde der Arbeitskreis Studium generale Sachsen in Mittweida gegründet. Die Tagung „Universitas – quo vadis“ am 29./30. April 2005 an der TU Bergakademie Freiberg war einer der Höhepunkte der Zusammenarbeit dieses Netzwerks. Das Studium generale der TU Bergakademie Freiberg ist außerdem Mitglied des International Network General Studies.

■ **Ulrike Schöbel**
unter Mitarbeit von Regina Biakowski



Das Programm des Studium generale erscheint seit zwei Ausgaben unter der Dachmarke *proWissen*



© G.U.B. Ingenieur AG

3-D-Visualisierung der Grube Reiche Zeche – funktionierende Zusammenarbeit zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der G.U.B. Ingenieur AG

Absolventen der Bergakademie in der Praxis erfolgreich

Vor über 20 Jahren, am 1. Juli 1991, wurde in Zwickau ein Ingenieurbüro gegründet, das sich den Themengruppen Geotechnik, Umwelttechnik und Bautechnik verpflichtet fühlte – Fachgebiete, die damals wie heute im Trend der Zeit lagen und liegen. Die Bergbausanierung erwies sich als wichtig und zugleich notwendig. Die G.U.B. Ingenieur AG, 1991 als Privatunternehmen gegründet, wurde 1992 in eine GmbH und 2007 in eine AG umgewandelt. Mit über 170 Sachverständigen, Ingenieuren, Naturwissenschaftlern und Technikern verfügt die G.U.B. Ingenieur AG heute über qualifizierte Mitarbeiter mit umfangreichen nationalen und internationalen Erfahrungen in den Bereichen Geotechnik, Altbergbau- und Bergbausanierung, Geologie, bodenphysikalisches Labor, Hydrologie und Hydrogeologie, Umwelttechnik, Emissions- und Immis-

sionsuntersuchungen, Siedlungswasserwirtschaft, numerische Methoden, Geophysik sowie Ingenieurseismologie, Steine/Erden, Bautechnik, Verkehrsplanung, Infrastruktur, Landschaftsarchitektur/Landschaftsplanung, Wasserbau, Ingenieurbau, Tragwerksplanung, Grundbaudynamik, Ingenieurvermessung und Geoinformatik, Visualisierung/GIS.

Das mit zwei Mitarbeitern gegründete Ingenieurbüro entwickelte sich seit seiner Gründung zu einem interdisziplinär wirkenden Ingenieurunternehmen, das heute aus einem international agierenden Netzwerk besteht. Niederlassungen und Büros in Zwickau, Berlin, Dresden, Leipzig, Cottbus, Chemnitz, Freiberg, Plauen, Schwarzenberg, Montabaur, Waldmohr und das große bodenphysikalische Labor in Lauta garantieren nicht nur hohe fachliche Qualität, sondern auch ständige Kundennähe. Ein weiteres bodenphysikalisches Labor befindet sich in der Hauptniederlassung in Zwickau.

Zahlreiche G.U.B.-Mitarbeiter begannen ihre berufliche Karriere mit einem Studium an der TU Bergakademie Freiberg, mit der das Unternehmen sehr verbunden ist. 30 der gegenwärtig bei der Firma beschäftigten Mitarbeiter haben

an der TU Bergakademie Freiberg in den Fachrichtungen Geotechnik, Geologie, Tagebau- und Erdbautechnik, Bergbau-Tagebau, Bauwesen und Markscheidewesen diplomiert und zum Teil auch promoviert. Die G.U.B. Ingenieur AG verfügt über sechs Sachverständige für Geotechnik, die ihre Anerkennung durch das Sächsische Oberbergamt Freiberg erhielten.

Auch der Vorstandsvorsitzende und Gründer der G.U.B. Ingenieur AG, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Griebel, hat an der Bergakademie studiert und promoviert. Inzwischen hält er seit mehreren Jahren Lehrveranstaltungen am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau. Zum 27. Oktober 2011 wurde er zudem zum Gastprofessor für Sanierungsbergbau an der TU Bergakademie Freiberg berufen.

Die G.U.B. Ingenieur AG ist Mitglied des Geokompetenzzentrums Freiberg e.V.

Der ehemalige Bergakademist Dr.-Ing. Hendrik Gaitzsch vertritt das Unternehmen im Vorstand und arbeitet auch im Vorstand des Vereins Freiburger Geotechniker e. V. mit, der seit 1997 von Prof. Dr.-Ing. Dietmar Griebel geleitet wird.

Die Niederlassung Freiberg der G.U.B. Ingenieur AG wird ebenfalls von einem

Absolventen der Bergakademie, Dipl.-Geologen Stephan Bachmann, geleitet. Hier hat sich zwischen Niederlassung und Universität sowie dem Sächsischen Oberbergamt ein sehr positives, produktives Verhältnis entwickelt.

Aus diesem engen Verhältnis ergeben sich viele Möglichkeiten einer fruchtbaren Zusammenarbeit. So wurde die G.U.B. z. B. mit der Bearbeitung eines 3-D-Raumbilds des Grubengebäudes der Reichen Zeche sowie mit der Erstellung von Vorplanungsvarianten für die Schaffung eines neuen Zugangs zur Grube Reiche Zeche bis zum Niveau der ersten Sohle beauftragt.

Der Bergakademieabsolvent und in der Praxis sehr anerkannte Geophysiker Johannes Preuß ist geophysikalisch in ganz Deutschland, aber auch im Ausland für das Unternehmen aktiv. Seine geophysikalischen Messungen und deren qualifizierte Auswertung sind häufig Grundlage für eine spätere geotechnische und planerische Weiterbearbeitung komplizierter Objekte.

Im Rahmen eines gemeinsamen Projekts der G.U.B. Ingenieur AG und der TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, werden derzeit im Auftrag der LMBV GmbH ein wissenschaftlich begründetes geotechnisches Modell und eine Berechnungsmethodik für Sackungen und Verflüssigungsgrundbruch bei geringen dynamischen Initialen – Sackungsfließen – in Kippen des Braunkohlenbergbaus im Zusammenhang mit dem Aufgang von Grundwasser erarbeitet. Als Lösungsweg wird eine mikro-mechanisch-hydraulische Modellierung des nichtbindigen Bodens gesehen. Als rechentechnische Basis dient ein dreidimensionales Particle-Flow-Code(PFC)-Programm. Hier wird durch das Unternehmen eine Industrie-Promotion von Dipl.-Phys. Christian Jakob durch Dr.-Ing. Wilfried Hüls unter Anleitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Konietzky betreut. Eine weitere Industrie-Promotion wurde von Prof. Dr.-Ing. Carsten Drebenstedt betreut. Die Promovendin M.Sc. Elisabeth Griebel bearbeitet ein Thema zum internationalen Kleinbergbau.

Eine Vielzahl der ingenieurtechnischen Mitarbeiter besitzt langjährige Berufserfahrungen sowohl im Braunkohlentagebau und Uranerzbergbau als auch im unterirdischen Kavernenbau.

Interdisziplinäre Projektteams bearbeiteten die komplexen Problemstellungen und schufen ein umfangreiches

Know-how zur praktischen Bergbausanierung. Zahlreiche Auftraggeber von G.U.B., z. B. die Wismut GmbH und die LMBV GmbH, greifen auf diese Erfahrungen zurück. Zu erwähnen ist aber auch die Arbeit für den aktiven Braunkohlenbergbau, z. B. für die MIBRAG GmbH, die Vattenfall Europe Mining und die RWE Power.

Ein sehr anspruchsvolle geotechnische Aufgabe ist die Betriebsführung des MIBRAG-Tagebaus Vereinigtes Schleenhain. Dieser Tagebau wird geotechnisch durch den Sachverständigen Dipl.-Ing. Achim Leonhardt betreut.

Aber auch bei der Sanierung im Braunkohlenbergbau treten viele Probleme auf, die geotechnisch und planerisch geklärt werden müssen. Der seit fast 20 Jahren in der G.U.B. Ingenieur AG tätige Freiburger Geotechnik-Absolvent und heutige Sachverständige und vereidigte Gutachter Dipl.-Ing. Heiko Pretzlaff leitet diese komplizierten Arbeiten.

Ein aufwendiges, aber auch komplexes Objekt bei der Sanierung der Lausitzer Braunkohlenfolgelandschaft war der Tagebau Berzdorf, der in Kürze als Gör-

litzer Meer die Oberlausitzer Landschaft sehr bereichern wird. Auch hier lagen Planung und geotechnische Betreuung in den Händen der G.U.B. Ingenieur AG.

Diese Erfahrungen konnten aber auch im Ausland umgesetzt werden. So zeugen Planungen, Studien und die Betreuung ganzer Projekte in China, der Mongolei, Südafrika, Nepal, Vietnam, Kambodscha, Russland, Kolumbien sowie die Organisation einschlägiger Bildungsveranstaltungen von der Leistungsfähigkeit der G.U.B. Ingenieur AG.

Doch zurück ins Inland. Durch den Uranerzbergbau in Sachsen und Thüringen wurde die Umwelt in den betreffenden Regionen stark beeinträchtigt und geschädigt. Die Sanierungskonzeption der Wismut GmbH zur Umgestaltung der bergbaulichen Folgelandschaft und zur Wiedernutzbarmachung von ehemals bergbaulich beanspruchten Flächen beinhaltet unter anderem die Sicherung und die landschaftstypische Gestaltung von Haldenbereichen und Betriebsflächen sowie deren Entlassung aus der Bergaufsicht. Die Sanierung und Wiedernutzbarmachung bergbaulich beein-



Der Tagebau Berzdorf 1951 (oben) und heute als Naherholungsgebiet

flusster Flächen ist ein Prozess, der einer guten planerischen Vorbereitung bedarf. Viele Projekte sind Unikate. Technische Lösungen, Ökologie, Finanzen und soziales Umfeld müssen in Einklang gebracht werden. Die Projektlösungen müssen dabei dem Stand der Technik entsprechen. Anfangs musste vielfach Neuland bei der Sanierung betreten werden. Zudem wurde die Bearbeitung oftmals durch die sehr spezifischen Eigenschaften der Sanierungsprojekte mitbestimmt.

Mit einem der ersten Projekte im Sanierungsbetrieb Ronneburg im Jahr 1992, der Karl-Liebkecht-Halde, begann die Abarbeitung einer langen Liste von Sanierungsobjekten, die planerisch und geotechnisch vorbereitet, während der Genehmigungsphase begleitet und fachtechnisch bis zur Fertigstellung baubegleitet wurden. Darunter sind Projekte, die über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren die Fachkapazitäten der Ingenieure und Wissenschaftler der G.U.B. in Anspruch nahmen und noch nehmen, wie beispielsweise die Hammerberghalde in Bad Schlema, der Haldenkomplex 371 in Hartenstein, Tagebau und Aufschüttkörper Lichtenberg bei Ronneburg. Auch Nachnutzungskonzepte auf sanier-

ten Wismutflächen, wie das zur Bundestagenschau 2007 Gera und Ronneburg und zum Golfpark Westertal in Bad Schlema, wurden mit Hilfe der ingenieurtechnischen Leistungen der G.U.B. Ingenieur AG umgesetzt.

Mit der Sonderabfalldeponie Lichtenberg wurde eine technische Anlage unter Bergrecht nach abfallrechtlichen Anforderungen konzipiert und umgesetzt. Diese war eine besondere ingenieurtechnische Herausforderung, da es sich um eine der sichersten Deponien in Deutschland handeln musste.

Auf der Schmirchauer Höhe Ronneburg entsteht die Landmarke Grubengeleucht. Das Grubengeleucht, ein ca. 20 m hohes Bauwerk in Form einer Grubenlampe, ist Bestandteil der Konzeption Zeitzeugnisse. Bereits an der Planung und Realisierung der Schmirchauer Höhe, des Verfüll- bzw. Aufschüttkörpers des ehemaligen Tagebaus Lichtenberg, war die G.U.B. Ingenieur AG maßgeblich beteiligt. Dabei ist die Planung der Landmarke quasi der I-Punkt auf dem Plateau der neuen, markanten Erhebung im Raum Ronneburg.

Mit der Errichtung der Landmarke auf der Schmirchauer Höhe, dem höch-

ten Punkt des Verfüllkörpers des Tagebaus Lichtenberg, soll ein weithin sichtbares Symbol für die Bergbautätigkeit in Ostthüringen geschaffen werden, das für Landschaft und Region ein ebenso charakteristisches Merkmal wird, wie es die Spitzkegelhalden Reust und Paitzdorf vor der Sanierung waren. Das Bauwerk soll aber nicht nur an die Vergangenheit des Bergbaus und die Sanierung erinnern, sondern auch ein Zeichen für Gegenwart und Zukunft sein und die Region emotional erlebbar machen.

Für die Zukunft werden weiterhin interessante und anspruchsvolle Projekte Gegenstand der Arbeit der G.U.B. Ingenieur AG sein, die zur Zufriedenheit der Auftraggeber bearbeitet und betreut werden. Außerdem freut sich die G.U.B. Ingenieur AG auf die weitere Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. So wird sie unter anderem mit dem zweiten Krüger-Forschungskolleg, dem gerade anlaufenden „Biohydrometallurgischen Zentrum für strategische Elemente – Prozesskette zur Gewinnung von Metallen aus Erzen, Halden und Recyclingmaterialien“, kooperieren.

■ Dietmar Griebel



Das Grubengeleucht auf der Schmirchauer Höhe Ronneburg im Juni 2012

Foto: G.U.B. Ingenieur AG

Ausstellung Deutsche Minerale eröffnet



Delley Müller / TU Bergakademie Freiberg

Stifterin Erika Krüger (zweite von rechts) durchschneidet gemeinsam mit dem Kanzler der TU Bergakademie Freiberg, Dr. Andreas Handschuh, der Bundestagsabgeordneten Veronika Bellmann, Freibergs Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm und Sachsens Finanzminister Prof. Georg Unland (v.l.) das Band zur Einweihung des Krügerhauses.

In Freiberg wurde am Freitag, dem 5. Oktober, das Krügerhaus mit einer Ausstellung der schönsten Mineralien Deutschlands eingeweiht. Der sächsische Finanzminister, Prof. Georg Unland, und die Stifterin Erika Krüger durchschnitten gemeinsam mit dem Kanzler der TU Bergakademie Freiberg, Dr. Andreas Handschuh, das Band. In den neuen Ausstellungsräumen im komplett sanierten Gebäude auf dem Freiburger Schloßplatz werden die schönsten Minerale aus deutschen Fundorten der Pohl-Ströher-Mineralienstiftung, der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, der Stiftung Mineralogische Sammlung Deutschland sowie von privaten und musealen Leihgebern gezeigt. Die terra mineralia wird damit gekrönt. Das 500 Jahre alte Gebäude war 2004 durch Dr. Peter Krüger erworben worden. Nach der Sanierung übergab Erika Krüger das Gebäude an die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung der TU Bergakademie Freiberg zur Nutzung. „Dieses geschichtsträchtige Haus, nun reich bestückt mit Mineralien, wissenschaftlichen Modellen und vielem mehr, der Öffentlichkeit zu übergeben, macht mich besonders stolz. Es war ein langer, manchmal schwieriger Weg, das alte Amtshaus von Grund auf zu sanieren, zu restaurieren und für die Sammlung vorzubereiten. Umso glücklicher bin ich deswegen heute, dass die Vision meines Mannes von einem Museum im Krügerhaus in die Tat umgesetzt werden konnte“, sagte Erika Krüger bei der Einweihung.



TU Bergakademie Freiberg

Ausstellungssaal Europa in der terra mineralia

Sammlung, Forschung und Lehre, Ausstellung

Gerhard Heide

Wissenschaftsort Sammlungen

Sammeln ist die Basis jeder Wissenschaft: Der Physiker beispielsweise sammelt Daten, der Chemiker Rezepte, der Archäologe Artefakte, der Biologe sammelt Organismen, der Geowissenschaftler Gesteine, Erze, Minerale und Fossilien. In der Archäologie oder auch in den Biowissenschaften ist die Notwendigkeit von gegenständlichen Sammlungen offensichtlich. In der Mineralogie erfahren wissenschaftliche Sammlungen heute jedoch oft nicht die notwendige Akzeptanz, da ihre Objekte häufig als zu gewöhnlich erscheinen. Wissenschaftliche Sammlungen dienen, anders als Vorratssammlungen, die einen direkten Verwendungszweck haben und es ermöglichen sollen, eine bestimmte Zeit zu überbrücken, einem höheren Prinzip. Die TU Bergakademie Freiberg nutzt seit ihrem Bestehen die geowissenschaftlichen Sammlungen für ihre ureigensten Aufgaben: für Lehre und Forschung. Die Pflege und der systematische Ausbau der Sammlungen gehören zu den Grundaufgaben unserer Universität. Dies wird als Privileg verstanden.

Mit dem Sammeln werden Objekte aus ihrem ursprünglichen Kontext herausgenommen und in neue Zusammenhänge gebracht. Ein wichtiges Merkmal von wissenschaftlichen Sammlungen sind die Metainformationen, die die Objekte und die Sammlung selbst tragen, d. h. zumindest Fundort, Fundzeit, Person und eine erste Beschreibung sind dem Objekt

zugeordnet. Diese Informationen sind notwendig, um die Datenbank Sammlung zu einem beliebigen Zeitpunkt – auch noch nach Generationen – erschließen und auswerten zu können. Die Objekte speichern Informationen, zum Beispiel geochemische, die je nach Wissensstand und Entwicklung der Analytik unter immer wieder neuen Aspekten abgefragt werden können. Auch die Bearbeitung von fachentfernteren Fragestellungen – zum Beispiel der Wissenschaftsgeschichte – wird hierdurch ermöglicht. Sammlungsobjekte verfügen über Latenz: Ihr Wert bzw. ihre Bedeutung erschließt sich oft erst später.

Gesammelt wird in der Wissenschaft, um Systematiken erarbeiten zu können und um Verständnis für Prozesse, d. h. Bildungs- und Umwandlungsprozesse, zu erlangen. Sammlungen ermöglichen es, sich in weiten Grenzen in Raum und Zeit zu bewegen, ohne das Depot verlassen zu müssen: Die Welt im Schubfach. Die älteste systematische mineralogisch-geologische Sammlung, die Sammlung von Abraham Gottlob Werner (1749–1817) in Freiberg, erfüllte nicht nur diese beiden Kriterien, den Aufbau einer Mineral- und Gesteinssystematik und die Entwicklung von Genesemodellen für Gebirge, Gesteine und Minerale, sondern diente auch unmittelbar der universitären Lehre. Universitätssammlungen können in idealer Weise das Humboldtsche Konzept der Wissenschaft, die Einheit von Lehre und Forschung, unterstützen.



Eine arbeitsintensive Zeit für alle Beteiligten liegt zwischen der Schlüsselübergabe für das sanierte Gebäude und der Präsentation der fertigen Ausstellung

Kommunikationsort Ausstellung

Ausstellungen bilden die Schnittstelle zwischen Sammlung und Öffentlichkeit. Die geowissenschaftlichen Ausstellungen im Institut für Mineralogie, dem Werner-Bau, und im Institut für Geologie, dem Humboldt-Bau, sind systematisch angelegt und nehmen ihre Aufgabe als universitäre Lehrsammlungen wahr. Sie sind unverzichtbares Lehrmittel im Sinne eines ungeschriebenen Lehrbuchs und werden täglich in den Seminaren genutzt.

Mit der Ausstellung „terra mineralia“ im Schloss Freudenstein haben wir ein neues Ziel anvisiert und ein Naturerlebnis geschaffen. Es ist eine sinnliche Herangehensweise, die der Besucher hier erfahren kann. Dieser Weg, Interesse für die Natur zu wecken, unterscheidet sich von wissenschaftlich konzipierten Ausstellungen, auch in Naturkundemuseen. Im Krüger-Haus verfolgen wir diesen Weg weiter und möchten besonders faszinierende, schöne Mineralstufen aus deutschen Fundstellen präsentieren. Wir sehen diese Exponate als Objekte an, die für eine wirtschaftliche, eine geologische, eine geographische, eine naturräumliche sowie auch eine kulturell bemerkenswerte Region stehen; sie sind Kulturobjekte. Das Krüger-Haus soll dabei als ein Schatzkästchen für diese einzigartigen Exponate verstanden werden. Auch die Ausstellungen der TU Bergakademie Freiberg geben den Wissenschaftlern und Studierenden auf besondere Weise die Möglichkeit, mit der interessierten Öffentlichkeit zu kommunizieren.

Auswählen und Präsentieren

Die Entnahme eines Ausstellungsobjekts aus dem Depot der Sammlung und seine Überführung in die Vitrine – in einen neuen Kontext – erinnern an die Tätigkeit des Sammelns. Dass dies kein rein

technischer Akt ist und wissenschaftliche Arbeit impliziert, ist offensichtlich. Für den sinnlichen Zugang ist es allerdings notwendig, die wissenschaftlichen Inhalte auf spielerische Art zu vermitteln und auf die Darstellung der vollständigen Systematik zu verzichten. Die Vitrinen stehen zunächst als Bindeglied zwischen den Ausstellungsobjekten und dem Raum bzw. dem Gebäude, und es bedarf einer gestalterisch-künstlerischen Leistung, ein Vitrinenkonzept zu entwickeln und die technischen Vorkehrungen für Beleuchtung und Sicherheit unsichtbar zu machen. Im von der terra mineralia angeregten engen, inspirierenden und fruchtbaren Dialog mit uns hat das Büro AFF, Berlin, mit Robert Zeimer als Leiter eine Lösung entwickelt, die diese Aufgabe meistert.

Anders als bei Kunstsammlungen gibt es in der Mineralogie selten Objekte, die einzigartig sind, und es sind die Kunst und das Wissen des Kustos, aus der Vielzahl der Stücke Mineralstufen auszuwählen, die in der Vitrine miteinander harmonieren und wirken. Die Vorauswahl hierfür umfasst manchmal die zwanzigfache Anzahl von Stufen, die für die Präsentation auf einem Tablar in Frage kommen. Das Bestücken der Tablare durch den Kustos der mineralogischen Sammlungen der Universität, Andreas Massanek, gleicht einem Komponieren; mitunter müssen mehrere bereits platzierte Stufen ausgetauscht werden, um die beabsichtigte Einheit und Wirkung zu erzielen. Gestaltung und Aufbau der Exposition sind ein schöpferischer Akt, mit dem eine charakteristische Handschrift deutlich wird.

Sammlungswert

Für die Universität steht nicht der materielle Wert der Sammlungen im

Vordergrund, sondern zunächst der wissenschaftliche. Für die Lehre sind die Sammlungen unverzichtbare Demonstrationsmittel. In der Forschung können gegenständliche wissenschaftliche Sammlungen als Infrastruktur – wie eine Bibliothek, ein Rechenzentrum oder ein Forschungsgrößgerät – genutzt werden.

Ein weiterer Wert liegt, wie bereits angedeutet, in der Latenz der in den Objekten konservierten Informationen, die zu einem späteren Zeitpunkt neue oder gar erstmals erkannte Bedeutung erhalten, die eines Tages aus dem Objekt abgeleitet werden, heute aber noch verborgen sind. Dieser Wert ist nicht schätzbar und nicht messbar und ist ein Teil des wissenschaftlichen Kapitals der Universität. Ein Lehrbuchbeispiel hierfür ist der Turmalin. Holländische Händler brachten 1703 einen bunten Schmuckstein aus Sri Lanka nach Europa mit, der die Eigenschaft besaß, bei Erwärmung oder Abkühlung kleine Ascheteilchen anzuziehen. Der Astronom Franz Maria Aepinus konnte 1756 nachweisen, dass sich bei Temperaturänderungen die gegenüberliegenden Kristallenden elektrisch entgegengesetzt aufladen. 1824 beschrieb der Physiker David Brewster diesen Effekt mathematisch und führte den Begriff der Pyroelektrizität ein. Heute ist dieser nun durch künstliche Kristalle hervorgerufene Effekt als Wirkprinzip von Bewegungsmeldern nicht mehr aus unserem Alltag wegzudenken.

Ein ganz anderer Aspekt ist der wissenschaftshistorische Wert. Die Objekte der Freiburger Sammlungen waren die Grundlage für die Herausbildung der Wissenschaftsdisziplinen Mineralogie und Geologie. Das damalige Sammlungsgut stellt in Kombination mit schriftlichen Originalbelegen ohne Zweifel ein schüt-



zenswertes Kulturgut dar. Werner gelang es zum Beispiel, mit der halbquantitativen Beschreibung der äußeren Kennzeichen von Mineralen eine Normierung der Farbbezeichnungen vorzunehmen. Mit den Sammlungsobjekten definierte er Farbbegriffe wie apfelgrün, berggrün, samtgürn, zeisiggrün, pistaziengrün, die sich auch heute leicht verwenden lassen. Ein besonders bekanntes Beispiel ist der Argyrodit, in dem Clemens Winkler das chemische Element Germanium, das von Mendelejew postulierte Eka-Silicium, entdeckte.

Die systematischen Schausammlungen in den Freiburger Instituten garantieren darüber hinaus einen hohen ästhetischen Erlebniswert, der mit den Objekten der Pohl-Ströher-Mineralienstiftung und der spielerischen, leichten Präsentation in terra mineralia und im Krüger-Haus noch übertroffen wird.

Kaum ein Besucher kann sich dem Reiz des persönlich berührenden Erlebnisses entziehen. Namentlich junge Menschen finden hier Anregungen für ihren späteren Berufsweg.

Nicht zuletzt liegt in der Sammlung von Mineralen und Mineralstufen aus Deutschland im Krüger-Haus ein identitätsstiftender Wert für die Bergbauregionen Deutschlands und ihre Bewohner. Denn hier wird die enge Beziehung zum Bergbau als prägendes Element für den Menschen und seine Umgebung sichtbar. Der Bergbau ist eng mit geografischen Veränderungen und dem strukturellen Wandel verbunden, der besonders dann einsetzt, wenn der Bergbau nicht mehr aktiv ist. Damit kommt der Sammlung nicht nur ein mineralogisch-wissenschaftlicher Wert zu, sondern die Sammlung und ihre Objekte sind auch von nationaler Bedeutung, die weit über die Mineralogie hinausreicht.

Gemeinschaftswerk Sammlungen

Eine mineralogische Sammlung nationalen Charakters in Deutschland in Ergänzung zu den bekannten National-sammlungen fehlte, der föderalen Struktur Deutschlands bisher geschuldet. Der neue Schritt in Richtung des Aufbaus einer solchen Sammlung wurde uns durch große Stiftungen und zahlreiche Privatpersonen möglich. Die Pohl-Ströher-Mineralienstiftung legte auch hier im Krüger-Haus die Grundlage dafür, eine wirklich einzigartige Ausstellung zu bestücken. Diese wird durch Sammlungen und Objekte weiterer privater Sammler und auch institutioneller Leihgeber bereichert. Viele Sammler haben sich bereits vor der Eröffnung entschlossen, ihre Stufen der universitären Stiftung Mineralogische Sammlung Deutschland zu übereignen. Diese Stiftung soll die Möglichkeit geben, geowissenschaftlich bedeutende Sammlungen und Objekte an der Universität wissenschaftlich zu betreuen, in der Lehre zu nutzen, der Öffentlichkeit zugänglich zu machen und als Kulturgut zu erhalten.

Die Universitäten selbst haben kaum die Möglichkeit zu sammeln. In Deutschland existiert aber eine enorme Dichte an einschlägigen Vereinen und Museen, ganz ähnlich wie im kulturellen Bereich. Für uns sind die Sammler wichtige Partner, Tausch- und Informationspartner, die die Sammlungen und Ausstellungen vervollständigen und weiterentwickeln können. Wir sind auf die Bürger auch als Laienwissenschaftler im Sinne einer *citizen science* angewiesen und sehen in der Forschung außerhalb von offiziellen Institutionen ein sehr großes und unterschätztes Potenzial, das in anderen Ländern wie beispielsweise England oder in anderen Fachgebieten wie etwa in der Astronomie und Ornithologie ganz an-

ders genutzt wird. Daher möchten wir Privatpersonen ermuntern, herausragende und geowissenschaftlich bedeutende Objekte oder Suiten der TU Bergakademie als Stiftung oder Dauerleihgabe anzuvertrauen, damit die Objekte ihrer Sammlungen fachlich betreut und im angemessenen Rahmen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, als Kulturgut wahrgenommen und begriffen werden können. Der Bürger geht damit den Schritt zum Stifter.

Der gebürtige Freiburger Dr. Peter Krüger, Begründer der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, verfolgte diesen Ansatz für die TU Bergakademie Freiberg. Für seine Vision einer Ausstellung deutscher Minerale kaufte er das ehemalige Freihaus in unmittelbarer Nachbarschaft zum Schloss Freudenstein und finanzierte, öffentlich gefördert, dessen Sanierung. Nachdem Herr Krüger im Jahr 2007 unerwartet verstarb, führte seine Gattin Erika Krüger das Projekt wie auch den Ausstellungsaufbau mit hohem persönlichen Einsatz weiter.

Die Sanierung und Umnutzung des ehemaligen Freihauses erhielt eine wesentliche Förderung im Rahmen des Programms „Städtebaulicher Denkmalschutz, Erhaltungsgebiet Altstadt Freiberg“. Damit sei an dieser Stelle ausdrücklicher Dank an die Zuschussgeber übermittelt – die Bundesrepublik Deutschland, den Freistaat Sachsen und die Stadt Freiberg – für die großzügige Bereitstellung der Mittel. Die Finanzierung der Ausstellung im nun so benannten Krüger-Haus in der absehbaren Zukunft wurde durch die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung sichergestellt.

Als Gemeinschaftswerk ist heute im Krüger-Haus eine einzigartige Ausstellung von nationaler Bedeutung geschaffen worden.

Chilenisches Technologie- und Ausbildungszentrum wird nach Freiburger Absolventen benannt

TU Bergakademie Freiberg unterstützt Aufbau eines Zentrums für bergbaurelevante Wissenschaften in Nordchile



Das Rektorat der Universidad de Atacama in Copiapó empfing die Freiburger Delegation

Chile ist ein äußerst interessantes und abwechslungsreiches Land. Mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 4.300 km (jedoch einer Breite von maximal nur 200 km) verfügt es sowohl über trockene Wüste als auch über üppige Wälder und sogar über ausgedehnte Gletscherfelder; neben kargen Ebenen gibt es fruchtbare Täler; man kann Vulkane bestaunen und Geysire bewundern – kurz: Hier gibt es nahezu alles und das dann auch noch umrahmt vom Pazifik und von den Anden.

Nicht minder interessant ist Chile als Bergbauland – und damit als Partner für unsere Ressourcenuniversität. In Chile wird nicht nur Kupfer gewonnen, sondern u. a. auch Gold und Silber, Lithium, Molybdän, Rhenium und Jod. Hinzu kommt, dass Chile – im Vergleich zu einigen anderen lateinamerikanischen Ländern – über relativ stabile politische und wirtschaftliche Verhältnisse verfügt, sodass Chile für andere Länder ein attraktiver Partner ist. Der Bergbau spielt dabei eine besondere Rolle, und Chile investiert kräftig in diesen Sektor. Allerdings sind Fachkräfte schon jetzt rar, und in den kommenden Jahren ist eine drastische Verschärfung dieses Problems zu befürchten. In Chile sucht man dafür nach Lösungen. In diesem Kontext wandte sich im vergangenen Jahr die chilenische Botschaft an die TU Bergakademie Freiberg und regte eine deutsch-chilenische Kooperation im Bereich der bergbaurelevanten Lehre und Forschung an, insbesondere die Einrichtung eines

deutsch-chilenischen Technologie- und Ausbildungszentrums für Montanwissenschaften im Norden Chiles, wo es die größten Kupferlagerstätten der Welt gibt. Chile möchte dabei auch auf die Expertise der TU Bergakademie Freiberg zurückgreifen.

Die Freiburger Universität betritt dabei kein Neuland. In den vergangenen Jahren konnte sie Kontakte zu mehreren chilenischen Hochschulen auf- und ausbauen, sodass inzwischen mehrere Institute von fünf Fakultäten der Universität eine Zusammenarbeit mit chilenischen Partnern praktizieren. Auch chilenische Studenten und Promovenden gibt es in Freiberg wieder, und Freiburger Studenten absolvieren Studienaufenthalte und Praktika in Chile. Das Interesse an einer Zusammenarbeit ist auf beiden Seiten groß. So weilten auf Einladung der chilenischen Botschaft in Deutschland sowie des chilenischen Bergbauministeriums im März 2012 Prof. Gerhard Heide, Prof. Michael Schlömann, Dr. Nils Hoth, Dr. Frank Haubrich und Birgit Seidel für knapp zwei Wochen in Chile.

Die Freiburger Delegation besuchte die Universidad de Atacama in Copiapó sowie die Universidad Católica del Norte in Antofagasta und traf sich außerdem in der chilenischen Hauptstadt mit Vertretern der Universidad de Concepción. Darüber hinaus standen auch Treffen mit Wirtschaftspartnern wie CODELCO (inklusive einer Besichtigung der Kupfermine Chuquicamata) und BIOSIGMA,



aber auch mit Vertretern der Ministerien für Bergbau, Bildung und Arbeit auf dem Programm. Zum Abschluss der Reise empfing der Minister für Bergbau, für den das Vorhaben von besonderem Interesse ist, die Freiburger Wissenschaftler.

Am 1. Oktober unterzeichnete der Rektor unserer Universität, Prof. Dr. Bernd Meyer, gemeinsam mit Amtskollegen aus Chile und Deutschland eine Absichtserklärung für die Gründung eines Bergbauexzellenzzentrums. Die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Annette Schavan, und der chilenische Bergbauminister, Prof. Herman de Solminihac, begrüßten in einer gemeinsamen Erklärung das Vorhaben. An diesem Projekt werden sich zunächst – neben der TU Bergakademie Freiberg – die Universidad de Concepción, die Universidad de Atacama in Copiapó sowie die Universidad Católica del Norte in Antofagasta beteiligen. Die Freiburger Universität hat vorgeschlagen, das künftige Bergbauexzellenzzentrum nach Ignacio und Casimiro Domeyko zu benennen. Beide, Vater und Sohn, hörten in Freiberg Vorlesungen bzw. studierten an der Bergakademie und haben sich später große Verdienste in Chile, insbesondere im Bergbau, erworben.

■ Birgit Seidel

Ignacio und Casimiro Domeyko

Birgit Seidel

Der Vater: Ignacio Domeyko (1802–1889)

Als Ignacy Domeyko am 31. Juli 1802 geboren wird, gehört seine Heimat zu Russland. Eigentlich entstammt er einem alten polnischen Adelsgeschlecht. Aufgewachsen ist er im polnisch-litauischen Kulturkreis, da seine Heimatstadt Niedźwiadka Wielka bis 1795 zu Polen-Litauen gehörte. Heute liegt sie auf belorussischem Staatsgebiet. Er ahnt damals noch nicht, wo er einst eine zweite Heimat finden soll: in Chile. Heute ist er in Polen, Litauen, Belarusland und Chile eine berühmte Persönlichkeit.

Im Jahr 1816 begann Ignacy Domeyko in Vilna zu studieren. Dort lernte er übrigens auch den Romantiker Adam Mickiewicz kennen, der später als polnischer Nationaldichter berühmt werden sollte. Beide verband eine langjährige Freundschaft. 1822 erwarb Ignacy Domeyko in Vilna den Grad des Magisters der mathematisch-physikalischen Fakultät.

Aus politischen Gründen musste er 1831 seine Heimat verlassen. Anschließend, so heißt es zumindest bei Carl Schiffner (der Domeyko gerade einmal 14 Zeilen widmet), „studierte [er] *Chemie und Mineralogie in Freiberg und Paris*“⁴¹. In anderen Quellen gibt es hierfür allerdings keine Hinweise (weder in polnischen oder spanischen Biografien noch in Unterlagen des Archivs der TU Bergakademie Freiberg). Dass Ignaz Domeyko – sein Vorname ist inzwischen aus dem polnischen Ignacy zum deutschen Ignaz geworden – tatsächlich in Freiberg studiert hat, dürfte deshalb eher zweifelhaft sein. Einig sind sich aber alle Biografen, dass er 1831 längere Zeit in Dresden weilte, bevor er nach Paris ging. In Dresden traf er seinen Freund Adam Mickiewicz, der ebenfalls aus politischen Gründen seine Heimat verlassen hatte, wieder. In dieser Zeit hat Ignaz Domeyko Freiberg zumindest besucht und hier vermutlich auch Vorlesungen gehört. Allerdings hat er auch in Dresden lediglich wenige Monate verbracht, so dass die Zahl seiner Vorlesungsbesuche in Freiberg nur sehr begrenzt gewesen sein kann.

Von der Freiburger Bergakademie gehört haben musste er aber schon viel eher, hatte doch sein Onkel Josef Domeyko ab 1792 in Freiberg studiert^{2,3}. Und auch

Ignaz Domeyko muss die Bergakademie wohl sehr beeindruckt haben – schickte er doch später nicht nur seine Studenten, sondern auch einen seiner beiden Söhne zum Studium nach Freiberg.

Doch zunächst begab er sich nach Paris – abermals mit seinem Freund Mickiewicz –, um dort an der *École des Mines* zu studieren. „Nach Beendigung dieser Studien im Jahr 1837 widmet sich Domeyko praktischen Arbeiten und findet bald eine Anstellung im Elsass.“⁴⁴ Bereits ein Jahr später wird ihm „eine Stelle als Prof. der Chemie und Mineralogie an der Bergschule angeboten, die die chilenische Regierung infolge des außerordentlichen Aufschwungs, den der Silber- und Kupferbergbau ihres Landes ... zu nehmen beginnt, damals zu Serena (Coquimbo) zu gründen beabsichtigt.“⁴⁵ In Chile angekommen, benutzt er für seinen Vornamen bald die spanische Schreibweise Ignacio.

In Serena arbeitet er „einen Lehrplan für die Bergschule aus, trägt an derselben Mineralogie und Physik, Chemie und Probierkunst vor, gründet die hierzu notwendigen Laboratorien und Sammlungen, schreibt Lehrbücher über Mineralogie und Physik“⁴⁶ und erkundet seine neue Heimat. Seine vielseitige Tätigkeit bringt ihm bald die Anerkennung und das Vertrauen der chilenischen Regierung, die ihn u. a. „zum Mitglied des höchsten Gerichtshofs in Bergsachen und zum Mitglied der Kommission für das nationale öffentliche Unterrichtswesen ernennt.“⁴⁷

1847 wird er an die Universität zu Santiago berufen. Auch hier reformiert er bald die Studienpläne. Von 1867 bis 1883 ist er sogar Rektor der Universität von Santiago de Chile (Universidad de Chile).

Als Professor schickt er mehrmals chilenische Studenten an die Freiburger Bergakademie. So kam im Jahr 1862 Anselmo Herreros mit einem Empfehlungsschreiben⁸ von Ignacio Domeyko im Gepäck. Dieser empfiehlt Herreros als ehemaligen Schüler und Freund und bestätigt dessen gute theoretische und praktische Erfahrungen: Er kenne gut den Zustand der Bergwerke und der Industrie in Chile, vor allem in Copiapó. (Übrigens fand im Jahr 2012 in Antofagasta eine Domeyko-Ausstellung statt, auf der u. a. der aus Freiberg stammende



Der aus Freiberg stammende Probierkasten von Anselmo Herreros

de Probierkasten von Anselmo Herreros ausgestellt war.) Ein weiterer von Ignacio Domeyko empfohlener Student war Uldaricio Prado aus Santiago, der 1864 nach Freiberg kam.⁹

Zwei Jahrzehnte später, 1884, ist ein Freiburger in Santiago als sein Nachfolger Professor: Hans Oscar Schulze (1853–1892). Schulze hatte ab 1872 an der Bergakademie studiert. Später (1876/77) war er Assistent bei Winkler. 1880 hatte er als außerordentlicher Lehrer den Unterricht in analytischer Chemie und Maßanalyse übernommen, bis er 1884 als ordentlicher Professor an die Universität Santiago berufen wurde. Bis 1883 war dort Ignacio Domeyko als Rektor tätig. Falls ein damaliges Berufungsverfahren eine mit heutigen solchen Verfahren vergleichbare Dauer gehabt hätte, könnte Domeyko an Schulzes Berufung noch beteiligt gewesen sein.

Während also Winkler in Freiberg 1886 das Germanium entdeckte, forschte sein Kollege Schulze in Chile. Allerdings hatte Schulze in Chile nicht so viel Glück wie Domeyko oder Winkler. Schulze wurde „im Jahre 1893 ein Opfer der Wissenschaft. Er beschäftigte sich viel mit der Untersuchung von Verbindungen des Arsens, darunter auch mit dem Arsenwasserstoff, einem farblosen, äußerst giftigen Gas, gegen welches Gegenmittel nur bei sofortiger Anwendung helfen. Eines Tages merkte er, dass er solches Gas eingeatmet hatte. Die große Gefahr erkennend, schloss er sein Laboratorium ab und warnte durch einen an die Tür gehefteten Zettel vor seinem Betreten. An ihm selbst wurden alle Gegenmittel versucht, aber vergebens. Er hatte schon zuviel von dem giftigen Gas eingeatmet, die Hilfe kam zu spät, und er starb nach etwa acht Tagen an den Folgen dieser Vergiftung.“¹⁰

Doch zurück zu Domeyko. 1850 heiratete er die Chilenin Enriqueta Sotomayor.



Grabmal der Domeykos auf dem Cementerio General in Santiago

Aus der Ehe gingen drei Kinder hervor: die Tochter Ana sowie die beiden Söhne Hernán Esteban und Juan Casimiro.¹¹

1884 begab sich Ignacio Domeyko noch einmal nach Europa. Einen seiner Söhne, Hernán Esteban, schickte er nach Rom, wo dieser Geistlicher wurde. Den anderen Sohn, Juan Casimiro, brachte er nach Paris sowie nach Freiberg, wo er an der Bergakademie studierte.¹² 1888 beendeten beide Söhne ihre Studien in Europa und kehrten gemeinsam mit ihrem Vater nach Chile zurück. Bereits während der Schiffsfahrt erkrankte Ignacio Domeyko jedoch und musste am ersten chilenischen Hafen, in Talcahuano, an Land gehen. Im benachbarten Concepción erholte er sich und konnte später seine Heimreise nach Santiago fortsetzen, wo er jedoch wenige Monate später, am 23. Januar 1889, im Alter von 86 Jahren starb.¹³ Auf dem Cementerio General in Santiago – einem riesigen Park voller neuer und alter, gepflegter und vergessener Gräber und Denkmäler, auf dem sich u. a. auch das Grab Salvador Allendes befindet – kann man noch heute Domeykos letzte Ruhestätte besuchen. Einst als Denkmal für Ignacio Domeyko errichtet, sind darauf inzwischen auch die Namen zahlreicher seiner Nachfahren zu finden.

Der Sohn: Casimiro Domeyko (1863–1922)

Ignacio Domeykos Sohn Juan Casimiro wurde 1863 geboren. Gemeinsam mit seinem Bruder und seiner Schwester

wuchs er in Chile auf, bevor er 1884 zum Studium nach Europa, zunächst nach Paris und dann an die Bergakademie Freiberg, ging. Und während nicht sicher ist, was und wie lange sein Vater in Freiberg war, geben uns die im Archiv der TU Bergakademie Freiberg vorhandenen Akten genaue Auskunft über den Aufenthalt Casimiro Domeykos in Freiberg.

Als Student Nr. 3434 schrieb er sich 1886 an der Bergakademie ein. Der Matrikelbogen enthält außerdem einen Vermerk, dass Casimiro Domeyko – nach Abschluss seines Studiums an der Bergakademie – seine hier hinterlegten Zeugnisse am 13. Juni 1888 wieder abgeholt hat.¹⁴ Von 1899 bis 1912 war er Director de la Escuela de Minas de Copiapó. Er unterrichtete Mineralogie, Geologie und Chemie. Zudem führte er in Copiapó Freibergs Lehrmethoden ein. Casimiro Domeyko verstarb im Jahr 1922.

Aus der Escuela de Minas in Copiapó ging später die Universidad de Atacama hervor. Eine Straße auf dem Campus der Universität in Copiapó trägt heute den Namen des einstigen Direktors. Auch das Lehrbergwerk der Universität ist nach Casimiro Domeyko benannt.

Mit der Universität von Santiago de Chile (Universidad de Chile), an der Ignacio Domeyko einst Rektor war, hat die TU Bergakademie Freiberg heute wieder Kontakte. Außerdem unterhält die Bergakademie Kooperationen mit mehreren weiteren chilenischen Universitäten, u. a. in Nordchile, wo Ignacio Domeyko zunächst tätig gewesen war: so mit der Universidad de Atacama in Copiapó sowie

mit der Universidad Católica del Norte in Antofagasta. Diese hat heute Filialen in La Serena und Coquimbo, wo Domeyko einst seine Laufbahn in Chile begonnen hatte.

Nach Ignacio Domeyko wurden bisher u. a. eine Stadt in Chile (Domeyko in der Region de Atacama), die Cordillera Domeyko in Nordchile in der Region de Antofagasta, eine Bibliothek in Buenos Aires (Biblioteca Polaca Ignacio Domeyko), ein Mineral (Domeykit), ein Fossil (*Nautilus domeykos*), ein Ammonit (*Ammonites domeykanus*) sowie ein Asteroid benannt. Das geplante deutsch-chilenische Technologie- und Ausbildungszentrum für Montanwissenschaften soll die Namen von Ignacio und Casimiro Domeyko tragen.

Quellen

- 1 Schiffner, Carl: Aus dem Leben alter Bergstudenten. Band II. Freiberg 1938, S. 23–24.
- 2 Wójcik, Zbigniew: Ignacy Domeyko. Warszawa-Wrocław 1995, S. 598.
- 3 UAF, OBA 185, Bl. 176–178.
- 4 Stelzner, A. W.: Ignaz Domeyko. Separat-Abdruck aus dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie etc. 1889, Bd. II. Freiberg 1889, S. 2.
- 5 ebenda, S. 2.
- 6 ebenda, S. 2–3.
- 7 ebenda, S. 3.
- 8 UAF, OBA 347, Bl. 113b.
- 9 UAF, OBA 226, Bl. 164–165.
- 10 Schiffner, Carl: Aus dem Leben alter Bergstudenten. Band I. Freiberg 1935, S. 351–352.
- 11 Wójcik, Zbigniew: Ignacy Domeyko. Warszawa-Wrocław 1995, S. 600.
- 12 Stelzner, A. W.: Ignaz Domeyko. Separat-Abdruck aus dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie etc. 1889, Bd. II. Freiberg 1889, S. 6.
- 13 ebenda, S. 7.
- 14 UAF, MATR 3434.



Matrikelbogen 3434 von Casimiro Domeyko mit dem Vermerk, dass dieser seine hier hinterlegten Zeugnisse am 13. Juni 1888 wieder abgeholt hat



Eckardt Wühner

„Metropolis“ als Geburtstagsgeschenk 60 Jahre Studentenkino

Wann es genau anfang mit der Vorführung von Filmen für Studenten, das kann keiner mehr sagen. Fest steht nur, dass alles im Saal der Alten Mensa begann. Das Haus wurde seit 1951 außer in der Funktion als Mensa auch als Klubhaus genutzt. Die Hochschulfilm- und -bildstelle (das heutige Medienzentrum), die die Vorführung übernahm, wurde 1953 gegründet. Also einigten sich die heutigen Mitglieder der AG Kino auf 1952 als Jahr für deren Geburtstag. Seit dieser Zeit also wurden mit einer transportablen 35-mm-Projektionsanlage einmal wöchentlich von Mitarbeitern der Hochschulfilm- und -bildstelle Filme gezeigt, die im Normalangebot der beiden Freiburger Kinos (Filmbühne Stadtpark in der Fischerstraße und Turmhof-Lichtspiele in der Chemnitzstraße, beide jetzt geschlossen) kaum oder gar nicht zu sehen waren.

Später, nach der Einweihung des Großen Hörsaals in der Winklerstraße, wurden die Filme mit stationären Projektoren quasi direkt auf dem Campus gezeigt. Und das ist bis heute so geblieben (wenn man von einem kurzen Inter-

mezzo in der Alten Mensa absieht, als das Dach des Hörsaals eingestürzt war). Mittlerweile hatte der Studentenclub Das Füllort e. V. die Regie über das Montagsskino übernommen und führte so die Staffette bis zu seiner Schließung weiter.

Um diese traditionsreiche Veranstaltung nicht untergehen zu lassen, übernahm ab diesem Zeitpunkt das Studentenwerk Freiberg die Trägerschaft, und so konnten auch nach dem Sommersemester 2006 die Montagsskino ohne Spielpause gezeigt werden. Bis heute werden die Streifen möglichst nicht auf DVD-Basis, sondern, sofern nur irgend möglich, als von Hand eingelegte Zelluloidstreifen vorgeführt. Da kann es auch mal passieren, dass der Film reißt und so eine ungewollte Pause entsteht.

Mittlerweile sind mehr als 5 Millionen Filmmeter durch die Maschinen gerattert, und eine Handvoll Leute kümmert sich auch heute noch darum, dass es immer mehr werden. Das bedeutet viel Arbeit hinter den Kulissen, denn es gilt sicherzustellen, dass interessante Filme für das nächste Semester ausgewählt werden, die Werbung steht, die Projektoren in Betrieb gesetzt werden können und Eintrittskarten für den Abend da sind.

Ein Geburtstag ist natürlich ein Grund zum Feiern – und ein runder sowieso. Aus diesem Grunde hatten die Mitglie-

der der Kino-AG einen Filmklassiker ausgewählt, der so in Freiberg schon lange nicht mehr aufgeführt worden war:

Am 14. Mai dieses Jahres hob Generalmusikdirektor Jan Michael Horstmann um 20 Uhr den Taktstock und führte seine Mittelsächsische Philharmonie durch den Stummfilm „Metropolis“, sehr zur Freude der Gäste, die die Aufführung mit lang anhaltendem Beifall feierten. Dies war eine sehr aufwendige Produktion, die sicherlich nicht so schnell wieder in Freiberg zu erleben sein wird. Aber das Studentenwerk war der Meinung, dass es sich die Mitglieder der AG verdient haben, mit ihrer regelmäßigen und zuverlässigen Arbeit einmal derartig in den Mittelpunkt gerückt zu werden. Schließlich organisieren sie jährlich rund 40 Kinovorführungen, egal, ob als Montagsskino im AudiMax, als Kino extra in der Alten Mensa oder als *open air* im Hof des Freiburger Schlosses.

Zum Schluss noch ein Dankeschön an alle, die es ermöglichten, dass unsere AG überhaupt so lange bestehen konnte, vor allem an das Studentenwerk Freiberg und die TU Bergakademie, das Medienzentrum, die beiden langjährigen Filmvorführer Uwe Schellbach und Ronald Otto sowie alle ehemaligen und derzeitigen AG-Mitglieder.

■ Thomas Schmalz

Wieder ans Licht gebracht

Burg und Dominikanerkloster zu Freiberg

Daniela Gräf, Thomas Westphalen

Wenn im Jahr 2016 die neuen Gebäude des Schloßplatzquartiers der Nutzung übergeben werden, finden genau zehn Jahre nach Beginn der Sicherungsarbeiten im Schloss Freudenstein zwei Bauvorhaben ihren Abschluss, die nicht nur das Stadtbild Freibergs verändern, sondern auch die enge Verbundenheit der TU Bergakademie mit der Stadt Freiberg eindrucksvoll unterstreichen werden.

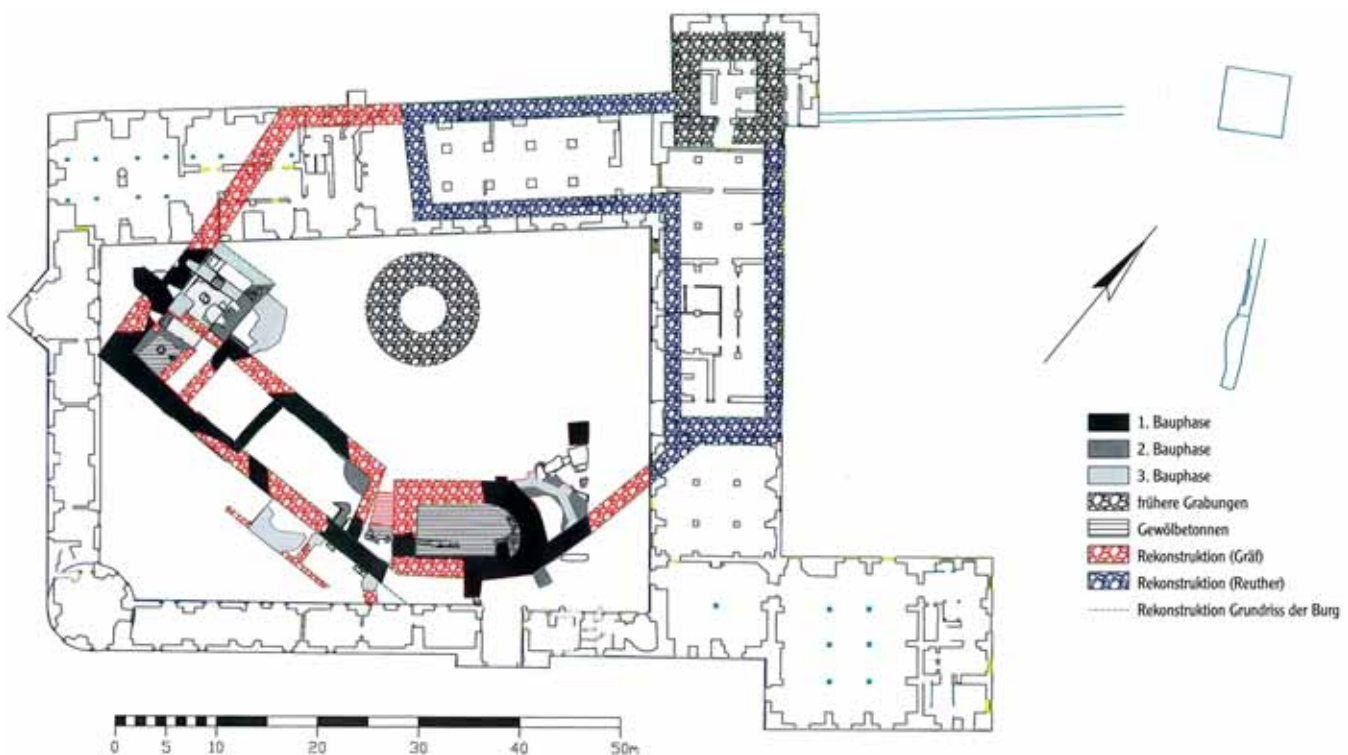
Nach langer Vorbereitung begannen im März 2006 archäologische Untersuchungen im Neuen Schloßhof des Schlosses Freudenstein. Bereits 1984 hatten Archäologen dort Reste eines mächtigen mittelalterlichen Bergfrieds, der zentralen Befestigung der Burg Freibergs, dokumentiert, der bei Kanalarbeiten gefunden wurde. Der Name der Burg ist bis heute unbekannt, die Bezeichnung Freudenstein tauchte erstmals im Jahr 1525 auf. Während der bis Dezember 2006 andauernden Ausgrabung kamen weitere mittelalterliche Gebäude und Mauern zum Vorschein, die die Burg als eine Anlage zeigen, deren Gebäude sich polygonal um den bereits im Mittelalter abgetragenen Bergfried gruppierten. Im Lauf der über 350-jährigen Nutzung der

Burg erfolgten immer wieder An- und Umbauten – die letzten ab 1505, als Freiberg zeitweilig zur herzoglichen Residenz avancierte und Herzog Heinrich der Fromme die alte Burg im farnefrohen Stil der Renaissance zum repräsentativen Zentrum seiner Herrschaft umbauen ließ. Unter Kurfürst August begann 1566 mit dem Abbruch großer Teile der Burganlage der Bau des Renaissanceschlosses Freudenstein, das 1577 fertiggestellt wurde. Im Gegensatz zur Burg, deren Hauptorientierung den Himmelsrichtungen folgt, ist das Schloss Freudenstein in das Stadtgefüge integriert, da das Schloßtor in die Achse Burgstraße–Erbische Straße–Erbisches Tor eingebunden ist. Die städtebauliche Aufwertung dieser Linie zur Zeremonialstraße, über die der Herzog oder Kurfürst sowie hochrangige Gäste nebst umfangreichem Gefolge in die Stadt ein- oder ausritten, strahlte auch auf die Umgebung aus, indem die zunächst schütterere Bebauung um das Schloss nach und nach verdichtet wurde. Auch der vollständige Abriss des Dominikanerklosters und die Errichtung von Wohnhäusern im ehemaligen Klosterareal waren eine Konsequenz dieses Stadt-

umbaus. Das Dominikanerkloster in Freiberg wurde in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts, wohl um 1236, gegründet. Über das vorreformatorische Aussehen dieses bedeutenden Klosters sind wir nicht informiert. Die älteste Stadtansicht Freibergs zeigt zwar noch die ausgesprochen lange Kirche; die Klausurgebäude waren um 1550 allerdings schon abgetragen bzw. umgebaut.

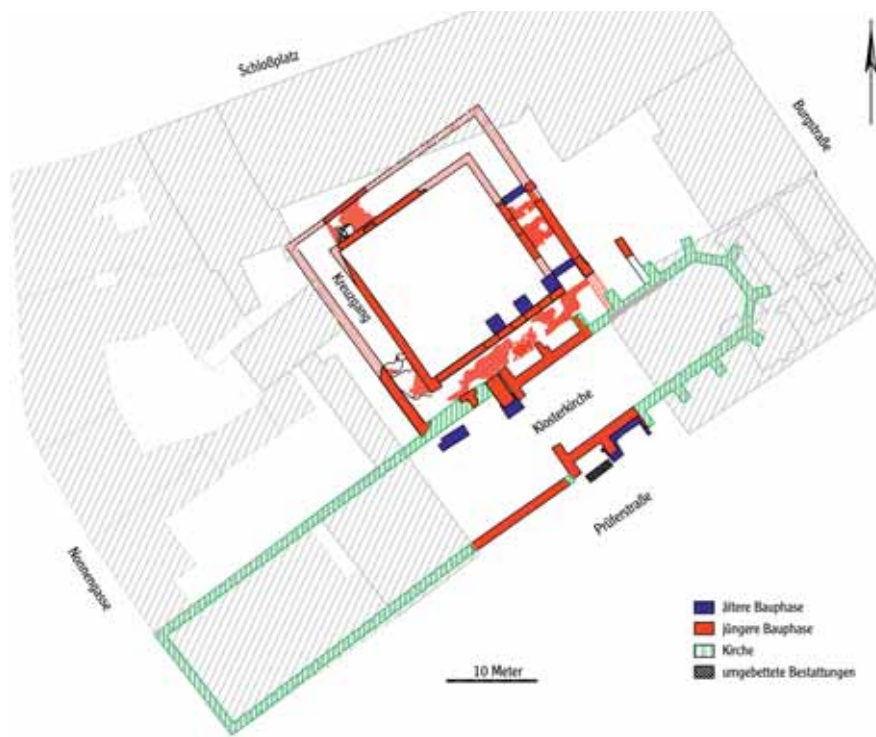
Der bevorstehende Beginn der Baumaßnahmen für das Schloßplatzquartier ist Anlass für die Ausgrabungen an der Prüferstraße, deren Ziel die Freilegung und Dokumentation der Baulichkeiten des Dominikanerklosters und einer eventuellen Vorgängerbebauung ist. Bei den im Jahr 2008 begonnenen archäologischen Untersuchungen auf dem Grundstück Prüferstraße 4 konnten Reste der Klosterkirche, des angrenzenden Kreuzgangs sowie des Friedhofs dokumentiert werden.

Bei der Neuparzellierung des Areals nach Auflösung des Klosters berücksichtigte man offensichtlich die damals noch erhaltene Kirche, indem man eine Parzellengrenze exakt über dem Übergang vom Kirchenschiff zum Mönchschor verlaufen ließ. Nach dem überkommenen Befund hatte dies zur Folge, dass auf dem westlich gelegenen Grundstück die mittelalterlichen Mauern vollständig der Neubebauung weichen mussten, während man für einige Fundamente des



C. Wollmann, D. Gräf

Rekonstruktion des Grundrisses der Freiburger Burg. Um den bereits im Mittelalter wieder abgetragenen Bergfried gruppieren sich Wehrmauern und Gebäude.



Mit Hilfe der aktuellen Grabung rekonstruierte Grundrisse von Kirche und Kreuzgang des Dominkanerklosters

anderen Gebäudes Kirchenmauern nutzte, sodass Teile des spätmittelalterlichen Chores und des sich nach Norden an die Kirche anschließenden Kreuzgangs hervorragend erhalten geblieben sind.

Die 1,10 Meter starke Außenmauer des Chores ist durch Pfeilerfundamente von 1,7 Metern Länge und 1,1 Meter Stärke gegliedert. Die Pfeiler befinden sich an der Außenseite des Mauerwerks und stehen in Abständen zwischen 3,75 und 3,90 Metern zueinander. Die beiden Pfeiler am westlichen Ende der vorhandenen Mauerreste sind durch gegenständige Pfeiler an der Innenseite der Mauern zusätzlich verstärkt. Bei diesen Pfeilern wird es sich um den Übergang vom Chor zum Langhaus der Kirche gehandelt haben.

Die zur Kirche gehörigen Mauern aus Gneisbruchsteinen sind nicht in einem Zuge planvoll errichtet worden, sondern gehören zu verschiedenen Auf- und Umbauphasen des Baus. Deutlich sichtbar setzt sich die Außenmauer gegen ältere Fundamente ab. Einen Datierungsanhalt für den jüngsten Umbau geben die in der nördlichen Kirchenaußenmauer erhaltenen Sandsteinprofile. Ähnliche Profile sind in den Jahren um 1400 in der Nikolaikirche verbaut worden.

Der Kreuzgang grenzt an die nördliche Längsseite der Kirche. Die den Kreuzgang vom Innenhof trennende, üblicherweise mit Arkaden gestaltete innere Kreuzgangmauer konnte an allen vier

Seiten freigelegt werden. Damit lässt sich der vom Kreuzgang umschlossene Innenraum als ein Quadrat mit ca. 20 Metern Seitenlänge rekonstruieren. Der Kreuzgang war vermutlich auf seiner gesamten Länge mit Fußbodenplatten aus Ziegeln versehen. Die in den drei ausgegrabenen Arealen des Kreuzgangs aufgefundenen quadratischen Platten weisen eine Kantenlänge von etwa 16 und eine Stärke von etwa fünf Zentimetern auf.

Kirche, Kreuzgang und der nördlich der Kirche gelegene Innenhof dienten als Grablege der Mönche und angesehener Freiburger Bürger. Es handelt sich überwiegend um Sargbestattungen der Leichname in gestreckter Rückenlage mit gefalteten oder überkreuzten Händen. Es wurden, abgesehen von zwei kleinen Metallösen im Halsbereich zweier Ske-

lette, weder Beigaben noch Kleiderbesatz festgestellt, sodass von einer Bestattung im Totenhemd oder Leichentuch auszugehen ist. Vor allem im Kreuzgang ist die Belegung ausgesprochen dicht – bis zu sechs Gräber wurden übereinander bzw. sich gegenseitig störend angetroffen. Insgesamt sind ca. 70 Bestattungen dokumentiert worden. Rechnet man die vorgefundene Belegungsdichte hoch auf die innerhalb des zukünftigen Baufelds zur Verfügung stehenden Fläche, muss man von ehemals über 300 hier Bestatteten ausgehen. Kurz nach der Reformation war die Erinnerung an die Bestatteten noch wach, denn unmittelbar südlich des Chores fand sich eine rechteckige Grube, in die – sorgfältig sortiert – die Knochen von ca. 50 Individuen sekundär beigelegt waren. Wahrscheinlich noch im 16. Jahrhundert, also bald nach der Auflösung des Konvents und der Umnutzung bzw. des Abbruchs von Klostergebäuden, ist die Umbettung erfolgt, als man Teile des ehemaligen Klosterfriedhofs beräumte, um Baugrund für die nachklosterzeitliche Wohnbebauung zu schaffen.

Hinweise auf Konventsgebäude gibt es bislang nicht. Eine ehemals zu einer Steinofen-Luftheizung gehörige Platte, die zwischen Kirchenmauer und Kreuzgang lag, wurde sekundär als Fußbodenplatte verwendet. Die vier Löcher für die Warmluft waren mit Kalkmörtel verschlossen. Es ist nicht ganz sicher, dass die Platte schon während des Bestehens des Klosters in den Kreuzgang gelangte, da dieser Abschnitt des ehemaligen Kreuzgangs nach Aufgabe des Klosters über einige Zeit als geschlossener Raum bzw. mehrere geschlossene Räume umfassend weiterbestand.

Die Grabungen im ehemaligen Dominkanerkloster werden im kommenden Jahr fortgeführt.



Das Kloster war auch Friedhof. Sowohl Mönche als auch Freiburger Bürger fanden hier ihre letzte Ruhe. Bald nach Auflassung des Klosters wurden zahlreiche der sterblichen Überreste umbettet, indem man die Knochen in einer Grube südlich des Kirchenfundaments sorgsam niederlegte.



Leben versteinerner Welten

Paläontologische Illustrationen von Frederik Spindler

Paläontologie, die Wissenschaft von der Vergangenheit des Lebens auf der Erde, ist der einzige Weg, die Geschichte der Umwelt über lange Zeiträume zu betrachten. Die Vielfalt von Lebensformen und Lebensräumen fasziniert uns, und sie zu erforschen, positioniert uns als Menschen. So sehr dies schon die heute bekannte Natur vermag, so erschließt doch die Paläontologie eine ungleich größere Mannigfaltigkeit. Mit dem Blick auf die Entwicklung der Lebewelt, ihre Zerbrechlichkeit und Widerstandskraft, gewinnen wir eine geheimnisvolle und großartige Beziehung zu dem Kosmos, der uns umgibt. Stärker denn je ist die paläontologische Fachwelt bemüht, methodisch und in Bezug auf Anwendbarkeit mit anderen Naturwissenschaften vergleichbar zu bleiben. Diesem völlig richtigen Weg ist ein anderer zur Seite gestellt, nämlich jener, der mittels künstlerischer Darstellung die reine Faszination feiert und am Leben erhält. Hier hat die Paläontologie ihren bleibenden Urgrund, und so kann sie sich der Öffentlichkeit mitteilen. Wenn aus Staub und Steinen die Vergangenheit der Erde abgelesen werden kann, dann muss sie auch wieder anschaulich zum Leben erweckt werden. Ohne Illustration verliert meine geliebte Wissenschaft ein gutes Stück ihrer Legitimation.

Ich bin Wissenschaftler und Künstler zugleich, keines vom anderen getrennt. Ein altes Foto beweist, dass ich etwa mit vier Jahren angefangen haben muss, Eindrücke vom Saurierpark in Kleinwelka auf meine kleine Tafel zu übertragen. Bald hatte ich ein paar Bücher, später auch Anregungen aus dem Internet. Die großen Vorbilder der Szene wie Zdeněk Burian, Charles R. Knight und Douglas Henderson waren es, die mit lebendigen Zeichnungen und Gemälden quer durch die ganze Erdgeschichte führten. Ihr Verdienst ist es, Generationen nachkommender Wissenschaftler zu motivieren, die jeweils gültigen Paradigmen historisch zu dokumentieren, und die merkwürdigsten Kreaturen als echte Tiere vorstellbar zu machen. Immer waren es gleichermaßen die Forschung und die

Illustration, die mich fesselten und zur Nachahmung lockten. Während des Studiums an der Bergakademie wurden erste Werke von Kollegen verwendet, neue in Auftrag gegeben. Dieser fachlichen Zusammenarbeit verdanke ich wertvolle Diskussionen und den Anreiz zur technischen Steigerung. Inzwischen ist das Spektrum breit angelegt, von schematischen Grafiken über Fossildokumentation bis hin zu klassischer Malerei, Modellen und digitalen Arbeiten. Zu den Klienten gehören Liebhaber, Museen und Wissenschaftler. Mit ihnen zusammen werden Bilder vorerst in der gemeinsamen Überlegung erschaffen, Kompositionen erörtert, fachliche Aspekte diskutiert. Das Ergebnis sind originäre Rekonstruktionen, eine Verschmelzung aus bekannten Fakten und plausibler Fiktion im Unbekannten.

Die gewissenhafte Auseinandersetzung mit Umwelt und Ressourcen erfordert es beständig, den wissenschaftlichen Nachwuchs zu begeistern. Und eine noch viel breitere Zielgruppe soll ihre Liebe zur Natur entdecken können. Gewiss kann die Paläo-Illustration dabei einen ganz besonderen Beitrag leisten und die Erkenntnis vermitteln, dass Natur nicht immer bleibt, wie sie einmal ist. Sie hat eine lange Vergangenheit, und ihre Zukunft ist noch nicht entschieden.

Kontakt: Institut für Geologie, B.-v.-Cotta-Straße 2, 09599 Freiberg. Der Kalender „Leben versteinerner Welten“ kann über den Autor bezogen werden: www.frederik-spindler.de



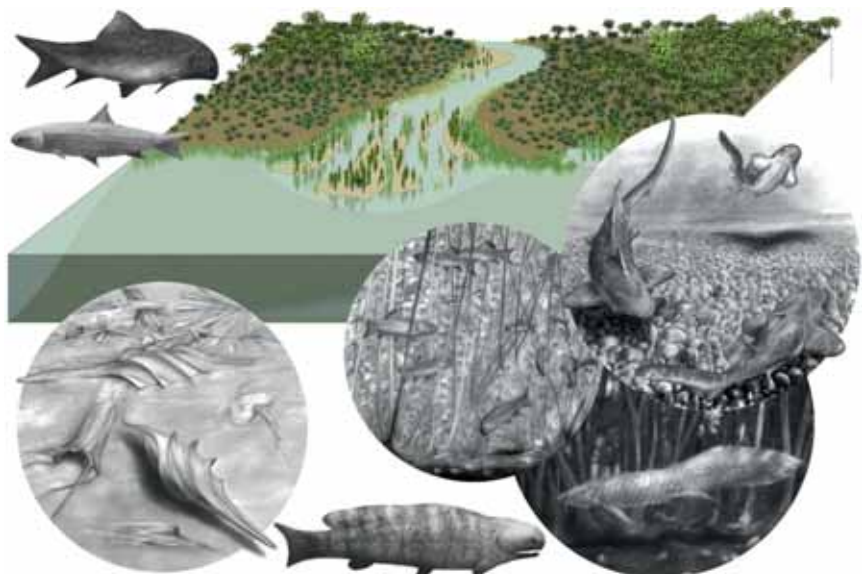
Kleines Reptil mit überliefertem Hautabdruck (Trias)



Glaukerpeton, Riesenlurch des ausgehenden Karbon



Arthropleura, ein Vielfüßer von über 2 Metern Länge (Karbon bis Perm)



Rekonstruiertes See-Biotop der Trias von Kirgisien. Links *Arthropitys*, verzweigter Schachtelhalmbaum des Perm





Christel-Maria Höppner

Bergbaugeschichte in Filz

Christa Fischer aus Freiberg gestaltet Bergwerksanlagen

Nachdem Christa Fischer Arbeiten von Grafiker Helmuth Rudolph (1906–1981) gesehen hatte, die er einst der Bergakademie für eine Geschenkmappe zur Verfügung gestellt hatte, kam sie auf die Idee, einige dieser Motive in Filz zu gestalten. Bisher nahm die Freiburgerin schon einige bekannte Straßen und Gebäude zur Vorlage für ihre Filzbilder. Die Rohrfederzeichnungen aber zur Dokumentation von Bergbau und Hüttenwesen sprachen die 1932 in der Bergstadt geborene Hobbykünstlerin besonders an, zumal sie sich an einige der Anlagen noch persönlich erinnern konnte.

„Nachdem ich die Erlaubnis der Familie Rudolph hatte, die Motive zu nutzen, musste ich mir aber bei der farblichen

Gestaltung etwas einfallen lassen“, erklärt sie. „Denn die Zeichnungen sind ja schwarz-weiß gehalten.“ Sie entschied sich deshalb für eine Herbststimmung, da sie damit die Bilder in unterschiedlich warmen Tönen wiedergeben konnte. Für den Betrachter ergibt sich so ein ganz neues, freundliches Bild. Einige Gebäude, die noch vorhanden sind, wie etwa das Huthaus und den Dreibrüderschacht suchte Christa Fischer extra noch einmal auf, um sich vor Ort umzusehen und aktuelle Eindrücke zu sammeln. Im Laufe der vergangenen zwei Jahre ist so ein wunderbarer Zyklus von 14 Filz-Bildern entstanden. Auf ihnen sind unter anderem die Reiche Zeche, die Alte Elisabeth, der Abrahamschacht mit der Bergschmiede

oder das Huthaus vom Löfflerschacht zu bewundern. Erst jüngst waren diese und weitere Arbeiten im Heimathaus Clausnitz bei Holzhausen zu sehen. Wie groß die Resonanz ist, belegen viele Eintragungen im Gästebuch.

Christa Fischer, die ursprünglich Herrenschneiderin gelernt hatte, arbeitete 35 Jahre als technische beziehungsweise kartografische Zeichnerin in der Geologischen Forschung und Erkundung Freiberg (GFE). Handarbeiten sind ihr Hobby. Sie nähte schon Westernbekleidung und Trachten, beherrscht Patchwork- und Klöppelarbeiten. Erst nach einer Krebserkrankung wurde sie auf ihr Material Filz aufmerksam. Damals beschäftigte sie sich intensiv mit der Verarbeitung und Gestaltung von Schafwolle und lernte Techniken wie Färben, Stricken, Weben und eben auch Filzen kennen. Seit sechs Jahren arbeitet sie vorwiegend mit der Trockenfilztechnik mit industriell gefärbten Vliesen auf Styropor. „Viele Motive entspringen meiner Fantasie. Aber auch von Naturbeobachtungen oder speziell von den Grafikblättern lasse ich mich gern inspirieren“, erzählt sie. „An den Bergbaumotiven nach den Rohfederzeichnungen hänge ich ganz besonders und würde sie gern einmal an der TU Bergakademie zeigen.“

In über elf Ausstellungen in und um Freiberg präsentierte sie bereits ihre Filz-Bilder, drei weitere Expositionen sind geplant. Bis März 2013 sind übrigens acht ihrer Arbeiten im Kundenraum der Freien Presse am Obermarkt zu bewundern.

■ Christel-Maria Höppner

Johann Sebastian Bach und der Ursula-Erbstollen

– Teil 1 –

Eberhard Spree

„Bergwerk bauen ist eine freye, ungezwungne Nahrung welches zu erheben und in guten Wohlstand zu erhalten, nach derer Alten Regel nicht eines Mannes Thun ist, sondern darzu aus allen Ständen viele, die ihr Geld dem gemeinen Wesen zum Besten, mit guten Herzen anwenden, unumgänglich von nöthen sind...“

Minerophilus, Bergwercks-Lexicon, Chemnitz 1743

Johann Sebastian Bach – Mitbesitzer eines Silberbergwerks! Diese Aussage mag etwas überraschen, aber Bach war

Gewerke des Ursula-Erbstollens zu Kleinvoigtsberg. In einem bergmännischen Wörterbuch von 1778 heißt es dazu: „Gewerke ist, welcher eine Zeche ... oder einen Teil daran besitzt“. 128 Anteile (Kuxe) vergab eine solche Zeche, und Bach besaß zu seinem Lebensende 1 1/2 Kuxe. Das war also ungefähr der hundertste Teil dieses Bergwerks. Über die bergbaulichen Einrichtungen dieser Zeche konnte er nicht verfügen. Als Gewerke hatte er aber das Recht, von den Verantwortlichen Informationen über den Zustand der Grube einzuholen, durfte das Bergwerk befahren, hatte ein Mitspracherecht bei der

Berufung des Schichtmeisters und des Steigers, konnte am Werkentag teilnehmen. (Das war eine Versammlung, in der in regelmäßigen Abständen über die weitere Entwicklung der Zeche beraten wurde.) Ein Gewerke konnte sich dabei aber auch durch einen Faktor vertreten lassen. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass Bach diese Rechte vor Ort wahrgenommen hat. Schon die weite Entfernung dürfte das verhindert haben. Der Ursula-Erbstollen liegt rund 90 Kilometer südöstlich von Leipzig, eine Entfernung, für die zur damaligen Zeit rund 20 Stunden angegeben wurden.



Stadtgeschichtliches Museum Leipzig

Johann Sebastian Bach, Gemälde von Elias Gottlob Haubmann

Vor allem hatte Bach als Gewerke aber eine wichtige Verpflichtung: Wenn das Bergwerk allein durch den Verkauf des gewonnenen Silbers nicht betrieben werden konnte, waren regelmäßige Zahlungen zu leisten. Alle drei Monate musste dann eine bestimmte Summe (Zubuße) an das Bergwerk gezahlt wer-

den. Im umgekehrten Fall wurden die Gewerken anteilig an den Gewinnen der Zeche beteiligt; sie erhielten Ausbeute. Der Ursula-Erbstollen war aber auf die finanzielle Unterstützung seiner Anteilseigner angewiesen und damit eine Zubußzeche.

Die Höhe der Zubuß wurde immer wieder neu festgelegt. In den Zeiten, in denen Bach Gewerke des Ursula-Erbstollens war, wurden pro Quartal und Kux zwischen einem Taler und einem Taler und zwölf Groschen gefordert (1 Taler = 24 Groschen, 1 Groschen = 12 Pfennige).

Zahlte ein Gewerke bis zur 6. Woche des Quartals keine Zubuß, konnte sein Anteil ins Retardat gesetzt werden. Das war eine Art Exekutionsverfahren. Blieb er dann immer noch seine Zubuß schuldig, wurde ihm sein Anteil in der 6. Woche des nächsten Quartals entzogen – der Kux wurde im Retardat verstanden.

Bei Zubußzechen wurde es mit dem Retardat aber nicht so genau genommen.

Das Nachlassverzeichnis, in dem Bachs Eigentum nach seinem Tod für die Erbaufteilung aufgelistet wurde, war bisher das einzige bekannte Dokument, aus dem hervorging, dass Bach einen An-

teil am Ursula-Erbstollen besaß. Im Jahr 2010 entdeckte ich aber im Bergarchiv Freiberg 38 Zechenregister des Ursula-Erbstollens, in denen Johann Sebastian Bach 44-mal in unterschiedlichen Zusammenhängen erwähnt wird. Diese Register geben genauere Auskunft über Bachs Anteilsbesitz, und mit ihrer Hilfe ist es erstmals möglich, Bachs diesbezügliche Handlungsweisen und Beweggründe näher zu untersuchen.

Zechenregister wurden quartalsweise erstellt. Die jeweils 13-wöchigen Rechnungsabschnitte trugen die Namen Reminiscere, Trinitatis, Crucis und Lucia. Die Register geben Auskünfte über die Einnahmen, Ausgaben und Vorräte der jeweiligen Grube. In ihnen sind auch die Namen der Gewerken, die Höhe ihres Anteils und häufig auch Berufsbezeichnungen, Titel und Wohnorte aufgeführt.

Um Bachs Kuxbesitz einordnen zu können, ist eine kurze Betrachtung des sächsischen Silberbergbaus notwendig. Ausbeutbögen aus dem 18. Jahrhundert, die ebenfalls im Bergarchiv Freiberg eingesehen werden können, sind dabei eine wertvolle Hilfe. Sie wurden in jedem Quartal neu gedruckt. Für das



Eberhard Spree

Blick vom Haldenzug des Ursula-Erbstollens auf das Muldetal. Der Stollen liegt ca. 8 Kilometer nördlich von Freiberg, südlich von Kleinvoigtsberg. Er ist heute nicht mehr zugänglich. Der in geringer Entfernung zum Haldenzug verlaufende Sankt-Ursula-Weg erinnert noch an dieses Silberbergwerk.

erste Quartal 1741 ist nachzulesen, dass es im Freiburger Bergrevier – dort befand sich ungefähr ein Drittel der sächsischen Bergwerke (unter ihnen der Ursula Erbstollen) – über 100 Zechen gab, die auf regelmäßige Zubußzahlungen ihrer Gewerken angewiesen waren. 15 Zechen konnten auf diese Zuzahlungen verzichten, weil sie durch den Verkauf des gewonnenen Silbers ihren Betrieb sichern konnten. Bei zwei Zechen (Verlagszechen) war bereits ein Überschuss vorhanden. Sie zahlten erhaltene Zubußen an ihre Gewerken zurück und in acht Bergwerken (Ausbeutzechen) wurden die Anteilseigner an den Gewinnen beteiligt; die Gewerken erhielten Ausbeute. Beim Vergleich von Ausbeutbögen verschiedener Quartale ist festzustellen, dass sich nur sehr wenige Zechen über die Jahre von einer Zubußzeche zu einer Ausbeutzeche entwickelten.

Die Gewinnung von Silber im Erzgebirge trug dauerhaft dazu bei, dass Sachsen als ein reiches Land galt. Allein im Bergrevier Freiberg wurden zu Bachs Zeit um die 7.000 Kilogramm Silber pro Jahr gewonnen. Um besonders ertragreiche Vorkommen zu entdecken, war die hohe Anzahl von Zubußzechen, die durch zahlreiche Gewerken finanziert wurden, eine Voraussetzung. Daneben beschäftigten diese Bergwerke eine große Anzahl von Bergleuten, die hier für sich und ihre Familien den Lebensunterhalt verdienten. Außerdem wurde durch diese Zubußzechen auch Silber gewonnen, das Sachsen zugutekam.

Dabei sah man die Erzlagerstätten als eine Gabe Gottes an. Neuer Segen Gottes-Erbstollen, Gnade Gottes-Erbstollen, Neue Gabe Gottes-Erbstollen, Christbescherung sind nur einige Beispiele von Zechennamen aus dem Freiburger Revier, die diese Sichtweise bestätigen. Auch manch alter Bergreihen (Bergmannslied) bringt das zum Ausdruck: „Gott hat in diesem Erdenball so mancher Erze reichen Fall mit weiser Hand verborgen.“ oder „In den Erden schafft er frei Metallen mancherlei und lässt auch noch früh und spät Erz wachsen aus grosser Gnad“.

Um dieser Gabe Gottes teilhaftig zu werden, war neben harter Arbeit, Geduld und Ausdauer auch Geld notwendig. Dabei wurde verlässliche Zubußzahlung als eine christliche Tugend angesehen.

Bei der Unterstützung von Zechen, die auf Zuzahlungen angewiesen waren, ging der Kurfürst von Sachsen mit gutem Beispiel voran. Gleich auf der ersten Sei-

Ausschnitt aus dem Gewerkenverzeichnis vom Zechenregister Reminiscere 1741 des Ursula-Erbstollens. Bachs Name ist in der rechten Spalte im unteren Drittel zu finden. Er ist als Besitzer eines Kuxes ausgewiesen.

te der Ausbeutbögen sind etliche Gruben ausgewiesen, die auf seine Kosten finanziert wurden, da sie nicht gewinnbringend betrieben werden konnten. Somit war er in gewisser Hinsicht der erste zubußzahlende Gewerke des Landes.

Die Mutung des Ursula-Erbstollens erfolgte 1737. Bei dieser Beantragung der Abbaurechte musste ein abbauwürdiges Vorkommen nachgewiesen werden. Im Laufe der Zeit stellte sich heraus, dass dieses nicht besonders mächtig war, aber der nutzbare Silbergehalt zu Bachs Zei-

ten mit 0,04% deutlich über dem Durchschnittswert im Freiburger Raum lag.

Im Gewerkenverzeichnis vom Zechenregister Reminiscere 1741 des Ursula-Erbstollens ist der Eintrag „Johann Sebastian Bach, Capellmeister in Leipzig, ... 1 Kux“ zum ersten Mal zu finden. Bach war damals seit fast 18 Jahren Thomaskantor und damit dritter Lehrer der Thomasschule. Zu seinen Pflichten gehörte vor allem die musikalische Unterweisung der Schüler. Außerdem trug er als Musikdirektor der Stadt Leipzig

die Verantwortung für die musikalische Ausgestaltung der Gottesdienste in den Leipziger Hauptkirchen. Dafür hatte er eine große Anzahl von Kirchenkantaten komponiert. Die Johannes-Passion, die Matthäus-Passion, das Weihnachtsoratorium waren entstanden.

Bach besaß die Titel eines Hochfürstlich Anhalt-Köthenischen Kapellmeisters und eines Hochfürstlich Sachsen-Weißenfelsischen Kapellmeisters. 1736 war er zum Königlich Polnischen Kurfürstlich Sächsischen Hofcompositeurs ernannt worden.

1741 wurde Johann Sebastian Bach 56 Jahre alt. Er hatte eine große Familie zu versorgen. Neben seiner Frau, einer erwachsenen Tochter und einem behinderten Sohn lebten zu diesem Zeitpunkt noch vier weitere Kinder in seinem Haushalt (1742 wurde Bachs jüngste Tochter geboren). 1741 wohnte auch noch ein Verwandter bei ihm, Johann Elias Bach. Dieser studierte in Leipzig, war Bachs Privatsekretär und Lehrer der Bachschen Kinder.

Johann Sebastian Bach war nicht arm, konnte aber auch nicht als wohlhabend gelten. Er scheint ein Mann gewesen zu sein, der es mit finanziellen Dingen sehr genau nahm und der sich wohl nicht gern von anderen Leuten vorschreiben ließ, wofür er sein Geld auszugeben hätte.

Beim Ursula-Erbstollen wurden im Quartal Reminiscere 1741 offenbar verstärkte Bemühungen unternommen, für Retardatkuxe neue Besitzer zu finden. Im Zechenregister Luciae 1740 sind 29% nicht vergewerkschaftete Kuxe ausgewiesen. Im Quartal Reminiscere 1741 lassen noch einmal 13 Gewerken ihre Anteile verfallen, insgesamt 17¹³/₁₀₀ Kuxe – Anteile – für die schon längere Zeit keine Zubeße mehr gezahlt wurde. Der Ursula-Erbstollen war aber auf die Zubeßzahlungen seiner Gewerken angewiesen. So suchte man „*Bergbau-lustige Gewercken ... welche nicht sowohl um Gewinn, als der Armen Bergleute wegen, gerne bauen, und ihre Zubusse mit willigen Hertenzen geben*“ [Minerophilus, Bergwercks-Lexicon, Chemnitz 1743].

Retardierte Anteile wurden zuerst den Gewerken der Zeche angeboten. Die noch übrigen Retardatkuxe versuchte man zu verkaufen. War das nicht möglich, wurden diese umsonst vergeben, wobei man anstrebte, dass von den neuen Eigentümern Zubeßschulden der Vorbesitzer übernommen wurden. Im Zechenregister Reminiscere 1741 gibt es keinen Hin-

weis auf Gelder, die durch Kuxverkäufe eingenommen wurden. So sind diese Kuxe höchstwahrscheinlich umsonst verteilt worden. Den Zechenregistern ist weiter zu entnehmen, dass die Beträge der eingegangenen Zubeßschulden in den beiden nächsten Quartalen nur einige Taler über dem Durchschnitt lagen. Wenn man bedenkt, dass aber rund 30 Kuxe an neue Gewerken verteilt wurden, was außergewöhnlich viel war, kann wohl davon ausgegangen werden, dass kaum oder gar keine Zubeßschulden von den neuen Anteilseignern übernommen wurden. Für die Verantwortlichen der Zeche scheint es vor allem wichtig gewesen zu sein, dass nun wieder Zubeße für die Anteile gezahlt wurde.

Diese Vorgehensweise scheint im Widerspruch zu den Taxierungsangaben zu stehen, die den Ausbeutbögen zu entnehmen sind. Zu dieser Zeit wurden für einen Kux des Ursula-Erbstollens 30 Taler angegeben. Mit dieser Taxierung wurden bei einer Ausbeutzeche aber vor allem der Wert der Gebäude, die zu dem Bergwerk gehörten, seine Maschinen und die Qualität des Ausbaus bewertet. Die Taxierungsangaben für Zubeßzechen in den Ausbeutbögen geben keine aktuellen Handelswerte an.

Anders verhielt es sich bei Bergwerken, die Gewinne an ihre Anteilseigner auszahlten. Reminiscere 1741 erhielt der Besitzer eines Kuxes der Gelobtland-Fundgrube zum Beispiel 32 Taler Ausbeute. Hier betrug die Taxierung eines Kuxes 1.000 Taler, und für diesen Betrag und mehr wurde er auch gehandelt. Da der Wert von Kuxen gewinnbringender Silberbergwerke infolge Steigens oder Fallens der Silberförderung stark schwanken konnte, dienten solche Anteile auch als Spekulationsobjekte.

Aber zurück zum Ursula-Erbstollen: Mit der Aufgabe, für retardierte Kuxe neue Gewerken zu finden, wurde laut den Bergresolutionen von 1709 der Schichtmeister der Zeche betraut, und man kann davon ausgehen, dass Bach einen solchen Retardatkux übernahm. Schichtmeister beim Ursula-Erbstollen war zu dieser Zeit Christian Samuel Stocklebe.

Bei der Vermittlung eines Anteils war ein vom Bergamt unterschriebener „*wahren Uffstand der Zeche, von denen nechsten 4 Wochen her, vorzuweisen*“ [Bergresolution von 1709]. Grundsätzlich hatte der neue Eigentümer im Falle einer Täuschung das Recht, seinen Anteil umge-

hend zurückzugeben, und eventuell gezahlte Gelder mussten zurückerstattet werden. Bach erfuhr also auf jeden Fall, dass man von ihm als Anteilsbesitzer Zubeßzahlungen erwartete und dass die Aussichten auf zukünftige Gewinne gering waren. Er übernahm aber einen Kux und war ab Reminiscere 1741 Gewerke des Ursula-Erbstollens. Dieser Kuxbesitz wurde im Gegenbuch verzeichnet, „*welches ein Documentum zu Beweisung des Eigenthums abgiebt*“, wie es im Bergmännischen Wörterbuch, Chemnitz 1778, heißt. Gegenbucheinträge für den Ursula-Erbstollen konnten für diese Zeit leider noch nicht gefunden werden. Es steht zu befürchten, dass sie verlorengegangen sind. Die Gewerkenverzeichnisse in den Zechenregistern tragen aber immer den Vermerk, dass sie dem Gegenbuch entnommen worden sind. So lässt sich mit ihrer Hilfe auch der Gegenbucheintrag, der Johann Sebastian Bach betrifft, recht gut rekonstruieren.

In den nächsten Jahren wurde der Zubeßbote Johann Christoph Stiehl bei Johann Sebastian Bach vorstellig, um die Zubeße einzuholen. Wie den Zechenregistern zu entnehmen ist, erhielt Stiehl für jeden von ihm in Leipzig eingenommenen Taler an Zubeße 18 Pfennige vom Ursula-Erbstollen.

Es ist durchaus möglich, dass Bach bereits Erfahrungen als Kuxbesitzer bei einer anderen Zubeßzeche gemacht hatte und so den Zubeßboten Johann Christoph Stiehl bereits kannte. Der könnte gewusst haben, dass Bach dem Besitz eines solchen Bergwerksanteils positiv gegenüberstand, und es ist nicht auszuschließen, dass Stiehl an der Vermittlung dieses Kuxes beteiligt war.

Zusammenfassend ist also festzustellen, dass die Initiative in den Besitz eines Retardatkuxes zu gelangen, mit größter Sicherheit nicht von Bach ausging. Ihm wurde dieser Anteil umsonst bzw. für einen sehr geringen Betrag angeboten.

Mit Johann Sebastian Bach hatte man einen Gewerken gewonnen, der in den nächsten Jahren den Ursula-Erbstollen mitfinanzierte.

Eberhard Spree wurde 1960 in Berlin geboren. Nach dem Abschluss der 10. Klasse erlernte er den Beruf eines Baufacharbeiters. Seinen Wehrdienst absolvierte er als Bausoldat und studierte danach von 1981 bis 1986 an der Hochschule für Musik „Felix Mendelssohn Bartholdy“. Seit 1989 ist Eberhard Spree Mitglied des Gewandhausorchesters. Er lebt mit seiner Frau in Leipzig. Das Ehepaar hat sechs Kinder. – **Teil 2** dieses Beitrags wird in der ACAMONTA (20) 2013 erscheinen.

Der Drei-Brüder-Schacht: Vergangenheit, Gegenwart – Zukunft?

Birgit Seidel

Auf dem Neujahrsempfang 2012 der Stadt Freiberg wurde der Drei-Brüder-Schacht e. V. mit dem Bürgerpreis der Stadt Freiberg geehrt. In den 20 Jahren, die seit seiner Gründung vergangen sind, hat der Verein viel geleistet. Wer den heutigen Zustand des übertägigen Ensembles auf dem Drei-Brüder-Schacht mit dem vor zwei Jahrzehnten vergleicht, wird staunen: Die Gebäude sind repariert und saniert, die Dächer sind gedeckt, die Haldenauffahrt ist gepflastert, die Außenanlagen sind gepflegt. Auch einige bauliche Veränderungen werden auffallen – insbesondere zur Unterbringung der Umweltausstellung „WASSERleben“. Dabei sieht der Besucher zunächst nur die übertägigen Anlagen, die teilweise noch aus der Zeit des aktiven Bergbaus stammen. Mindestens ebenso interessant sind die untertägigen Anlagen, der Schacht selbst mit seinen Radstuben, dem Stauraum sowie dem Kavernenkraftwerk, die hier in der Tiefe verborgen sind.

Zur Geschichte

Der Drei-Brüder-Schacht befindet sich im Freiburger Ortsteil Zug, unmittelbar östlich neben der B 101 von Freiberg in Richtung Brand-Erbisdorf. Heute kennt man den Schacht vor allem im Zusammenhang mit dem Kavernenkraftwerk, das hier von 1914 bis 1972 betrieben wurde. Dieses Kraftwerk, 270 m tief unter der Erde, ist eines der ältesten Kavernenkraftwerke der Welt. Seine Grundidee ist faszinierend: die ohnehin vorhandenen und durch die Einstellung des Bergbaus für diesen nicht mehr erforderlichen Aufschlagwässer zur Gewinnung von Elektroenergie zu nutzen.

Angelegt wurde der Drei-Brüder-Schacht allerdings nicht für das Kavernenkraftwerk, sondern sehr viel eher. Bereits im Jahr 1791 einigten sich die Gewerke der beiden benachbarten Gruben Beschert Glück und Segen Gottes Herzog August, gemeinsam zwei Großprojekte zu realisieren: Zum einen ging es um den Bau des Moritzstollns, zum anderen um das Auffahren des Drei-Brüder-Schachts. Mit großem Aufwand und nicht ohne Schwierigkeiten wurden die beiden Vorhaben realisiert. Der Drei-Brüder-Schacht wurde erst 1818, nach einer Bauzeit von 27 Jahren, fertiggestellt.¹ Er diente fortan als Förderanlage für den Betrieb der genannten Gruben. Die mit zunehmender

Tiefe erhofften weiteren reichen Erzvorkommen waren jedoch nicht aufzufinden, sodass die Gruben 1898 bzw. 1899 stillgelegt wurden.

Der Schacht als Forschungsbergwerk

Im 19. Jahrhundert wurde der Drei-Brüder-Schacht für Fallversuche zum Nachweis der Erdrotation unter Federführung des Freiburger Physik-Professors Ferdinand Reich genutzt. Reich ist heute vor allem für die Entdeckung des chemischen Elements Indium, die ihm 1863 gemeinsam mit seinem Chemiker-Kollegen Hieronymus Theodor Richter gelang, bekannt. Ihm sind jedoch noch eine ganze Reihe weiterer wissenschaftlicher Arbeiten und Veröffentlichungen zuzuschreiben, u. a. seine Fallexperimente. Die Ostablenkung fallender Körper gegenüber dem Lot infolge der Erdrotation war zuvor bereits von G. Galilei und I. Newton vorhergesagt und von C. F. Gauß berechnet worden. U. a. Reich gelang es dann 1831, gemeinsam mit Christian Friedrich Brendel, sie zu messen. Seine Fallversuche hat er im Drei-Brüder-Schacht durchgeführt, da die Bedingungen dort recht günstig waren. Der obere Teil des Schachts verläuft senkrecht, sodass eine Fallhöhe von 158,5 Metern erreicht werden konnte.



Der Kugelsatz, mit dem Prof. Reich die Fallversuche im Drei-Brüder-Schacht durchführte, befindet sich heute in den Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg.

Reich ließ in zahlreichen Versuchen zunächst an Fäden befestigte Zinnkugeln, die er über eine Zangenkonstruktion losließ, in den Schacht fallen. Nachdem er bei dieser Methode eine starke Beeinflussung der Kugeln durch die Zangenbewegung vermutete, ließ er die Kugeln nach einem Bad in kochendem Wasser über einem passgenauen Loch der Startvorrich-

tung abkühlen, sodass diese möglichst ohne äußere Einwirkung in den Schacht fielen.² Durch Messung der Abweichung des Aufschlagpunkts der Kugeln von der Lotrechten, die bei Reichs Experimenten durchschnittlich einen Wert von 27,5 Millimetern ergab und damit dem theoretischen Wert sehr nahe kam, gelang ihm der Nachweis der Erdrotation.

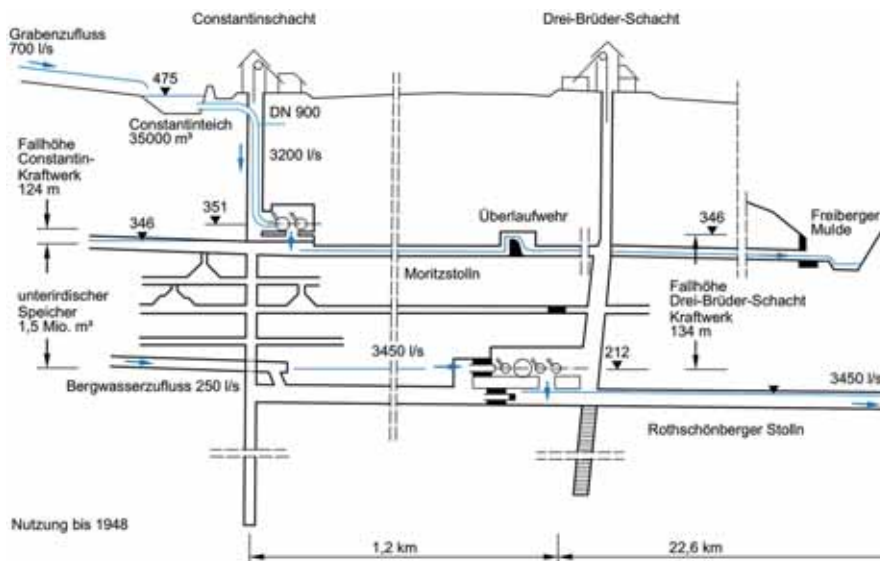
Drei-Brüder-Schacht und Rothschönberger Stolln

1877 wurde der Rothschönberger Stolln in seinem fiskalischen Teil fertiggestellt. Er war nun der tiefste und bedeutendste Stolln des Freiburger Reviers. An das Stollnsystem wurden auch die südlich von Freiberg gelegenen Gruben, darunter der Drei-Brüder-Schacht, angeschlossen. Heute ist der Schacht der südlichste offene, zur Zeit aber nicht befahrbare Zugang zum Rothschönberger Stolln. Unterhalb desselben beginnt der Stauraum für das Kavernenkraftwerk. Die Funktion des Rothschönberger Stollns für den Bergbau währte nur wenige Jahrzehnte. Nachdem die Grube Segen Gottes Herzog August bereits 1898 stillgelegt worden war, wurde 1899 auch die Königliche Mittelgrube, zu der inzwischen die Grubenfelder von Beschert Glück, Junge Hohe Birke und Mordgrube zusammengelegt worden waren, geschlossen.

Unabhängig davon erfüllte (und erfüllt) der Rothschönberger Stolln weitere wichtige Aufgaben. Für den Betrieb der Gruben, der ab 1937 noch einmal aufgenommen und dann bis 1969 fortgesetzt worden war, übernahm er wieder eine wichtige Funktion im System der Wasserhaltung. Noch heute entwässert der Rothschönberger Stolln das Brander, Freiburger und Halsbrücker Revier. Die Aufrechterhaltung seiner Funktion sorgt für stabile geotechnische Verhältnisse über und unter Tage bis hin zum Hochwasserschutz.

Das Kraftwerk

Angesichts des Niedergangs des Bergbaus zu Beginn des 20. Jahrhunderts galt es, neue wirtschaftliche Strukturen zu entwickeln, Industrieunternehmen anzusiedeln und somit wieder Arbeitsplätze zu schaffen, die durch die Einstellung des Bergbaus verloren gegangen waren. Eine



Der Kraftwerksbetrieb zwischen 1953 und 1969; nach G. Moschner 1968

große Rolle spielte dabei der Gedanke der Erzeugung und Nutzung der damals gerade aufkommenden Elektroenergie. Diese sollte nun die wirtschaftliche Neuprofilierung und den sozialen Fortschritt im stillgelegten Revier voranbringen.

Gleichzeitig stellte sich die Frage, ob und wie die jahrhundertealten über- und untertägigen wassertechnischen Anlagen weiterhin genutzt werden können. Um auch nach dem Ende des Bergbaus das untertägige Wasser nicht ungenutzt abfließen zu lassen, wurde die Nutzung dieser Wasser zur Energiegewinnung – die Errichtung eines unterirdischen Wasserkraftwerks – beschlossen. Nachdem dafür auch die erforderlichen gesetzlichen Grundlagen geschaffen waren, wurden für dieses „Verbundwasserkraftwerk“ sowohl der Drei-Brüder-Schacht als auch der Konstantinschacht genutzt. Im ersteren entstand das sogenannte Unterwerk, im Konstantinschacht das Oberwerk.

Direkt neben den leider zunehmend verfallenden Übertageanlagen des Konstantinschachts befindet sich der Sammelteich, der damals als Stausee zur Verwertung und Speicherung von Tageswässern für das Kavernenkraftwerk diente und heute als Zwischenspeicher von Wässern für Freiburger Unternehmen, insbesondere der Halbleiterindustrie, genutzt wird. Er wird derzeit im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung saniert und zum Gütesicherungs- und Wassermengenausgleichsspeicher ertüchtigt.³ Aus diesem Sammelteich führt eine Rohrleitung durch die alte Aufschlagrösche in den Schacht und in die Kaverne hinab.

Im Maschinenraum des Oberwerks,

der sich hier ca. 133 m unter Tage und drei Meter über der Moritzstollnsohle befindet, stehen noch die alten Turbinen sowie Überreste der Generatoren. Der Maschinenraum befindet sich im Bereich einer ehemaligen Kunstradstube, die speziell dafür vergrößert wurde. Seine Grundfläche beträgt ca. 100 m². Nachdem das Wasser die Turbinen und Generatoren angetrieben hatte, floss es in den unterirdischen Stau ab.

Dieser ist einmalig: Er wird von allen Strecken, Schächten und Abbauen südlich des Drei-Brüder-Schachts im Niveau zwischen Moritzstolln und Rothschnöberger Stolln gebildet. Dabei wurden, wie oben bereits beschrieben, sowohl über- als auch untertägige (ohnein anfallende Gruben-)Wässer genutzt. Um das ungewollte Abfließen der Wässer zu verhindern und somit den Stau erst zu ermöglichen, mussten zahlreiche Strecken verspündet (abgemauert) werden. Einen solchen Umbau bereits vorhandener untertägiger Systeme hatte es zuvor weltweit noch nicht gegeben.

Nur etwa einen Kilometer vom Konstantinschacht entfernt, im Drei-Brüder-Schacht, befindet sich das Unterwerk. Der Maschinenraum liegt in ca. 270 m Tiefe, zehn Meter über dem Rothschnöberger Stolln. Hier wurde das Wasser aus dem unterirdischen Stau auf vier Maschinensätze geleitet, wobei das bereits im Oberwerk genutzte Wasser ein zweites Mal verwendet wurde. Danach fiel das Wasser in den Rothschnöberger Stolln, über den es letztlich abgeleitet wurde und der ca. 23 km weiter, bei Rothschnöberg in der Nähe von Meißen, in die Triebisch entwässert.

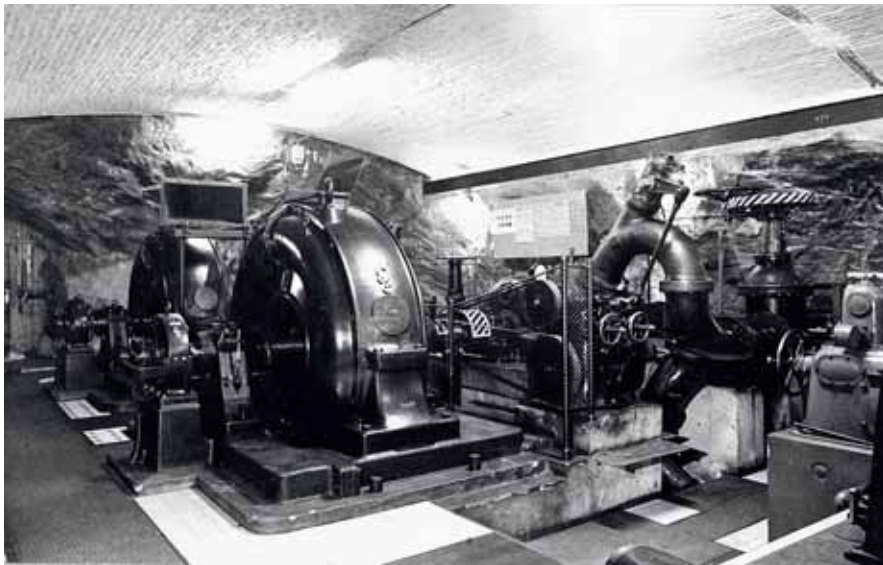
Das Kavernenkraftwerk im Drei-Brüder-Schacht war das erste Elektrizitätswerk zur öffentlichen Stromversorgung, für das ein unterirdischer Maschinenraum – eine Kaverne – sowie ein Stauraum planmäßig angelegt und ausgerüstet worden waren.

Zu Weihnachten 1914 wurde das Kavernenkraftwerk (bzw. zunächst das Unterwerk; das Oberwerk im Konstantinschacht folgte 1922) in Betrieb genommen. Bald wurden „die Stadt Brand-Erbisdorf, das große staatliche Muldenhüttenwerk im Norden sowie die Gemeinden Langenau, St. Michaelis, Großhartmannsdorf im Süden und ab 1921 auch Freiberg“⁴ mit Strom versorgt. Dazu musste ein eigenes Stromnetz errichtet werden, da die Stadtwerke Freiberg damals auf Gleichstrom setzten, das Kraftwerk aber, wie heute üblich, bereits Wechselstrom erzeugte. Später wurden die Leistung des Kavernenkraftwerks nochmals erhöht und verschiedene bauliche Veränderungen vorgenommen.

1972 wurde das Kavernenkraftwerk stillgelegt, da die DDR bei der Energieerzeugung auf die einheimische Braunkohle setzte. „Die Maschinen wurden konserviert und mechanisch anfällige Teile nach Übertage ausgelagert. Der Grundablaß am König-Johann-Spat wurde geöffnet“⁵, damit der nun unkontrollierbare Stau keine Gefahr darstellen konnte.

Bis zum Hochwasser 2002 befanden sich das Kavernenkraftwerk bzw. die darin noch vorhandenen Anlagen in einem relativ guten Zustand. Selbst Siemens-Spezialisten gingen zunächst noch von der Möglichkeit einer Wiederinbetriebnahme – nach Restauration der gesamten Elektrotechnik – aus. Während des Hochwassers hat es jedoch auf dem Rothschnöberger Stolln in der Nähe des 8. Lichtlochs einen Verbrauch gegeben, sodass sich das Wasser bis zum Drei-Brüder-Schacht aufstaute. In der Kaverne verblieb damals lediglich eine Luftblase von ca. 70 Zentimetern unter der Kavernendecke. Durch das Hochwasser sind die untertägigen Anlagen unbrauchbar geworden.

Der Gebäudekomplex auf dem Drei-Brüder-Schacht blieb bis 1990 in Bewirtschaftung des damals zuständigen Energieversorgers, sodass das Gelände nicht völlig verwahrloste. Das Schachtgebäude mit dem Fördergerüst trug jedoch große Schäden davon, da es keine Wetterabführung gab. Diese wurde erst 1990 installiert, d. h. fast 20 Jahre konnten die



Der Maschinenraum im Unterwerk zu Betriebszeiten. In 270 Metern Tiefe befinden sich auch heute noch vier Turbinen und Generatoren.

Abwetter aus dem Schacht ungehindert durch das Schachtgebäude ziehen, was seine Spuren hinterlassen und der Bau- substanz sehr geschadet hat.

Entwicklung nach 1992

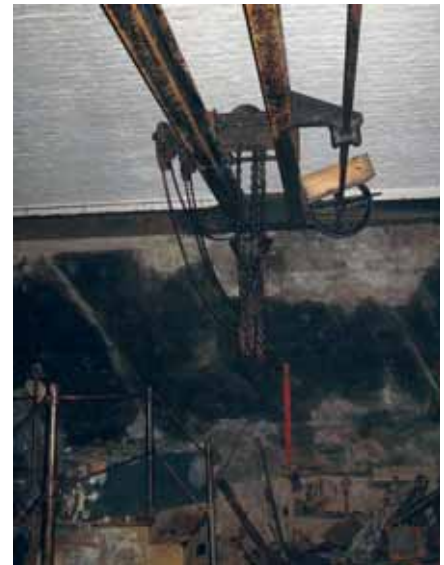
1992 wurde der Förderverein Drei-Brüder-Schacht e.V. gegründet. Sein Ziel ist es, das Kavernenkraftwerk wieder nutzbar zu machen. Der Verein widmet sich außerdem dem Erhalt und der Pflege der übertägigen Anlagen als technisches Denkmal und bemüht sich, die Öffentlichkeit über den Schacht, die damit verbundenen bergbaulichen und wasserwirtschaftlichen Anlagen sowie über Umwelt- und Energieaspekte zu informieren.

In diesem Kontext ist auch die Einrichtung der Umweltausstellung WASSerleben zu sehen, die seit November 2008 auf dem Drei-Brüder-Schacht besichtigt werden kann. Ihre Einrichtung wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft gefördert und von den Vereinsmitgliedern über mehrere Jahre in aufopferungsvoller, ehrenamtlicher Arbeit selbst gemagt. Engagiert und kreativ machten sich diese nicht nur Gedanken über das Ausstellungskonzept, sondern führten auch zahlreiche Arbeitseinsätze durch. Auch Dinge wie die Koordination der Bauarbeiten oder die Mittelbewirtschaftung und -abrechnung forderten so einiges. Andererseits wirkte sich eine so große Herausforderung motivierend auf das Vereinsleben aus. Heute präsentiert die Ausstellung erlebbar, erspielbar und

fühlbar die herausragende Bedeutung des Ensembles Revierwasserlaufanstalt, Drei-Brüder-Schacht und Roths Schönberger Stolln. Sie greift inhaltliche Schwerpunkte wie die Wasserwirtschaft im Montanwesen des Freiburger Reviers, das Kavernenkraftwerk sowie modernes Wassermanagement auf. Mit Hilfe von multimedialer Informations- und Spieltechnik können die Besucher Erstaunliches über den Wert des Wassers sowie dessen ausgeklügelte Nutzung in der Erzgebirgsregion erfahren. Die Ausstellung ruft reges Interesse bei Schulklassen hervor, die hierher Exkursionen unternehmen bzw. hier Projektstage durchführen. Gleiches gilt für Studenten der TU Bergakademie Freiberg.

Neben der Pflege und dem Erhalt des Gebäudeensembles sowie dem Betreiben der Umweltausstellung führt der Verein ein reges Vereinsleben. So gibt es monatlich Vorträge, in der Regel zu bergbaurelevanten Themen. Einmal im Jahr begeben sich die Vereinsmitglieder auf Exkursion und besichtigen montanhistorische Stätten. Mindestens einmal im Monat finden Arbeitseinsätze statt. Viele Vereinsmitglieder erbringen darüber hinaus weitere wichtige Leistungen. Der Förderverein bietet Führungen an und beteiligt sich regelmäßig an Tagen des offenen Denkmals, der regenerativen Energie oder ähnlichen Veranstaltungen.

Jährlich im Mai findet ein Dampfmodelltreffen statt. Diese Veranstaltung, auf der Aussteller aus ganz Deutschland Dampfmodelle aller Art präsentieren, hat sich inzwischen als ein Besuchermagnet etabliert.



Noch heute zeugen aufgeschwommene Holzkästen, die sich unter der Kavernendecke und im Schacht festgeklemmt haben, ursprünglich jedoch zu den in der Kaverne befindlichen Schränken gehörten, vom Hochwasser im August 2002.

Seit der Sanierung der übertägigen Anlagen erfreut sich der Drei-Brüder-Schacht zunehmend auch seiner Rolle als Ort für Veranstaltungen und Tagungen von Institutionen, Feiern von Privatpersonen und Unternehmen oder anderen Einrichtungen großer Beliebtheit. Gelegentlich finden hier auch Weiterbildungslehrgänge, Kolloquien und Workshops statt, beispielsweise ein Seminar für Kletter-, Seil- und Sicherungstechniken, die auch unter Tage Anwendung finden.

Ein weiteres ungewöhnliches Vorhaben dürfte ein Theaterprojekt werden, das es hier demnächst in Zusammenarbeit mit dem Mittelsächsischen Theater, der Akademie der Künste Berlin und einem Gymnasium geben wird.

Nach wie vor verfolgt der Verein das Ziel, in der Kaverne wieder Strom zu erzeugen. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist ein funktionstüchtiger Schacht. Dieser ist jedoch aufgrund seines schlechten Erhaltungszustands derzeit nicht befahrbar. Die Schachtröhre selbst befindet sich zwar in einem akzeptablen Zustand. Der Zustand der alten Einbauten jedoch, wie der Fahrten und Spurlatten zur Führung der Förderkörbe, ist katastrophal. Um das Unterwerk im Drei-Brüder-Schacht zu erreichen, bedarf es einer Befahrung von der Reichen Zeche aus auf dem Roths Schönberger Stolln. Schon wenn man sich diese Strecke – es sind ca. sechs Kilometer – einmal über Tage vorstellt, ahnt man, dass eine solche Tour mehrere Stunden in Anspruch



Im Juli 2012 wurde ein Seminar für Kletter-, Seil- und Sicherungstechniken durchgeführt. Das Schachthaus mit seiner großen freien Höhe sowie der Möglichkeit, zur Übung Seile sicher anzuschlagen, bietet dafür ideale Voraussetzungen.

nimmt. Und unter Tage dauert natürlich alles noch viel länger, ganz davon abgesehen, dass man alles in Wathosen und mit schweren Rucksäcken realisieren und ja auch erst einmal hinunter und am Ende wieder heraufgelangen muss. Die Strecke im Rothschönberger Stolln selbst geht es dann teils im Boot, teils neben oder vielmehr vor bzw. hinter demselben weiter – und zwar zunächst gegen den Strom. Die ganze Tour dauert etwa acht bis zwölf Stunden, je nachdem, wieviel Zeit man sich im Unterwerk lässt, um den Zustand des ehemaligen Kavernenkraftwerks mit seinen Turbinen unter die Lupe zu nehmen.

Die bevorstehende Sanierung

Im Rahmen von Hochwasserschutzmaßnahmen sollen der Schacht im Auftrag des Sächsischen Oberbergamts als Zugang zum Rothschönberger Stolln erneuert und dabei Schadstellen im Stolln saniert werden. Die Planungen dafür laufen bereits auf Hochtouren. Mit den ersten Planungen beauftragt ist die G.U.B. Ingenieur AG (siehe auch Beitrag ab Seite 158). Neben dem Vorstandsvorsitzenden, Prof. Dietmar Griebel, ist auch der Leiter der Freiburger Niederlassung, Stephan Bachmann, Absolvent der TU Bergakademie Freiberg, eingebunden. Für letzteren ist dieses Projekt ein ganz besonderes, befuhr er doch bereits 1989 – damals noch als Student der Bergakademie und unbefugt – das erste Mal den Schacht. Die Baumaßnahmen sollen im Frühjahr 2013 beginnen. Ziel ist es, den



Das Gebäudeensemble des Drei-Brüder-Schachts mit Maschinenhaus, der Umweltausstellung „WASSerleben“, dem Schachthaus und der Scheidebank

Schacht am Endstück des Rothschönberger Stollns als Zugang zu diesem wichtigsten Entwässerungsstolln des Freiburger Reviers wieder funktionstüchtig zu machen, um einen ständigen Zugang für Kontrollzwecke und Reparaturen zu ermöglichen. Vorgesehen ist u. a., den maroden Schachtausbau zu entfernen und durch neue Einbauten zu ersetzen.

Natürlich werden die übertägigen Sanierungsarbeiten unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes erfolgen. So sollen Eingriffe in das derzeitige Gebäudeensemble minimal bleiben. Selbst das bestehende historische alte Gerüst soll belastungsfrei in ein neu zu errichtendes Gerüst einbezogen werden.

Ziel der Schachtsanierung ist nicht die Wiederinbetriebnahme des Kavernenkraftwerks. Die Sanierungsmaßnahmen werden jedoch einer späteren Nutzung des Schachts zur Gewinnung regenerativer Energien nicht entgegenstehen. Denkbar wären beispielsweise eine geothermische Nutzung der Grubenwässer oder eine Verwendung des Grubengebäudes als Pumpspeicherwerk. Diesbezüglich gibt es bereits seit längerer Zeit verschiedene Überlegungen sowie Gespräche mit unterschiedlichsten Partnern, u. a. mit der TU Bergakademie Freiberg, aber auch mit Energieunternehmen. Die Sanierung des Drei-Brüder-Schachts ist zudem Voraussetzung für die spätere Instandsetzung und regelmäßige Unterhaltung des sechs Kilometer langen Abschnitts des Rothschönberger Stollns zwischen Drei-Brüder-Schacht und Reicher Zeche.

Zwar kann während der Sanierungsarbeiten der Besucherverkehr auf dem Drei-Brüder-Schacht und in der Ausstellung WASSerleben nur eingeschränkt zugelassen werden, aber spätestens ab dem 100. Geburtstag des Kavernenkraftwerks zu Weihnachten 2014 wird man voraussichtlich wieder die Möglichkeit haben, die Übertageanlagen und die Umweltausstellung uneingeschränkt zu besuchen und sich vielleicht im Rahmen einer Führung noch genauer über die Historie und die aktuellen Veränderungen zu informieren.

Fazit: Noch ist nicht sicher, ob es gelingen wird, den Drei-Brüder-Schacht eines Tages wieder zur Energieerzeugung zu nutzen. Die Mitglieder des Fördervereins stecken jedoch viel Energie in dieses Vorhaben.

Quellen

- 1 Gunther Galinsky, Jürgen Leistner, Gernot Scheuermann, Saxonia Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft (Hrsg.): Kavernenkraftwerk Drei-Brüder-Schacht. Geschichte und Überlegungen zur Rekonstruktion. Freiberg, 2001, 2. Auflage, S. 18.
- 2 Ferdinand Reich: Fallversuche über die Umdrehung der Erde angestellt auf hohe Oberbergamtliche Anordnung in dem Drei Brüder-schachte bei Freiberg. Freiberg 1832. S. 9-11 sowie S. 46.
- 3 Bauschild an der Baustelle am Konstantinteich, Juli 2012.
- 4 Gunther Galinsky, Jürgen Leistner, Gernot Scheuermann, Saxonia Standortentwicklungs- und verwaltungsgesellschaft (Hrsg.): Kavernenkraftwerk Drei-Brüder-Schacht. Geschichte und Überlegungen zur Rekonstruktion. Freiberg, 2001, 2. Auflage, S. 37.
- 5 Ebenda, S. 49

Glück auf! – der Berge uraltes Zauberwort

Dieser Ausschnitt aus Theodor Körners Gedicht „Bergmannsleben“ soll an den bedeutendsten patriotischen Dichter und Freiheitskämpfer aus der Zeit des deutschen Befreiungskriegs gegen die napoleonische Fremdherrschaft erinnern, an den einstigen Bergakademisten, der vor etwa 200 Jahren von 1808 bis 1810 an der Bergakademie Freiberg studiert hatte.

Karl Theodor Körner, der am 23. September 1791 in Dresden als Sohn des promovierten kursächsischen Appellationsrats Christian Gottfried Körner geboren wurde, war zum Studium in Freiberg von seinem Vater und dessen in seinem gastfreundlichen Haus verkehrenden Bekannten ermuntert worden. Dazu zählen die Gebrüder Humboldt, wobei Alexander von Humboldt an der Bergakademie Freiberg studiert hatte, als auch Friedrich Leopold von Hardenberg (Novalis), der ebenfalls in Freiberg studierte. Außerdem verkehrten im Hause Körner Friedrich Schiller, Ernst Moritz Arndt, von Kugelgen, von Kleist u. a.

Theodor Körner erhielt zunächst Privatunterricht von ausgewählten Lehrern und besuchte dann von 1805 bis 1808 die Dresdner Kreuzschule. Kaum siebzehnjährig ließ er sich als Student mit der Matrikelnummer 697 an der Bergakademie Freiberg eintragen. So kam er schließlich Pfingsten 1808 mit der Postkutsche in der Posthalterei Petersstraße, der heutigen Gaststätte Deutsches Haus, mit seinen Eltern und seiner Schwester an. Er bezog Quartier zunächst beim Berggeschworenen Braun in der Leipziger Straße 9, zog aber dann mit diesem in das Haus Untermarkt 2, wo am 18. Oktober 1913 zum 100-jährigen Gedenken an die Völkerschlacht bei Leipzig eine Gedenktafel für Theodor Körner angebracht wurde.

Zu Körners Zeiten belief sich die Zahl der „Bergakademiker“ im Jahr durchschnittlich auf fünfzig bis sechzig Studierende. Sie gehörten zu zwei Gruppen: Akademiker, die auf Staatskosten und solche, die auf eigene Kosten studierten. Körner gehörte der letztgenannten an. Er hörte Vorlesungen bei Werner (Bergbaukunst, Oryktognosie = Mineralogie, Geognosie = Geologie und Versteinerungslehre), Lampadius (Allgemeine und Technische Chemie), v. Busse (Mathematik, Physik und Maschinenlehre) und bei Sieghardt (Technisches Zeichnen). Werner und Lampadius waren mit dem Vater Chr. G. Körner gut befreundet und übertrugen diese Freundschaft auch auf Theodor. Erwähnenswert ist ein Brief des Vaters vom 17. Juni 1808 nach Freiberg: „Grüße Lampadius mit Empfehlungen von mir. Seine hiesigen Vorlesungen haben mich sehr befriedigt ... Es freut mich, daß Werner sich für Dich besonders zu interessieren scheint. Du kannst dieß sehr benutzen ...“

Körner fing an, Mineralien zu sammeln und richtete sich in seiner bescheidenen Wohnung in der Leipziger Straße sogar ein kleines Labor ein, um Versuche von Lampadius nachzuvollziehen. Vom guten Verhältnis zu Werner legt auch ein Gedicht von Werner an Körner Zeugnis ab, als dieser seine Weihnachtsferien 1809 im Elternhaus zu Dresden verbrachte. Werner schickte

ihm eine Nuss mit folgenden selbstverfassten Versen:

*„Damit Sie; junger Freund, der Sie das Reisen lieben,
Und oft sehr lange Zeit von Freiberg weggeblieben,
Vom Bergbau künftig nichts im Praktischen verlieren,
So ließ ich einen Schacht in diese Nuß plazieren.
Ist das nicht sehr bequem? Sie müssen es gestehn,
Der Vorteil, den es bringt, ist nicht zu übersehn.
Kein Bergstudent läuft mehr so weit nach einer Grube,
Er lernt so's Praktische und bleibt doch in der Stube.
Drum lass ich auch davon manch' Dutzend noch vollenden,
Zum heiligen Christgeschenk für fleiß'ge Bergstudenten.
Man kann es auch sehr leicht auf Reisen mit sich führen,
Und selbst zu Leipzig noch sich praktisch exerzieren.
Nur bitt ich, wenn man fährt, ein wenig sich zu schmiegen,
Man könnte sonst dabei verschiedne Beulen kriegen.
Indess, ein Mann wie Sie, schickt sich in alle Lagen
Und wird, wenn er sich stößt, nicht über Schmerzen klagen.
Drum bin ich unbesorgt und bleibe, lieber Körner,
Wenn Sie hübsch fleißig sind,
Ihr Freund und Lehrer Werner.“*



Dora Stock (1788–1815): Porträt Theodor Körner, 1814, Öl auf Leinwand, 83 × 110 cm

Als Körner 1810 von der Akademie wegging, stellte ihm Werner folgendes Abgangszeugnis aus: „Ein vorzügliches für Talent, ein gutes für Fleiß, Applikation und sittliche Aufführung“. Ebenso bescheinigte ihm Lampadius: „Alle Collegia mit Fleiß und Eifer besucht und ... in allen Fächern sehr gute Kenntnisse erworben“.

Zunächst widmete sich Körner ganz den wissenschaftlichen Studien. Er zeichnete gern geologische Karten und Profile von Sachsen, fuhr im Bergmannskittel und mit Kappe in die Gruben Himmelfahrt und Alte Elisabeth ein, um vor Ort mit Schlägel und Eisen zu arbeiten. Stets grüßte er mit „Glück auf!“ und selbst seine Briefe unterschrieb er mit den bergmännischen Zeichen Hammer und Schlägel.

Körner schickte auch seinem Vater Reinschriften von Werners Vorlesungen zu und begab sich auf Reisen, so in die

Sächsische Schweiz, auch zum Schreckenstein bei Außig sowie auf eine einmonatige Fußreise in das Riesengebirge, um unter anderem geologische Studien zu betreiben. Dabei zeichnete er sich auch als begabter Dichter aus. Schon bei seinen bergmännischen Praktika zeigte sich sein dichterisches Talent. Fuhr er aus der Grube aus, griff er zur Feder und verfasste Gedichte über das Leben des Bergmanns. Er schuf Bergmannslieder, das Libretto für eine Bergoper „Die Bergknappen“, Trinklieder, Liebeslieder, auch Gedichte zu bestimmten Anlässen wie Geburtstagen, Beerdigungen oder Festen. Sein dichterisches Schaffen kulminierte in seiner späteren Tätigkeit als Hoftheaterdichter in Wien und schließlich als Verfasser patriotischer Gedichte während der Befreiungskämpfe 1813.

Der Erwähnung wert ist auch sein enges Verhältnis zur Musik. Er komponierte selbst, spielte Klavier und Violine und sang gar oft zur Laute. Treffpunkt der Musikfreunde in Freiberg war

das Café Pabitzky am Schloßplatz 1. Dort trafen sich aber auch die Mitglieder einer schlagenden Vereinigung, einer Landsmannschaft bzw. eines fränkischen Kränzchens, doch waren diese Bezeichnungen damals verboten, und so nannten sie sich einfach Tischgesellschaft. Schon in der Jugendzeit in Dresden hatte Körner öfters ein Schwert geschwungen und mit der Pistole geschossen. Kein Wunder also, dass sich Körner in Freiberg einer Burschenschaft anschloss, sich an deren Spitze setzte und sogar ein neues „System der Hiebe“ ausarbeitete.

Das Freiburger Studentenleben genoss Körner in seiner kurzen Studienzeit in vollen Zügen. So nahm er an Volksfesten teil wie dem Freiburger Reiterschießen oder an Tanzfesten im Kaufhaus. Dabei war sein Motto:

*Ein freyes Leben führen wir, Ein Leben voller Wonne,
O kein Philister stört uns hier, Vor Liebchens Thüre stehen wir,
Der Mond ist unsre Sonne.*

Bald wollte Körner jedoch nicht mehr bergmännische Praktika absolvieren, sondern sich ganz den Naturwissenschaften hingeben. Bereits Ende 1809 zeigte er Interesse für Zoologie und betrieb ab Anfang 1810 neben dem Bergbaustudium botanische Untersuchungen. Körner wollte zunächst nach Tübingen wechseln, um sich dort von dem damals berühmten Professor der Chemie Kiemayer „in die organische Welt einweihen zu lassen“. Doch folgte er lieber dem Rat seines Vaters, nach Leipzig zu gehen, da dieser dort promoviert und noch viele Freunde hatte. So verließ denn Theodor Körner am 28. Juni 1810 die alte Bergstadt Freiberg.

Die Studienzeit in Freiberg war für Körner die glücklichsten

te, wie er sich oft mit Begeisterung ausdrückte. Freiberg hatte durch seine Akademie, seinen Bergbau, seine geschichtlichen Anregungen, durch den Verkehr mit den Männern der Wissenschaft, den Studierenden aus ganz Deutschland und vielen Ländern Europas Körners Denken und Handeln in progressiver Weise beeinflusst und ihm den Weg in eine Dichterlaufbahn ebnet. Es ist erstaunlich, dass Körner in der kurzen Zeit seines Lebens – er wurde nur knapp 22 Jahre alt – so enorm produktiv war. Erwähnen sollte man dazu unbedingt, dass er etwa 300 Gedichte neben einer Vielzahl von Balladen, Sonetten, Dramen usw. geschrieben hat.

Schließen wir unseren Essay mit dem Bergmannsgruß, der am Anfang und Ende seines Gedichts „Bergmannslied“ steht, ab: Glück auf!

■ Ernst Menzel

Quellen

- 1 Knebel, K.: Theodor Körner in Freiberg, in: Festschrift zu Körners 100jähr. Geburtstag, den 23. Sept. 1891 – Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins, Heft 27, S. 75–102.
- 2 Dr. Scheuer, O.: Theodor Körner als Student, Bonn, 1924.
- 3 Dr. Weldler-Steinberg, A.: Theodor Körners Briefwechsel mit den Seinen, Leipzig, 1910.
- 4 Peschel, W. E. und Wildenow, E.: Theodor Körner und die Seinen, Leipzig, 1898.
- 5 Körner, Chr. G.: Leier und Schwert – Gedichtsammlung, 1814
- 6 Wildenow, E.: Theodor Körners sämtliche Werke – Hundertjahr-Jubel-Ausgabe, Leipzig, 1913.
- 7 Theodor Körner in Freiberg, in: Chronik der Saxo-Montania zu Freiberg und Dresden, Teil I: Corps Montania Freiberg/Sachsen, 1798–1935, Marburg, 1977, S. 26–36.
- 8 Menzhausen, J.: Kulturgeschichte Sachsens, Leipzig, 2007, S. 221–222.

Zur Geschichte der Röntgenografie an der TU Bergakademie

– Teil 1 –

Heinrich Oettel

Vorbemerkungen

Mit der Entdeckung der Röntgeninterferenzen an Kristallen vor 100 Jahren durch Max von Laue im Zusammenwirken mit Walter Friedrich und Paul Knipping wurde der Festkörperanalytik erstmals eine umfassende Methode in die Hand gegeben, die es erlaubte, Strukturen auf atomarer Ebene abzubilden bzw. zu analysieren. Diese weitreichende physikalische Arbeitsrichtung hat unser Bild von den Kristallen bzw. allgemein von den Festkörpern in einem Maße geprägt wie kaum eine andere. Die Bedeutung der Laueschen Entdeckung für die weitere Entwicklung der Physik spiegelt sich auch darin wider, dass neben der Nobelpreisverleihung an v. Laue im Jahre 1914 nachfolgend vier weitere Nobelpreise auf diesem Gebiet vergeben worden sind:

- 1915: William Henry Bragg (1862–1940) und William Lawrence Bragg (1890–1971): Kristallstrukturanalyse mit Röntgenstrahlen
- 1918: Charles Glover Barkla (1877–

1944): Entdeckung der charakteristischen Röntgenstrahlung der Elemente

- 1924: Karl Manne Georg Siegbahn (1886–1978): Arbeiten zur Röntgenspektroanalyse

- 1936: Peter Joseph Wilhelm Debye (1884–1966): Beugung von Röntgenstrahlen und Elektronen an Gasen

Aus dem einfachen Beugungsexperiment v. Laues bzw. von Bragg Vater und Sohn wurde in kürzester Zeit ein Methodenspektrum entwickelt, das man durch folgende Richtungen charakterisieren kann:

- **Strukturaufklärung** Bragg sen. und jun. (1913), Drehkristallvarianten (Seemann 1919, Polanyi/Weissenberg 1922, Schiebold 1923, Sauter 1933, ...)

- **Vielkristallbeugung:** entwickelt von Debye und Scherrer bzw. Hull 1916

- Systematische **Phasenanalyse** heterogener Systeme (Hanawalt 1934; Klug und Alexander 1948)

- **Realstrukturanalytik** wie Kristallitgrößen (Scherrer 1918 und Bertaut 1948), Substrukturanalyse (Kochendörfer 1944,

Warren und Averbach 1949), Mischkristalleffekte und Ausscheidungszustände (v. Laue 1918, Vegard 1928, Guinier 1934), Kristallbaufehler wie Versetzungen, Stapelfehler, Ausscheidungen oder Punktdefekttagglomerate (Guinier 1939, Warren 1949, Williamson und Smallman 1956, Wilkens 1969, Krivoglaz 1963 et al.)

- **Texturen in Vielkristallen**, insbesondere befördert durch Mark und Polanyi 1921, Kurdjumov und Sachs 1923, Wever 1924, Wassermann 1939 sowie die quantitative Texturanalyse nach Bunge 1969

- **Untersuchung elastischer Gitterdehnungen** (elastische Konstanten, Spannungsmessungen etc., Aksenov 1929, Hauk 1943, Macherauch 1957)

- **Untersuchung disperser bzw. kolloidaler Systeme mittels Röntgenkleinwinkelstreuung** (Debye 1915, Guinier 1939, Hosemann 1939, Kratky 1949, Porod 1949)

- **Dynamisches Interferenzverhalten von Einkristallen** und seine praktische Anwendung (z. B. Ewald 1917, v. Laue 1931, Borrmann 1941, Lang 1958)

- **Röntgenspektralanalyse**, ausgehend von den Arbeiten Moseleys 1914, Barklars 1917 und M. Siegbahns 1920

- Erstes kommerzielles **Zählrohr-Diffraktometer** nach Trost/Lindemann 1940

Bereits in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts waren zahlreiche der hier aufgeführten Arbeitsrichtungen in ihren prinzipiellen Ansätzen und Nutzungsmöglichkeiten bekannt geworden, sodass sich deutlich Anwendungen auch außerhalb des Rahmens der Physik abzeichneten: in der Werkstoffkunde, der Materialprüfung, der Kristallographie und den Geowissenschaften, der Chemie, der Medizin und anderen. Folgerichtig begann man auch an der Bergakademie, Überlegungen anzustellen, wie man das Spektrum der vorhandenen Fachgebiete durch die Röntgenbeugungsanalytik erweitern könnte.

Bei der Erarbeitung dieser historischen Übersicht ergab sich eine technische Schwierigkeit: die Fülle der zu berücksichtigenden Fakten. Sie zwang dazu, die Ausarbeitung zu teilen. Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit werden daher die Anfänge sowie die Entwicklungen im Institut für Metallkunde bzw. heute Werkstoffwissenschaft behandelt; der im nächsten Jahresheft erscheinende zweite Teil stellt dann die Röntgenlaboratorien der Fakultäten 2, 3 und 4 vor.

Die Anfänge bis 1947

Zum 1. Juni 1929 wurde Dr. Otto Vaupel beauftragt, innerhalb des damaligen Instituts für Metallographie (Direktor Prof. Alfred R.W. Heike) ein Röntgenlabor einzurichten. Wie das im Einzelnen ausgesehen hat, ist nicht mehr zu ermitteln. Die wichtigsten Geräte dürften jedoch der Zeit entsprechend Debye-Scherrer-Kammern bzw. Planfilm-Rückstrahlkammern, sicher meist im Eigenbau geschaffen, gewesen sein. Untersucht wurden u. a. Goldlegierungen für die Dentaltechnik. Vaupel verließ wegen „*Einziehung der Stelle*“ zum 30. September 1933 die Bergakademie. Nebenbei bemerkt zählte er später zu den herausragenden Materialprüfern in der deutschen Werkstofflandschaft. 1934 verzeichnet das Metallkundeeinstitut, damals noch in der ehemaligen Bergschule in der Prüferstraße angesiedelt, ein Röntgenzimmer ohne Angaben zu dessen Ausstattung. Nach der Emeritierung A. Heikes, der 1934 das Institut für Metallographie in das Institut für Metallkunde gewandelt hatte, übernahm 1938 Prof. Maximilian



Abb. 1: Fritz Regler, 1941 bis 1947 an der Bergakademie Freiberg tätig, 1945 bis 1947 als Rektor

Freiherr von Schwarz, ein Chemiker, dieses Institut und ab 1939 auch das Institut für Materialprüfung, hervorgegangen aus dem bereits 1916 gegründeten Institut für Technische Mechanik, Baukunde und Materialprüfung (Prof. F. Kögler). Er lehrte unter anderem auf dem Gebiet Röntgenfein- und -grobstrukturuntersuchungen, dabei unterstützt vom Dozenten Dr. Fritz Regler (zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, Röntgenkunde und Metallphysik), der, aus Wien kommend, ab 1941 eine spezielle Röntgenabteilung am Institut für Materialprüfung aufgebaut hatte. Regler wurde 1943 zum a. o. Professor ernannt und leitete ab dieser Zeit diese nunmehr selbstständige Röntgenabteilung (Gitterparameter, Messung elastischer Spannungen, Phasenanalytik, Grobstrukturuntersuchungen). Bekannt geworden ist er unter anderem durch seine Kammern mit kegelförmiger Filmeinlage (Kegelkammern nach Regler).

1945 wurde auf Betreiben Reglers aus den genannten Röntgenbereichen in Anlehnung an das Radiuminstitut der Bergakademie Freiberg das Röntgeninstitut formiert, das dem Physikalischen Institut zugeordnet wurde. Regler, bekannt nicht nur durch sein Kegelfilmverfahren, sondern auch als erster Rektor der Bergakademie nach dem Kriegsende, hatte die Leitung dieses Instituts bis zu seiner Rückkehr an die Universität Wien 1947 inne. Er war es auch, der Dr. phil. Franz Lihl 1943 als Assistenten an die selbstständige Röntgenabteilung verpflichtete. Lihl, der nach seiner Entlassung 1946 mit Regler ebenfalls nach Wien ging, war



Abb. 2: Fritz Günther, 1945 bis 1959 und 1966 bis 1977 am Institut für Metallkunde tätig

während seiner Freiburger Zeit ebenfalls in den Lehrbetrieb des Instituts für Metallkunde integriert. Im Röntgeninstitut existierten neben Filmkammern auch eine Seemann-Röntgenanlage, ein Siemens-Feinstrukturgenerator und eine 200 KV-Grobstrukturanlage.

Von Schwarz hatte während seiner Amtszeit Forschungsarbeiten zu Ermüdung, Reibung, Verschleiß, Kavitation, Warmfestigkeit, Eigenspannungen von und in Werkstoffen durchgeführt, die teilweise in Zusammenhang mit der Rüstungsindustrie standen. Er wurde demzufolge 1945 aus dem Hochschuldienst entlassen und arbeitete bis zu seinem Tode 1947 in einem der sogenannten Technischen Büros an der Bergakademie.¹ Bereits 1945 trat der Physiker Dr. Fritz Günther auf Betreiben Reglers in das Röntgeninstitut ein. Er kam aus dem von Ernst Schiebold aufgebauten Institut für röntgenologische Roh- und Werkstoffforschung in Leipzig und hatte 1940 über die Bestimmung elastischer Konstanten mittels Röntgeninterferenzen promoviert. Er musste schmerzlich feststellen, dass die Röntgenbereiche der Bergakademie im Verlaufe einer Demontage durch die sowjetische „Trophäenkommission“ etwa zwei Drittel ihres Gerätebestands verloren hatten.²

1 Noch in den 70er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde im Röntgenpraktikum Auswerteunterlagen genutzt, die von Schwarz erarbeitet hatte.

2 Laut einer Meldung an die Landesverwaltung Sachsen vom 23.11.1946 betraf die Demontage folgende acht Institutionen: das Radium-

1947 erfolgte eine inzwischen doch als notwendig erachtete strukturelle Flurbereinigung, bei der die Institute für Metallkunde, für Materialprüfung und das Röntgeninstitut zusammengefasst wurden zum Institut für Metallkunde und Materialprüfung (Fakultät für Naturwissenschaften und Ergänzungsfächer), dessen Leitung ab 1948 in den Händen von Prof. Friedrich Erdmann-Jessnitzer lag. War dieses Institut zunächst über viele Jahre allein in Lehre und Forschung auf dem Röntgengebiet zuständig, etablierten sich in der Folgezeit auch in anderen Instituten der Bergakademie röntgenografische Arbeitsgruppen, deren Entwicklung im zweiten Teil der Veröffentlichung dargestellt werden sollen (Institut für Mineralogie; für Anorganische und für Organische Chemie; Keramik, Glas- und Baustofftechnik; für experimentelle Physik; für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen; Metallurgische Institute).

Vom Institut für Metallkunde über die Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik zum Institut für Werkstoffwissenschaft Von 1947 bis 1968

Nachdem die Eingliederung des Röntgeninstituts in das Institut für Metallkunde und Materialprüfung erfolgt war, übernahm Dr. F. Günther³ die komplizierte Aufgabe, unter den schwierigen Nachkriegsbedingungen die Röntgenabteilung zu einem den Erfordernissen einer modernen Lehre und Forschung gerecht werdenden Bereich zu entwickeln. Es mussten neue Generatoren beschafft werden, die Filmkameras der Vergangenheit waren zu ersetzen, die Lehre neu zu strukturieren und zu organisieren sowie Forschungsaufgaben mit dominant röntgenografischer Ausrichtung zu definieren und zu bearbeiten. Es war zudem der Beginn der kommerziellen Zählrohrdiffraktometrie, die schrittweise die Filmmethoden entbehrlich machte.

Der Aufbau eines Berthold-Zählrohrgoniometers⁴ mit Proportionalzählrohr, analoger Intensitätsregistrierung und stabilisiertem Generator der Firma Sei-

institut, die Institute für Röntgenkunde, für Physik, für Metallkunde, für Materialprüfung, für Elektrotechnik, für Angewandte Geophysik sowie für Mathematik und Mechanik.

3 Am 3. Oktober dieses Jahres gedenken wir des 100. Geburtstags von F. Günther. Er verstarb am 19. Januar 2005 in Leipzig.
4 Damals übliche Bezeichnung für ein Diffraktometer



Abb. 3: Feinstrukturlabor des Instituts für Metallkunde (1952). Eigenbaugenerator mit Seemann-Hochtemperaturkammer und Reglerschen Kegelkammern (links)

fert (Isodebyeflex) erfolgte mutmaßlich 1957. Nicht ohne Bedeutung war die Schaffung einer mobilen Röntgen-Grobstruktur-Anlage 1950 in Verbindung mit einem Spezial-LKW (zunächst 2-Tonner Steyr mit Anhänger, später Granit 27 der Phänomenwerke in Zittau). Dieser „Röntgenbus“, ausgerüstet auch mit einer Dunkelkammer und einem Hänger für die eigentliche Röntgenanlage, bediente insbesondere Schweißnahtprüfungen in der damals rasch wachsenden Industrie Mitteldeutschlands und konnte so erhebliche finanzielle Mittel in das sog. Verwahrkonto des Instituts einbringen. Alle Metallkundestudenten bis 1964 hatten mit diesem Bus ein einwöchiges Grobstruktur-Praktikum zu absolvieren. Erst 1969 wurde er außer Dienst gestellt.

Fritz Günther selbst las über Röntgenfeinstrukturanalyse, Optische und Röntgenspektroskopie, Kristallphysik und Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Die damit verbundenen Übungen wurden meist von ihm, aber auch von jungen Assistenten gestaltet. 1957 habilitierte er mit einer Schrift „Zum Einfluss der Korngröße auf die Vermessbarkeit von Röntgen-Rückstreuaufnahmen“ und wurde zum Professor mit Lehrauftrag für Röntgenkunde am Institut für Metallkunde und Materialprüfung berufen. Zu den von ihm bearbeiteten Forschungsthemen gehörten nicht nur Fragestellungen metallkundlicher Art wie zum Oxidationsverhalten von Kupfer oder die Anlassverprödung von Cr-Mn-V-Stählen, sondern auch die strukturelle Charakterisierung

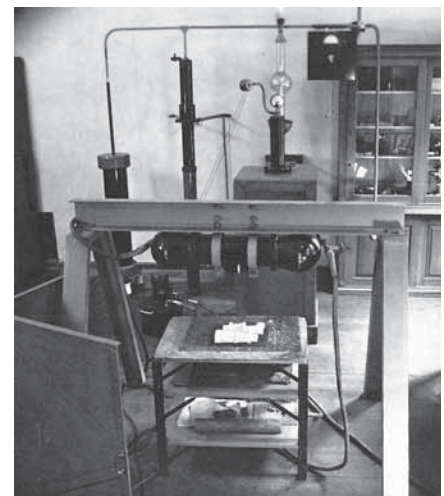


Abb. 4: Röntgen-Grobstrukturanlage des Instituts für Metallkunde (1952)

von Faserwerkstoffen und Polymeren. Besonders hervorzuheben sind seine vorwiegend röntgenografischen Untersuchungen an Steinsalz (Plastizität, Verwachsungen, Joffe-Effekt, Druckfestigkeit), das er als eine Modellsubstanz für anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe verstand. Die Vielseitigkeit der Themen hinsichtlich der untersuchten Substanzen und Phänomene war wohl die Basis dafür, dass er sich in seiner zweiten Freiburger Periode vehement für eine ganzheitliche Betrachtung aller Werkstoffgruppen im Sinne einer damals im Entstehen begriffenen Werkstoffwissenschaft einsetzte.

1959 wechselte er an die neue Technische Hochschule in Merseburg, um dort ein Institut für Werkstoffkunde aufzubauen. 1966 kehrte er an das Freiburger

Institut als Professor für Metallkunde zurück und war bis zu seiner Emeritierung 1977 an der Bergakademie aktiv. Auch in dieser Zeit galt sein persönliches Interesse in starkem Maße der Röntgenografie, auch wenn seine Lehrverpflichtungen nunmehr auf dem Gebiet der Physikalischen Metallkunde lagen. Bis 1977 leitete er die Intersektionelle Forschungsgemeinschaft Halbleiter (IFG Halbleiter)

Um 1960 verfügte die Arbeitsgruppe Röntgen über folgende wesentliche Einrichtungen: das bereits genannte Zählrohr-Diffraktometer samt stabilisiertem Seifert-Generator, drei Halbwellenapparaturen M60 (TuR Dresden), zahlreiche Debye-Scherrer-Kammern, Drehkristalkammern und Planfilmkammern, eine Hochtemperatur-Filmkammer nach Seemann, Filmvermessungsgeräte (Mikro-Photometer, Komparator), eine Kleinwinkelkammer nach Kießig mit Filmregistrierung, ein Weißenberg-Goniometer.

Nach dem Weggang F. Günthers an die TH Merseburg wurde Dr. Josef Sedivy von der Karls-Universität Prag ab 15. August 1961 mit der Gastdozentur für Metallphysik, Röntgenkunde und Kristallphysik beauftragt, eine Aufgabe, die er bis zum 31. August 1963 wahrnahm. Sein spezielles Arbeitsgebiet war die Ermittlung von Parametern der thermischen Gitterschwingungen, insbesondere auf der Grundlage von Intensitätsmessungen der Röntgeninterferenzen, ein Thema, das das Institut noch bis Ende der 60er-Jahre beschäftigte (Ch. Hermann).

1960 nahm der junge Hallenser Physiker Peter Klimanek in der Arbeitsgruppe Röntgen des Instituts eine Assistentenstelle an. Sein fachliches Interesse galt zunächst der Kleinwinkelstreuung, dem Gegenstand seiner Diplomarbeit am Physikalischen Institut in Halle. Für dieses anspruchsvolle Gebiet fehlte jedoch in Freiberg der notwendige experimentelle Hintergrund, sodass er sich rasch einem neuen Forschungsgebiet, nämlich der „Ver- und Entfestigung von kfz. Substitutionsmischkristallen“ zuwandte. Die Schwerpunkte waren das Erholungsverhalten des elektrischen Widerstands, der Koerzitivfeldstärke, des E-Moduls sowie in besonderem Maße von röntgenographischen Realstrukturparametern nach plastischer Deformation ausgewählter metallischer Mischkristallsysteme. Diesem Forschungsgebiet entsprang auch seine 1969 verteidigte Dissertation, die sich mit Cu-Zn-Legierungen (Legierungen



Abb. 5: Eines der Röntgenlaboratorien im Institut für Metallkunde (1964). Ch. Krause mit Diffraktometer HZG1, H. Oettel mit Zählrohrgoniometer nach Berthold

gen mit Nahordnungserscheinungen) befasste. Zu seiner Arbeitsgruppe gehörten seit 1964 der Metallkundler Heinrich Oettel (Ni-Co-Legierungen mit stark veränderlicher Stapelfehlerenergie ohne Ordnungserscheinungen, Verteidigung 1971) und seit 1966 Hans-Georg Friedel (Ni-Fe-Legierungen mit Fernordnungserscheinungen, Verteidigung 1972), der jedoch nach Abschluss seines Verfahrens das Institut verließ.

Dipl.-Phys. Peter Klimanek las ab 1960 Röntgenspektroskopie sowie Röntgenkunde für Fernstudenten und Nicht-Metallkundler, ab 1963 auch Röntgenfeinstrukturanalyse für die Fachrichtung Metallkunde. Von 1964 bis 1966 hielt auch der zweite Professor am Institut, Dr. Martin May (vormals Forschungsinstitut für NE-Metalle Freiberg), Vorlesungen zu Teilgebieten der Röntgenfeinstrukturanalyse sowie über Texturen metallischer Werkstoffe, für die die Röntgenografie unerlässliches experimentelles Hilfsmittel ist. (M. May wechselte 1966 auf den Lehrstuhl Werkstoffkunde in Merseburg, der wegen der Rückkehr von F. Günther nach Freiberg frei geworden war.)

Was verdient aus der Zeit der 1960er-Jahre besondere Erwähnung?

Der Gerätepark wurde erweitert durch

- zwei Generatoren vom Typ Mikro-meta 2 (Tschechoslowakei), genutzt für Filmtechniken und Texturanalysen,

- Diffraktometer vom Typ HZG1 (nur Analogbetrieb möglich) sowie HZG3 (mit Schrittschaltwerkssteuerung für Digitalbetrieb), beide VEB Präzisionsmechanik Freiberg,

- stabilisierte Generatoren vom Typ



Abb. 6: Peter Klimanek, von 1960 bis 2000 am Institut für Metallkunde tätig

M61 (mit ölsolierten Röhren) und M62 (mit luftisolierten Röhren), beide Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden,

- Eigenbau eines Texturmessplatzes mit vierachsigem Goniometer und analoger Intensitätsregistrierung,
- Aufbau der Reflexionstopografie nach Berg/Barrett,

- Aufbau eines schrittschaltwerkgesteuerten Diffraktometers RDII mit hoher Genauigkeit der Winkelpositionierung, gebaut in wenigen Exemplaren in den Akademiewerkstätten Berlin-Adlershof. (Die erstrebte Genauigkeit konnte später erst mit dem Typ HZG4 der Präzisionsmechanik erreicht bzw. überboten werden.)

Hauptaufgaben waren Phasenanalysen für verschiedene Bereiche des Instituts, Orientierungsbestimmungen an Einkristallen für die Arbeitsgruppe Einkristallplastizität, Untersuchungen zur Linienverbreiterung und -verschiebung durch plastische Verformung, röntgenografischer Nachweis der primären Rekristallisation und Korngrößenbestimmungen (Analyse der azimutalen Intensitätsverteilungen von Debye-Scherrer-Ringen), Ermittlung von Debye-Waller-Faktoren aus Integralintensitätsmes-



Abb. 7: Eigenbau einer Berg/Barrett-Kamera für Reflexionstopografien mit Generator M60 (1966, Konstruktion nach Wadewitz)

sungen bei Raumtemperatur. Ab 1967 wurde die Warren/Averbach-Analyse zur Charakterisierung verformter Metalle eingesetzt, wobei die dafür notwendigen Fourieranalysen anfangs noch mit einem elektronischen Tischrechner bewältigt werden mussten.

Von 1968 bis 1990

Im Rahmen der III. Hochschulreform in der DDR wurden 1968 die Institute für Metallkunde und Materialprüfung, für Metallhüttenkunde, für Gießereikunde, für Metallformung und das Eisenhütteninstitut zur Sektion „Metallurgie und Werkstofftechnik“ vereinigt. Besonderheit dieser Sektion war, dass die Mehrzahl der Laborbereiche der Institute in sog. Fachabteilungen zentralisiert wurde, die ihrerseits in einem Technischen Bereich zusammengefasst und damit formal unabhängig von den damals formierten Wissenschaftsbereichen waren. Die Arbeitsgruppe Röntgen bildete zusammen mit der Elektronenmikroskopie und später auch der Elektronenstrahlmikroanalyse die Fachabteilung Feinstrukturanalyse (kurz: FA 102), ab 1971 geleitet von H. Oettel. Aus dem Institut für Metallhüttenkunde (Institut für NE-Metallurgie und Reinststoffe) wurden eine Anlage M61 mit Diffraktometer HZG1 sowie eine technische Mitarbeiterin übernommen. Im Institut für Metallformung existierte eine Anlage M61 mit HZG1, die jedoch unausgepackt und ungenutzt im Keller stand; sie wurde in die FA 102 überführt. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter



Abb. 8: Diffraktometer HZG3 mit Detektorversorgung, Zählinheit, Lochertreiber, Diffraktometersteuerung und Lochstreifenstanze (SMWT 1978)

verstärkte H. Baum, bisher Eisenhütteninstitut, die FA 102. Die Philips-Anlage mit Diffraktometer PW1150 der Eisenhüttenkunde (Institut für Eisen- und Stahltechnologie) wurde zunächst in der Fachabteilung Analytik (FA 101) neben der dort hauptsächlich betriebenen Röntgenfluoreszenzanalytik belassen und erst 1978 in die FA 102 umgesetzt, nachfolgend aber kaum genutzt. Zusammen mit den technischen Erweiterungen der 70er-Jahre verfügte die FA 102 um 1980 über fünf komplette Diffraktometermessplätze (einschließlich Generatoren), wobei die meist schrittschaltwerksgesteuerten Diffraktometer vom Typ HZG3 mit einer Lochstreifenregistrierung ausgestattet waren. Damit konnte eine Rechnerauswertung an die eigentlichen Experimente angeschlossen werden. Bereits 1979 wurde das erste HZG4 mit seinen gegenüber den bisherigen Diffraktometern stark verbesserten Messgenauigkeiten und Automatisierungsmöglichkeiten installiert. Für die Rechnerauswertung stand seit 1979 ein Rechner HP 9830 mit Lochstreifenleser und Plotter zur Verfügung, für den BASIC-Programme zur Primärdatenverdichtung, zur Gitterparameterbestimmung sowie zur qualitativen und quantitativen Phasenanalyse erarbeitet wurden. Für die quantitative Phasenanalyse wurde das von Fiala 1970 entwickelte Vektorverfahren (Einbeziehung aller, auch der überlagerten, Interferenzen) mit experimentell bestimmten Standardintensitäten bzw. aus Strukturdaten berechnete Intensitäten der in Frage kommenden Phasen sehr erfolgreich angewendet – eine Methodik, die die z. T. sehr starken Störeinflüsse von Texturen minimierte. Die Gerätevariante HZG4/A besaß einen eigenen PC.

Ein völlig neues Arbeitsgebiet ergab sich durch die Beschaffung einer Mikrofokusanlage der Fa. Hilger und Watts (UK), mit der röntgentopografische Untersuchungen mit einer Transmissionskamera nach Lang (gefertigt in den Akademiewerkstätten Adlershof) möglich wurden (Einsatz zur Analyse von Versetzungsstrukturen in Halbleiterkristallen für die Mikroelektronik und die Halbleiterwerkstoffentwicklung). Zusammen mit der ebenfalls installierten Reflexionstopografie nach Berg/Barrett (Konstruktion von Wadewitz/Dresden) stellte sie ab 1972 die experimentelle Basis für die röntgenografische Realstrukturcharakterisierung von Kristallen ternärer und binärer Verbindungshalbleiter dar.

Mit der Sektionsgründung wurde die Lehre grundsätzlich den Mitarbeitern der Wissenschaftsbereiche übertragen; nur Praktika verblieben teilweise in der Fachabteilung. Auch die Festlegung der Forschungsthemen erfolgte durch die Wissenschaftsbereiche. Die dafür notwendigen Laborarbeiten gingen als Aufträge an die Fachabteilung, die sich ihrerseits um eigenständige methodische Entwicklungen bemühte.

P. Klimanek, am Wissenschaftsbereich 10, Physikalische Metallkunde, tätig, gelang es mit großem persönlichen Einsatz, einen geschlossenen, modernen Lehrkomplex Struktur- und Gefügeanalyse für die Studenten der Fachrichtung Physikalische Metallkunde zu schmieden, in dem die Röntgenografie, die Metallografie, die Elektronenmikroskopie und die Realstrukturanalyse zusammengeführt und umfassend behandelt wurden. Diese integrierende Ausbildung Struktur- und Gefügeanalyse wurde nachfolgend zu einem Markenzeichen der Freiburger Ausbildung von „Metallkundlern“.

Die Dozentur Struktur- und Gefügeanalyse (die vorgelaufene Dozentur Röntgenografie war seit 1963 vakant) übernahm ab 1972 Dr. Dieter Bergner (vormals FNE Freiberg), Spezialist für die Elektronenstrahl-Mikroanalyse, der dann auch dieses sein Spezialgebiet in die Struktur- und Gefügeanalyse einbrachte. 1978, nach dem Ausscheiden von F. Günther, erhielt er den Ruf auf die Professur Physikalische Metallkunde, sodass die Dozentur Struktur- und Gefügeanalyse wieder vakant wurde. Sie wurde dann 1981 mit H. Oettel (habilitiert 1979) neu besetzt. Von 1981 bis 1986 leitete daher Dr. H. Baum die Fachabteilung 102; da-



Abb. 9: R. Knebel am Diffraktometer HZG3 mit energiedispersivem Detektor (SMWT, 1990)

nach gliederte man sie in den nun als WB Metallische Werkstoffe bezeichneten Wissenschaftsbereich ein.

Nahezu alle großen Forschungs komplexe der Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik nutzten bis zu ihrer Auflösung 1988/89 die personellen und technischen Ressourcen der Fachabteilung Feinstrukturanalyse auf dem Röntgengebiet. Besonders zu erwähnen sind:

- Nitrierung von Eisenwerkstoffen: Phasenanalytik, Eigenspannungen und Texturen von Nitrierschichten (H. Oettel, B. Ehrentraut),
- Korrosionsträge Stähle: quantitative absolute Phasenanalytik von Rost- bzw. Korrosionsschichten (H. Baum),
- Ferritisch-austenitische Stähle: quantitative Phasenanalytik an Stahlisolaten (H. Oettel, I. Haase, G. Lange),
- Thermomechanische Behandlung von Stählen: röntgenografische Substrukturanalysen (Profilanalysen), Texturanalysen, Eigenspannungsmessungen (P. Klimanek, G. Große, A. Philipp, H. Schneider),
- Hochgeschwindigkeitsumformung: röntgenografische Substrukturanalysen (Profilanalysen) (P. Klimanek, U. Trinks),
- PVD-Hartstoffschichten und galvanische Schichten: Phasenanalytik; Profilanalysen; Eigenspannungsmessungen; Texturanalysen; Analytik der Gradienten von Phasenanteilen, Texturen und Eigenspannungen (H. Oettel, S. Will, PVD, und P. Klimanek, I. Handreg, galv. Schichten),
- Halbleiterwerkstoffe: Phasenanalytik; Röntgentopografie; Präzisionsgitterkonstanten nach der Bond-Methode (H. Oettel, G. Heide, F. Mücklich).

Hinzu kam die Bearbeitung zahlreicher, teilweise auch umfangreicher Service-Aufträge – nicht nur aus der eigenen Sektion.

1990 verfügte die FA 102 über einen Generator M61, vier Generatoren M62 (mit je zwei Arbeitsplätzen), einen Generator IRIS-2 (russische Produktion), drei Diffraktometer HZG 1, vier Diffraktometer HZG 3, je ein Diffraktometer HZG4/A und HZG4/C, einen Texturzusatz TZ 6. Die zahlreichen Filmkammern der verschiedensten Typen wurden nicht mehr eingesetzt. 1986 konnte ein energiedispersiver Halbleiter-Detektor (Akademie-werkstätten Adlershof) in Betrieb genommen werden, mit dem GaAs-Einkristalle diffraktometrisch untersucht wurden.

Als besondere in dieser Zeit erbrachte methodische Leistungen sind zu nennen:

- Entwicklung der röntgenografischen Versetzungsdichtebestimmung in Vielkristallen auf der Grundlage einer von M. A. Krivoglaz entwickelten Theorie, wobei ein die Versetzungsanordnung berücksichtigender effektiver Abschneideradius für die elastischen Verzerrungsfelder der Versetzungen in Analogie zur Berechnung der gespeicherten Energie eingeführt wurde (H. Oettel),
- Versetzungsdichtebestimmung auf der Grundlage der Krivoglaz-Theorie für hexagonale Vielkristalle (R. Kuzel, P. Klimanek),
- methodische Arbeiten zur Profilanalyse gering verbreiteter Interferenzlinien und zugehörige Softwareentwicklung für die Auswertung (P. Klimanek),
- theoretische und experimentelle Be-

handlung des Einflusses von Gefügeinhomogenitäten in Vielkristallen auf die Ergebnisse der röntgenografischen Profilanalyse (P. Klimanek),

- Quantifizierung des Einflusses von Versetzungen in Ein- und Vielkristallen auf die Extinktion von Interferenzen (P. Klimanek, A. N. Ivanov/Moskau),
- Ermittlung von Phasenzusammensetzungen, Eigenspannungen und Texturen sowie deren starken Gradienten in dünnen Oberflächenschichten nitrierter Eisenwerkstoffe (H. Oettel, B. Ehrentraut, T. Schubert, R. Wiedemann),
- Bau eines Mikroprojektors und dessen Einsatz für die Pseudo-Kesseltechnik zur lokalen Beugungsanalyse einkristalliner Proben (P. Klimanek, B. Kämpfe),
- Homogenitätsuntersuchungen an trigonalen Verbindungshalbleitern mittels lokaler Gitterkonstantenmessungen nach der Bond-Methode (H. Oettel, G. Heide),
- Stöchiometrieuntersuchungen an GaAs-Einkristallen durch hochgenaue Messungen der Intensitätsverhältnisse fundamentaler und quasiverbotener Interferenzen mittels energiedispersiver Diffraktometrie (H. Oettel, F. Mücklich).

In Würdigung des 60-jährigen Jubiläums der Entdeckung der Röntgeninterferenzen durch M. v. Laue, W. Friedrich und P. Knipping wurde von P. Klimanek und H. Oettel 1972 die Konferenzreihe Struktur- und Gefügeanalyse ins Leben gerufen. Die nachfolgenden internationalen Veranstaltungen fanden aller drei Jahre in Freiberg statt und festigten die besondere Bedeutung der Freiburger Vielkristall-Röntgengruppe im Bereich der Werkstoffforschung. Die letzte dieser international gut besetzten Konferenzen fand 1990 statt. Zudem wurde Mitte der 80er-Jahre damit begonnen, im nationalen Rahmen⁵ periodische Weiterbildungsveranstaltungen zu ausgewählten Themen der Vielkristalldiffraktometrie zu gestalten, die auch nach 1990 in neuem Rahmen fortgesetzt werden konnten.

Nach 1990 bis etwa 2005

Bereits 1986 wurde an der Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik (MWT) die fast zwei Jahrzehnte praktizierte Trennung zwischen den Wissenschaftsbereichen und den Fachabteilungen aufgehoben. Die Fachabteilungen

⁵ Träger dieser Veranstaltungen war meist die AG Polykristallanalyse (Leitung P. Klimanek) innerhalb der Montanwissenschaftlichen Gesellschaft der DDR.

Feinstrukturanalyse mit ihrer starken Röntgenabteilung und Metallografie vereinigten sich mit dem Wissenschaftsbereich Physikalische Metallkunde; die Röntgenkunde näherte sich damit wieder ihren Wurzeln. 1988 teilte sich die Sektion MWT in eine Sektion Werkstoffwissenschaft und eine Sektion Metallurgie und Gießereitechnik. Der ersteren gehörte fortan der obengenannte erweiterte Wissenschaftsbereich unter dem neuen Namen Metallische Werkstoffe an. Die Wende 1989/90 brachte weitere Veränderungen mit sich. Die Sektion Werkstoffwissenschaft wurde in einen Fachbereich gleichen Namens, der Wissenschaftsbereich Metallische Werkstoffe in das Institut für Metallkunde gewandelt, dessen Leitung H. Oettel 1990, ab 1992 als Professor für Metallkunde übernahm. Damit musste er sein röntgenografisches Engagement stark einschränken. P. Klimanek wurde 1992 zum Professor für Struktur- und Gefügeanalyse berufen und war damit zum Hauptverantwortlichen für den Bereich Röntgen geworden. Das Röntgenlabor selbst wurde nun von Dipl.-Phys. G. Schreiber geführt. Was änderte sich substantiell bzw. inhaltlich? Wichtige neue Geräte wurden beschafft:

- vollautomatisiertes Röntgendiffraktometer MZ4 mit vier Achsen der Fa. Seifert (insbesondere für Texturanalysen, Eigenspannungsmessungen und Profilanalysen),
 - Huber-Vierkreis-Goniometer für energiedispersive Diffraktometrie (Halbleiter),
 - Huber-Diffraktometer mit Seemann-Bohlin-Fokussierung zur Analyse dünner Schichten im μm -Bereich,
 - URD 6 und 65 sowie RD 7 (Präzisionsmechanik Freiberg),
 - Mittelfrequenzgeneratoren und Computertechnik für Modernisierung vorhandener Anlagen,
- Neue Forschungsgebiete mit dominanter Nutzung der Röntgenografie waren:
- Umformtexturen und deren Simulation (P. Klimanek),
 - Übertragung von theoretischen Ansätzen der röntgenografischen Substrukturanalyse auf Neutronenbeugungsexperimente (P. Klimanek),
 - Realstrukturcharakterisierung von PVD-Schichten: Phasenzusammensetzung, Eigenspannungen, Texturen und deren Gradienten (H. Oettel, K. Fischer),
 - Struktur, Gefüge und Bildung elektrochemisch abgeschiedener metallischer Schichten (P. Klimanek, I. Handreg),

- Realstruktur von GaAs mit lokal aufgelöster Intensitätsregistrierung von Interferenzen mit Synchrotronstrahlung (A. Wiswesser, H. Oettel).

Im Jahr 1998 veranstaltete P. Klimanek in Freiberg die zweite internationale Size-Strain-Tagung zum Thema „Integrated Analysis of Defect Structures in Crystalline Materials“. Diese Tagungsreihe widmet sich vor allem der Analyse der Mikrostruktur und ihrer Defekte mit Hilfe der Röntgenbeugung.

Prof. P. Klimanek⁶ trat 2000 in den Ruhestand, Prof. H. Oettel 2006. Seit 2003 hat Dr. David Rafaja, der an der Karlsuniversität Prag studiert hat – in jenem Institut, dem auch Doz. Dr. J. Sedivy angehörte – die Professur für Struktur- und Gefügeanalyse inne. Das Institut für Metallkunde firmiert seit 2006 als Institut für Werkstoffwissenschaft (IWW).

Die Zeit nach 2005 (D. Rafaja)

Seit der Berufung von D. Rafaja wurde eine Reihe von größeren Investitionen getätigt:

- zwei Diffraktometer D8 (Bruker AXS) mit Göbel-Spiegel und Parallelstrahl-optik für Röntgenbeugungs- und Kleinwinkelstreuungsexperimente an dünnen Schichten und Multilagenschichten (2005 und 2011),
- Diffraktometer D8 (Bruker AXS) mit einem zweidimensionalen Detektor (GADDS) für schnelle Textur- und Eigenspannungsmessungen (2008),
- umfassende Modernisierung der mechanisch hochpräzisen Diffraktometer der Firma Freiburger Präzisionsmechanik.

Damit verfügt das Institut für Werkstoffwissenschaft derzeit über zehn Röntgendiffraktometer, mit denen die meisten Anwendungsbereiche der Röntgenfeinstrukturanalyse – von der Phasenanalyse an polykristallinen Werkstoffen über die Realstruktur- und Mikrostrukturanalyse von nanokristallinen Materialien und Nanokompositen bis hin zur detaillierten Strukturanalyse von dünnen polykristallinen Schichten, Multilagenschichten und epitaktischen Schichten – abgedeckt werden können.

⁶ Peter Klimanek, weithin anerkannter Fachmann auf dem Gebiet der röntgenografischen Untersuchungen der Ver- und Entfestigungserscheinungen in metallischen Werkstoffen, der über fast vier Jahrzehnte die Struktur- und Gefügeanalyse des Bereichs Metallkunde prägte, verstarb im 76. Lebensjahr am 22. Dezember 2010 in Dresden.

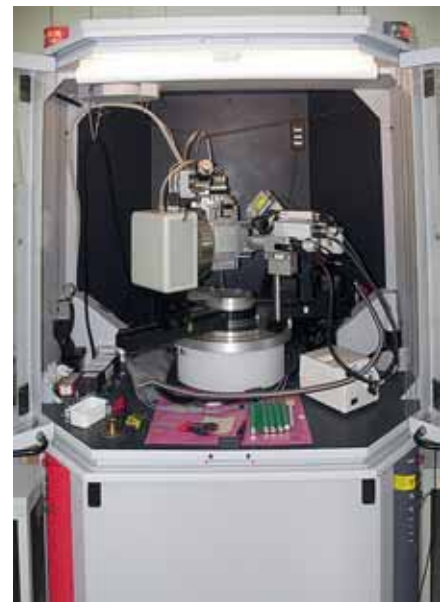
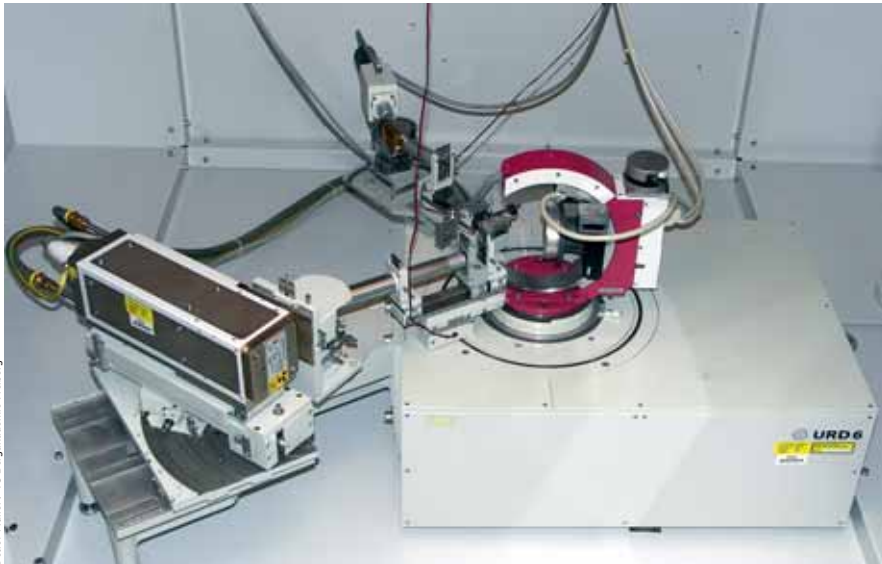


Abb. 10: Diffraktometer D8 Discover der Fa. Bruker AXS (IWW 2010). Diffraktometer dieser Firma sind derzeit die häufigsten in den Laboratorien der Bergakademie.

Auch nach 2005 blieb die Röntgenbeugung eines der wichtigsten methodischen Arbeitsgebiete des Instituts für Werkstoffwissenschaft. Die Analyse von Defektstrukturen, insbesondere in Werkstoffen mit hoher Dichte der Mikrostrukturdefekte, erweist sich nach wie vor als eine wichtige Grundlage für die Neu- und Weiterentwicklung von Werkstoffen und prägt folgerichtig bis heute die Arbeit des Instituts.

Schwerpunkt ist dabei die Strukturforschung an nanokristallinen Materialien und an Nanokompositen (insbesondere Dünnschichtsysteme). Die diesbezüglichen Arbeiten der Gruppe um D. Rafaja schufen die Basis für das Spitzentechnologiecluster Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering (ADDE), das seit 2009 durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung und durch den Freistaat Sachsen gefördert wird. Auch in die beiden Freiburger Sonderforschungsbereiche der DFG (SFB 799 TRIP-Matrix-Composite – Design von zähen, umwandlungsverstärkten Verbundwerkstoffen und Strukturen auf Fe-ZrO₂-Basis und SFB 920 Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials) ist die Röntgengruppe des Instituts integriert. Weiterhin unterstützt das Institut für Werkstoffwissenschaft die Arbeit des Dr.-Erich-Krüger-Forschungskollegs Freiburger Hochdruck-Forschungszentrum



Detlev Müller / TU Bergakademie Freiberg

Abb. 11: Zum Doppelkristall-Diffraktometer aufgerüstetes URD 6. Die auflösbaren Linienbreiten bei ungestörten Kristallen betragen etwa 10 bis 20 Winkelsekunden oder 0,003 bis 0,006 Grad

(FHP) und die durch den Europäischen Sozialfonds geförderte Nachwuchsfor-
 schergruppe Feinkristalline Magnesiumwerkstoffe zur Herstellung von Flach-

produkten mit exponiert hochwertigem
 Eigenschaftsprofil. Am Institut für Metallkunde, dem Röntgenbereich an der
 Sektion Metallurgie und Werkstofftech-

nik sowie am Institut für Werkstoffwissenschaft wurden bisher ca. 200 Diplomarbeiten zu Fragen der Röntgenografie von Werkstoffen durchgeführt. In etwa 25 Dissertationen wurden röntgenografische Probleme als Schwerpunkte behandelt, drei „Röntgenleute“ habilitierten sich (F. Günther, P. Klimanek, H. Oettel).

Schlussbemerkung und Danksagung

Die Auswahl der Bilder für den 1. Teil dieses Beitrags erfolgte so, dass möglichst viele Gerätetypen dargestellt und technische Mitarbeiter namentlich benannt werden konnten. Die in den Bildunterschriften angegebenen Jahreszahlen geben den Zeitpunkt der Entstehung der jeweiligen Aufnahme an, nicht das Anschaffungsjahr des Geräts. Ohne die aktive Mitwirkung zahlreicher ehemaliger und vor allem derzeitiger Mitarbeiter der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie hätten die gegebenen Informationen nicht zusammengetragen werden können. Ihnen sei an dieser Stelle nachdrücklich gedankt. Der Autor dankt Dr. H. Kaden und Herrn R. Volkmer (Archiv) sowie Frau B. Gelius und Herrn A. Ludwig (Medienzentrum) vielfach für ihre tatkräftige Unterstützung bei den notwendigen Recherchen für die Bereitstellung von Archivbildern.

175. Geburtstag von Carl Heinrich Adolf Ledebur

Carl Heinrich Adolf Ledebur wurde am 11. Januar 1837 zu Blankenburg am Harz geboren. Er verließ mit 17 Jahren die Prima des dortigen Gymnasiums mit dem Vorsatz, Eisenhüttenwesen zu studieren. Er nahm ein Jahr lang vorbereitenden Unterricht in Mathematik, Naturwissenschaften und im technischen Zeichnen, belegte einen von der Herzoglichen Regierung vorgeschriebenen praktischen Lehrkurs am damaligen staatlichen Eisenwerk Zorge und absolvierte ab Oktober 1856 das Collegium in Braunschweig, der jetzigen Technischen Hochschule, um die für das Eisenhüttenwesen wichtigen Fächer zu studieren. Im Oktober 1858 beendete Ledebur sein Hochschulstudium, kehrte nach Zorge zurück und wechselte später nach Rübeland, wo er diverse Betriebe leitete. Im Dezember 1859 wurde er zum Hüttenoffiziantenexamen zugelassen. Im Mai 1862 bestand er die mündliche Prüfung. Vom Hüttenaspiranten stieg er 1864 zum Hüttenkontrolleur auf. Hiernach war er zwei Jahre lang als Betriebsleiter in der Berliner Eisengießerei von Schwartzkopff tätig. Im Frühjahr 1871 nahm er eine Stellung als Assistent bei den Gräflich Einsiedelschen Werken in Gröditz (später AG Lauchhammer) an, wo er dann Chef des Hochofen- und Gießereibetriebs wurde. Seine Veröffentlichungen aus all diesen Jahren zeigen vor allem das Bestreben, Vorkommnisse der Praxis wissenschaftlich zu erklären und dabei auch die wirtschaftliche Seite zu berücksichtigen. Sie zeichnen sich durch Klarheit im Ausdruck, übersichtliche Gliederung und formvollendete Sprache aus. Sie führten schließlich am 1. Dezember 1874 zu seiner Berufung auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Eisenhüttenkunde an der Bergakademie Freiberg, womit er auch den Auftrag erhielt, ein Eisenhüttenlaboratorium einzurichten. 31 Jahre lang hat er hier als Gelehrter, Forscher und fruchtbarer Schriftsteller, als praktischer Ingenieur und anregender Lehrer eine überaus segensreiche Tätigkeit entfaltet. Neben Vorlesungen in seinem Hauptfach Eisenhüttenkunde las er noch über mechanisch-metallurgische Technologie, Eisenprobierkunde und Salinenkunde. Ausgezeichnet durch ein reiches und tiefgründiges Wissen sowie durch vielseitige praktische Erfahrung, erwarb er sich unvergängliche Verdienste um die Bergakademie Freiberg und um sein Wissenschaftsgebiet Eisenhüttenkunde. Das Verzeichnis seiner vielfach bahnbrechenden Veröffentlichungen umfasst 155 Einzelabhandlungen und zwölf Buchwerke, er wurde international geachtet und mit vielen Auszeichnungen geehrt.



Ledebur wurde 1890 Bergrat, 1898 Oberbergrat und 1900 Geheimer Bergrat. Er war in den Jahren 1899 bis 1901 sowie 1903 bis 1905 Wahlrektor der Bergakademie Freiberg. Im Jahre 1882 gelang ihm der Nachweis einer bis dahin unbekanntem eutektischen Mischung (Fe+4,3 % C) im Zustandsdiagramm Eisen-Kohlenstoff. Diese Mischung erhielt die Bezeichnung Ledeburit.

Ledeburs Charakterzüge waren Geradheit und Offenheit, Festigkeit und Pflichttreue. Im persönlichen Umgang gewann er durch sein schlichtes und natürliches Auftreten, durch freundliches Wohlwollen und Liebenswürdigkeit die Herzen der Menschen. Im Allgemeinen still und ernst, verfügte er über einen feinen, trockenen Humor. Er war ein Kenner und Freund unserer deutschen Muttersprache und ein Feind von vermeidbaren Fremdwörtern. Ihm zu Ehren erhielt das 1930 in Freiberg neu errichtete Eisenhütteninstitut den Namen Ledebur-Bau. Zudem tragen die Ledeburstraße in Freiberg und der Adolf-Ledebur-Ring in Blankenburg (Harz) seinen Namen.

Carl Heinrich Adolf Ledebur ist am 7. Juni 1906 verstorben und liegt auf dem Freiburger Donatsfriedhof begraben. ■ Gerd Grabow

Modellgeschichten

Teil 1: Das wiedererstandene Modell einer Bessemer-Birne

Frieder Jentsch¹

Über Gemälde, wertvolle Juwelen oder überhaupt über Kunstwerke lassen sich oft spannende Geschichten zu ihrer Entstehung oder ihrem Verbleib erzählen. Ähnliches trifft auch für gegenständliche technische Modelle zu. Früher wurden diese Kleinode der Technikgeschichte für vielfältige Zwecke hergestellt. Heute nutzt man sie weniger, zumal ihre Herstellung teuer, die Erhaltung und ihr Transport aufwendig sind. Medien im virtuellen Bereich haben sich als wesentlich freundlicher im Gebrauch erwiesen.

Der Lebensweg eines Modells ist in der Regel folgender: Zweck des Baus ist zumeist die Frage nach der Funktionsfähigkeit einer neuen technischen Idee, die nicht sofort im Großen in die Realität umgesetzt werden kann oder soll. Ein Innovationsmodell entsteht. Ist die Idee umgesetzt, geht das Modell zur Werbung und Vorführung auf Messen. Nun ist es ein Messemodell. Ist die technische Idee in die Praxis überführt, nutzt man es für die Ausbildung derjenigen, die mit der in Produktion gegangenen Neuerung arbeiten sollen. Jetzt ist es ein Lehrmodell. Irgendwann ist die technische Idee veraltet und das Modell für die Ausbildung nicht mehr geeignet. Es wird zum Museumsmodell und ist gerade dann besonders wertvoll, wenn das Originalgerät oder die Maschine als historischer Sachzeuge nicht mehr zu erhalten sind.

Diese so skizzierte schemenhafte Darstellung, die in der Realität nur selten so idealisiert abläuft, weist auf die Problematik hin. Oft sind die Schnittstellen vom Innovationsmodell bis hin zum Museumsmodell so abrupt, dass die Gefahr der Entsorgung besteht. Die Realität beweist, dass ein Stück, das gerade alt und unmodern geworden ist, als wertlos angesehen wird, hingegen wird einem hochbetagten Objekt, das man ehrfürchtig, vielleicht sogar hinter Glas, bestaunen kann, alle Ehre zuteil. Ursachen für einen oft gegangenen Leidensweg eines manchen Modells sind u.a.: Es blockierte anderweitig dringend benötigten Raum,



Das Freiburger Modell der Bessemer-Birne im Findzustand

es stand ungenutzt im Abstellraum, es verschmutzte zusehends, Teile von ihm waren abhanden gekommen. Fazit: Es blieb nur noch die Entsorgung.

Die Freiburger Bergakademie besaß von Beginn an einen Modellbestand, der, wie bei Lehrmitteln üblich, ständigen Veränderungen unterlag. Bei aller Pflege der Objekte waren Umbauten und Aussonderungen verschlissener Stücke nichts Außergewöhnliches. Der Übergang zu einem musealen Museumsbestand glückte der Bergakademie oftmals gerade noch so, anderen Einrichtungen aber leider schlecht oder überhaupt nicht.

In Freiberg sind heute die historischen Modellbestände der Fachdisziplinen Bergbaukunde, Metallhüttenkunde, Eisenhüttenkunde und Baukunde gemeinsam mit Schenkungen aus der Industrie zur Modellsammlung vereinigt.

So verdient es unter vielen anderen das Modell einer Bessemer-Birne aus dem Lehrmittelbestand der Eisenhüttenkunde herausgestellt zu werden. Es stand ursprünglich zwischen Modellen von Hochöfen und anderen Großaggregaten der Schwarzmetallurgie. Bei der Kulturguterfassung 1986 bot es einen erbärmlichen Anblick. Wesentliche Teile fehlten, der Konverter war zerbrochen, aber dennoch erkennbar; dadurch gelang auch die Identifizierung des Modells. Mehr als notdürftig eine Sicherung des ruinösen Stücks vorzunehmen, das zu Teilen in mehreren Häusern aufgefunden wurde, war derzeit nicht möglich.



Das St. Petersburger Modell der Bessemer-Birne



Das Freiburger Modell nach der Wiederherstellung 2005 auf der Ausstellung „Weißglut“ im Industriemuseum Chemnitz

Im Dezember 2002 erhielt ich mit Unterstützung der Verbundnetz Gas AG und des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg die Gelegenheit, in der berühmten Modellsammlung des Bergbauinstituts St. Petersburg einige Tage zu arbeiten. Mir war aus der Literatur bekannt, dass dort Modelle des Berg- und Hüttenwesens seit der Gründung des Instituts 1773 europaweit gesammelt und bewahrt wurden. Mein erster Eindruck war überwältigend. Neben hervorragenden russischen Ar-

¹ Dr. Frieder Jentsch, Am Rosenhag 28, 09114 Chemnitz, frieder.jentsch@t-online.de

beiten standen auch die historischen technischen Neuheiten aus Frankreich, Preußen und Sachsen. Allein aus Freiberg konnten 27 größere und kleinere Modelle identifiziert und unter der Schirmherrschaft der Leiterin des Museums, Jeanna Alexandrowna Poljarnaja, in Zusammenarbeit mit der Kustodin der Bergbausammlung, Elena Sergejewna Tarakanowa, zu einem kleinen Katalog zusammengestellt werden.²

Ein ganz besonderes Erlebnis war für mich, dass sich in dem repräsentativen Ausstellungssaal auch ein hervorragend

2 Jentsch, Frieder; Tarakanowa, Elena: Technische Modelle aus Freiberg im Bergbaumuseum von Sankt Petersburg. Katalog. Freiberg-St. Petersburg 2003, 52 S. deutsch/russisch

erhaltenes Duplikat des Modells der Bessemer-Birne befand, das wir in Freiberg fast zur Unkenntlichkeit zerstört aufgefunden hatten. Hersteller war der Freiburger Modellbauer Anton Schumann, der Sohn von Carl Gottfried Schumann, des Erfinders des druckluftgetriebenen Sprenglochbohrens. Der Eingang des Modells ist mit dem 10. Februar 1875 datiert. Man muss wissen, dass bei Fremdaufträgen an die Modellwerkstatt der Bergakademie für die eigenen Freiburger Sammlungen jeweils ein Stück mitgefertigt wurde, zumal dies kostengünstig erfolgen konnte. Leider sind vertragliche Unterlagen nicht erhalten, sodass einzig die beiden Modelle archivalischer Nachweis für dieses Feld der fruchtbrin-

genden russisch-deutschen Zusammenarbeit sind. Der Plan reifte in mir, die Freiburger Ruine zu rekonstruieren, und ein Jahr darauf erhielt ich nochmals die Gelegenheit, zur Abnahme der Modelldaten die St. Petersburger Sammlung zu besuchen. Volker Schramm, derzeit Restaurator in der Kustodie der Bergakademie, konnte sich nun an die Arbeit machen. Mit viel Fingerspitzengefühl und restauratorischem Geschick ließ er das Modell der „Bessemerretorte, drehbar auf Zapfen gelagert“ auf Basis der Informationen aus St. Petersburg wiedererstehen. Der Öffentlichkeit erstmals vorgestellt wurde das Modell 2005 in der Ausstellung „Weißglut“ im Sächsischen Industriemuseum Chemnitz.

100 Jahre nichtrostender Stahl

Heinz-Joachim Spies

Vor 100 Jahren am 17. Oktober 1912 sowie am 20. Dezember 1912 meldete die Firma Fried. Krupp Patente zur Herstellung von Gegenständen, die eine Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion erfordern, aus an sich bekannten Chrom-Nickel Stahlegierungen an [1]. Die von Benno Strauß¹ und Eduard Maurer² entwickelten Stähle V1M (Versuchsschmelze 1 Martensit) und V2A (Versuchsschmelze 2 Austenit) erfüllten ein dringendes Bedürfnis der chemischen Industrie und fanden rasch Eingang in die Praxis. Das gilt besonders für den austenitischen Stahl V2A, dem Vorläufer des heutigen Stahls X5CrNi18-10 (1.4301 bzw. AISI 304). Auf diesen 1912 entwickelten ersten industriell produzierten nichtrostenden Stahl entfällt heute noch über ein Drittel der Welterzeugung an nichtrostenden Stählen. Das Jahr 1912 gilt als Geburtsstunde des nichtrostenden Stahls. Die Bezeichnung V2A wurde weltweit zum Synonym für austenitische nichtrostende Stähle. Das hundertjährige Jubiläum des nichtrostenden Stahls wird heute von den Metallurgen in aller Welt durch zahlreiche Konferenzen, Ausstellungen und Veröffentlichungen gewürdigt.

Der nichtrostende Stahl hatte viele Väter. Schon 1821 wies M. P. Berthier nach, dass Eisen-Chrom-Legierungen eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit besitzen. J. Woods und J. Clark patentierten 1872 ein *anti acid metal*, das aus Eisen, 32% Chrom und 1,6% Wolfram bestand. Eingehende Untersuchungen über Chromstähle und Chromnickelstähle führten Hadfield (1892), Guillet (1904 und 1906) sowie Giesen (1909) durch [1-3]. Einen Hinweis auf die Verwendungsmöglichkeit der Stähle als korrosionsbeständige Werkstoffe enthalten ihre Arbeiten jedoch nicht [1, 2]. Eduard Maurer schreibt hierzu „Diese Arbeiten gaben den rost sicheren Stahl, erkannten ihn aber nicht“ [2]. 1898 verlieh J. W. Hittorf der Passivitätsforschung durch seine Arbeiten über die Passivität der Metalle – besonders über seine Versuche an Chrom und Eisen – neue Impulse [4]. P. Monnarts (1908) untersuchte in seiner Dissertation Eisen-Chrom-Legierungen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Säurebeständigkeit und erklärte darin die Korrosionsbeständigkeit der Legierungen mit über 12% Chrom aus ihrer Passivierbarkeit [1, 3].

Einen ausführlichen Überblick über den zu Beginn der Arbeiten von Maurer und Strauß erreichten Kenntnisstand vermitteln Publikationen von Krainer, Maurer und Cobb [1-3]. Wie in den Patentanmeldungen erwähnt, war zu diesem Zeitpunkt die erhöhte Korrosionsbeständigkeit hochlegierter Chrom- und Chrom-

Eduard Maurer

3. November 1886 – 21. Februar 1969

1892–1904: Schulbesuch in Luxemburg

1904–1907: Studium der Physikalischen Chemie in Braunschweig und Karlsruhe

1907–1908: Mitarbeiter von Floris Osmond in dem Laboratorium von Henry Le Chatelier an der Sorbonne, Paris

1908: Promotion zum Dr.-Ing. an der RWTH Aachen

1909–1918: Arbeit in der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt der Fried. Krupp AG, Essen

1919–1922: Arbeit am Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf

1919: Habilitation an der RWTH Aachen

1922–1925: Vorstand der Versuchsanstalt der Fried. Krupp AG, Essen

1925–1946: Prof. für Eisenhüttenkunde an der Bergakademie Freiberg

1946–1948: Forschungsleiter im sowjetischen „Technischen Büro Eisen“, Freiberg

1947–1949: Arbeit in der Deutschen Wirtschaftskommission, Berlin

1950–1959: Direktor des Eisenforschungsinstitutes Hennigsdorf

1951–1958: Prof. für Eisenhüttenkunde an der Humboldt-Universität Berlin

Nickelstähle bereits bekannt. Von der Kenntnis, dass bestimmte Legierungen von üblichen Ätzmitteln nicht angegriffen werden, bis zur kommerziellen Herstellung nichtrostender Stähle war aber noch ein weiter Weg zurückzulegen. Ihre unbefriedigenden mechanischen Eigenschaften, ihre schlechte Be- und Verarbeitbarkeit, resultierend aus einem „mangelhaften“ Gefüge, verhinderten eine industrielle Anwendung.

1 Prof. Dr. Benno Strauß, Vorstand der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt der Firma Fried. Krupp

2 Dr. Eduard Maurer, Assistent in der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt der Firma Fried. Krupp; siehe Kasten



Misterweiss auf Wikipedia, 2005

Blick vom Empire State Building auf das Chrysler Building in New York

Angeregt durch eine Veröffentlichung von Friend, Bently und West [2], in der unter anderem über die erhöhte Korrosionsbeständigkeit eines 5,3%igen Chromstahls berichtet wurde, untersuchte Maurer im September 1912 Proben unbearbeitbarer, hitzebeständiger chrom- und chromnickelhaltiger Stähle, die von B. Strauß ursprünglich für Pyrometerschutzrohre erschmolzen wurden. Gestützt auf Erkenntnisse aus seiner Dissertation (1908) über das Härten und

Anlassen von Eisen und Stahl gelang Maurer in sehr kurzer Zeit die Entwicklung von spezifischen Technologien für die Wärmebehandlung martensitischer und austenitischer nichtrostender Stähle. Sie verliehen den Stählen ein optimales Gefüge, das eine hohe Zähigkeit, gute Bearbeitbarkeit und Korrosionsbeständigkeit gewährleistete [1, 2, 4, 5]. Mit der Aufklärung der Wirkungskette chemische Zusammensetzung-Wärmebehandlung-Gefüge-Eigenschaften hat

Eduardt Maurer die wissenschaftlichen Grundlagen für eine industrielle Nutzung der nichtrostenden martensitischen und austenitischen Stähle geschaffen.

Die weitere Entwicklung des nichtrostenden Stahls bis zur Produktionsreife ist in erster Linie das Verdienst von Strauß, der in unermüdlicher Arbeit die für seine industrielle Erzeugung erforderlichen Technologien entwickelte. Schon bis Mitte 1914 wurden an die Badische Anilin- und Soda-Fabrik AG 18 t nichtrostender Stahl geliefert [1].

Der vorrangig für die Bedürfnisse der chemischen Industrie entwickelte Stahl eroberte sich rasch neue Einsatzgebiete. Nach Beendigung des ersten Weltkriegs begann die Produktion von Bestecks und Tafelgeschirr sowie von chirurgischen Instrumenten aus nichtrostendem Stahl. Für die Messerklingen wurde vor allem in England der von H. Bearly entwickelte martensitische Chromstahl eingesetzt [3]. Im Jahr 1919 wurde die Verwendung des Stahls für die „... Herstellung von künstlichen Ersatzteilen für das Innere des menschlichen und tierischen Körpers“ von der Firma Fried. Krupp zum Patent angemeldet. Prothesen und Implantate wurden ab Mitte der 1920er-Jahre aus nichtrostenden Stählen hergestellt.

Eine breite Anwendung fand der V2A-Stahl in der Architektur. Die Pionierarbeit dafür leisteten W. P. Chrysler und sein Architekt W. van Allen 1927 mit ihrer mutigen Entscheidung, die Haube des damals höchsten Gebäudes der Welt (319 m) mit großformatigen Schindeln aus dem Stahl AISI 302 (X10CrNi18-9) zu verkleiden. Der austenitische nichtrostende Stahl war zu diesem Zeitpunkt in den USA noch weitgehend unbekannt. Erste Versuche zur Erzeugung von 18-8 Stahl wurden in den USA erst im gleichen Jahr durchgeführt. Er war doppelt so teuer wie der seit über zehn Jahren produzierte martensitische nichtrostende Stahl. Es gab weltweit keine Erfahrungen über sein Korrosionsverhalten im Außenbereich. Niemand konnte vorhersagen, wie lange der Stahl in der stark belasteten New Yorker Atmosphäre nahe dem Meer halten würde. Die von amerikanischen Stahlwerken nach einer Lizenz von Krupp produzierten polierten Blechtafeln verzieren das 1928-1930 erbaute Gebäude, noch heute nach über 80 Jahren unverändert mit ihrem Glanz (Abb. 1). Ersatzbleche, die 1930 vorsorglich für eine Restaurierung der Haube reserviert wurden, warten bis heute ver-



Abb. 2: Die Walt Disney Konzerthalle in Los Angeles, Heimat des Los Angeles Philharmonic Orchestra

Carol M. Highsmith auf Wikipedia, 2005

geblich auf ihren Einsatz. Das Chrysler Building wurde weltweit zu einem Inbegriff für nichtrostenden Stahl [3].

Auch das 1931 errichtete Empire State Building, über 40 Jahre das höchste Gebäude der Welt, erhielt eine Fassade aus austenitischem Stahl. Der nichtrostende Stahl ist heute in der Architektur Synonym für Kreativität und Nachhaltigkeit. An die Stelle des X10CrNi18-9 ist in den meisten Fällen der X5CrNiMo17-12-2 getreten. Er besitzt durch seinen Molybdängehalt eine höhere Beständigkeit gegenüber chloridhaltigen Medien und wird deshalb für Gebäude nahe dem Meer sowie im Falle einer Beaufschlagung durch Tausalze eingesetzt. Der im Jahr 2009 fertiggestellte 423,4 m hohe Trump Tower in Chicago ist ein Beispiel dafür. Seine Fassade und seine Vordächer bestehen aus Glas und dem Stahl X5CrNiMo17-12-2, dessen Ober-

fläche auf makellose Spiegeloptik poliert wurde [6]. Ein beeindruckendes Beispiel für die Anwendung von nichtrostendem Stahl als Außenfassade ist die 2003 fertiggestellte Walt Disney Konzerthalle in Los Angeles (Abb. 2).³ Das Gebäude erinnert an die geblähten Segel eines großen Segelschiffs und an das Opernhaus von Sydney.

Auch für das Transportwesen, beginnend vom Automobil- und Eisenbahnbau bis zum Schiffbau, sowie für die Energieerzeugung wurde der nichtrostende Stahl zu einem unverzichtbaren Werkstoff.

³ Der Hauptteil der Fassade besteht aus mattem rostfreien Stahl, nur für einen kleinen Teil wurden auf Spiegeloptik polierte Bleche verwendet. Das führte in einigen in der Nähe liegenden Wohnungen zu einer unerträglichen Erwärmung. Auf angrenzenden Bürgersteigen wurden Brennpunkte mit einer Temperatur von 60 °C gemessen. Deshalb wurden 2005 die hochglanzpolierten Blechtafeln mattiert.

Seine hervorragende Oberflächengüte, die eine problemlose, keimtötende Reinigung ermöglicht, führte zu einem breiten Einsatz in der Medizintechnik, der Getränke- und Nahrungsmittelindustrie sowie für Haushaltswaren. Mit Spülbecken sowie Kochtöpfen mit Kupferböden und Tafelgeschirr fand der V2A-Stahl in den 1930er-Jahren verstärkt Eingang in private Haushalte. Der erste Straßentransporter mit einem geschweißten Tank für 11.000 Liter Milch aus austenitischem Stahl wurde 1927 von der Heil Truck Co. in Milwaukee entwickelt [3].

Der rasch wachsende Bedarf an nichtrostenden Stählen war eine extreme Herausforderung für die Stahlindustrie. In den ersten Jahren wurden sie mit hohen Kosten als Tiegelstahl erzeugt. 56 t nichtrostender Stahl, die von Jahresmitte 1914 bis Mitte 1915 von Krupp an die BASF geliefert wurden, hatten einen Wert von

400.000 Mark. Daraus ergibt sich ein Preis von 7,14 Mark/kg [1]. Der Durchschnittspreis für Bleche aus unlegiertem Stahl lag zu diesem Zeitpunkt bei 170 Mark/t [7], d. h. der nichtrostende Stahl war etwa 42-mal so teuer.

Der Einsatz von Induktions- und von Lichtbogenöfen ermöglichte in den 1920er-Jahren eine erhebliche Produktionssteigerung bei sinkenden Kosten. Die Einführung der Pfannenmetallurgie mit der Vakuum-Sauerstoff-Entkohlung (VOD-Verf.) bzw. der Argon-Sauerstoff-Entkohlung (AOD-Verf.) in den 1960er-Jahren verringerte die Herstellungskosten beträchtlich. Sie erleichterte die Erzeugung von Stählen mit einem extrem niedrigen Kohlenstoffgehalt und eröffnete damit der Werkstoffentwicklung neue Möglichkeiten.

Weitere Fortschritte erhöhten in den letzten Jahrzehnten die Effektivität und die Reproduzierbarkeit der Edelstahlherzeugung, so z. B. der kontinuierliche Strangguss, die Nutzung neuer Analyseverfahren, die umfassende Nutzung der Rechen- und Regelungstechnik. Heute kostet der aus dem V2A entstandene X5CrNi18-10 (1.4301) je nach Lieferform etwa das fünf- bis neunfache eines unlegierten Stahls.

Die Patentanmeldungen der Firma Krupp im Jahr 1912 bezogen sich auf martensitische und austenitische Stähle. Heute unterscheidet man nach ihrem Gefüge fünf Familien nichtrostender Stähle: ferritische Stähle, austenitische Stähle, ferritisch-austenitische Stähle (Duplex-Stähle), martensitische Stähle und aushärtbare Stähle. Über 120 verschiedene nichtrostende Stähle ermöglichen spezifische Lösungen für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete in allen Zweigen der Technik. Der nichtrostende Stahl ist heute aus keinem Lebensbereich mehr wegzudenken.

Die wirtschaftliche Bedeutung des „Edelstahls Rostfrei“⁴ veranschaulicht auch die Entwicklung der Produktionsmengen. Die produzierte Menge erhöhte sich von den 18 Tonnen, die bis Mitte 1914 produziert wurden, weltweit auf eine Mio t Rohstahl im Jahre 1950. Im Jahr 2011 wurden insgesamt 32,1 Mio t nichtrostender Rohstahl produziert; das entspricht in diesem Zeitraum einer mittleren jährlichen Wachstumsrate von 5,88%. Der Edelstahl Rostfrei weist damit die höchste Wachstumsrate unter den

4 Seit 1958 eingetragenes Warenzeichen

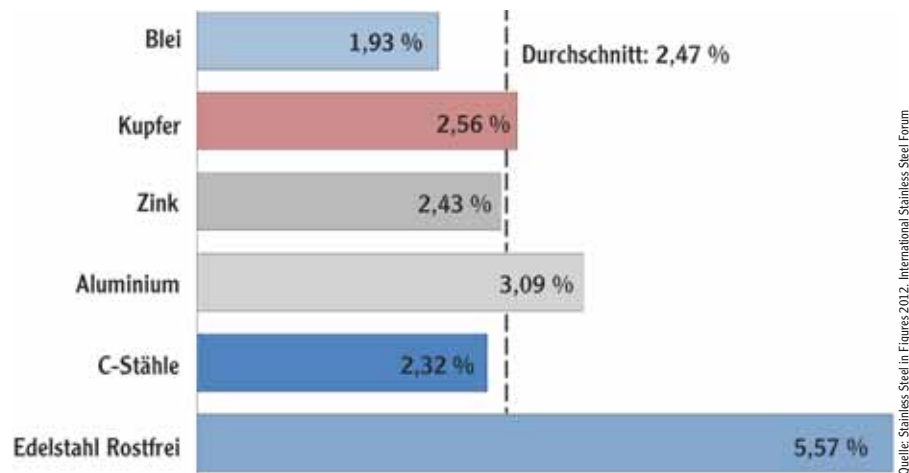
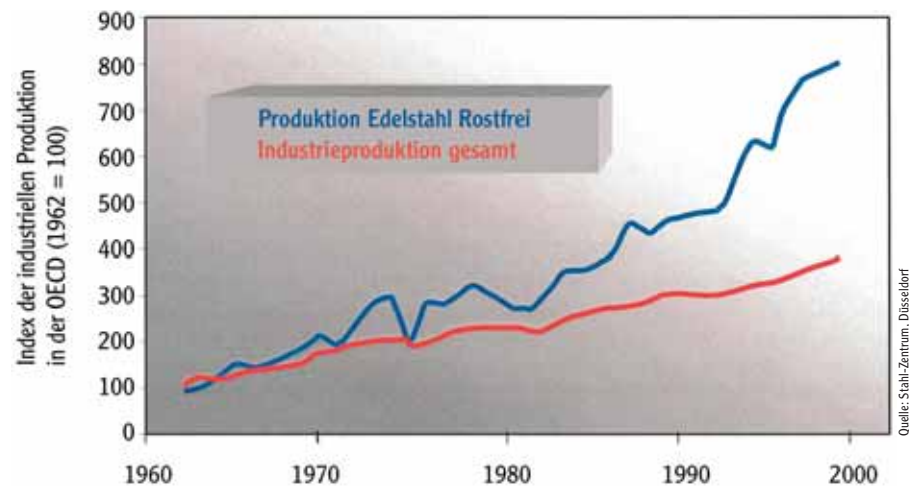


Abb. 3: Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Produktion von ausgewählten metallischen Werkstoffen im Zeitraum 1980–2010



Wachstum der industriellen Produktion und der Edelstahl Rostfrei Produktion in der OECD

wichtigsten metallischen Werkstoffen auf. Wie Abb. 3 zeigt, war auch im Zeitraum 1980 bis 2010 seine Wachstumsrate nahezu doppelt so groß wie die des an zweiter Stelle liegenden Aluminiums. Der nichtrostende Stahl wurde nach dem Stahl und dem Aluminium der global am dritthäufigsten verwendete metallische Werkstoff. Im Jahr 2010 wurden weltweit 1.382,9 Mio t Rohstahl (ohne Edelstahl Rostfrei), 49,6 Mio t Aluminium und 31,1 Mio t Edelstahl Rostfrei produziert.

Die größten Wachstumsraten weist die Produktion nichtrostender Stähle in China auf. Ihr Anteil an der Weltproduktion erhöhte sich von 12,8% im Jahr 2005 auf 36,2% im Jahr 2010. Die Bedeutung des nichtrostenden Stahls für die OECD-Länder wird deutlich an dem in Abb. 4 gezeigten Wachstumsvergleich der Edelstahlproduktion mit der Industrieproduktion. Die Wachstumsrate der Edelstahlproduktion übertrifft danach im Zeitraum 1960–1999 die der Industrieproduktion um mehr als das Doppelte.

Kein anderer Werkstoff hat in den letzten einhundert Jahren die technische Entwicklung, aber auch das tägliche Leben so stark beeinflusst wie der nichtrostende Stahl. Der Edelstahl Rostfrei kann zu 100% recycelt werden und genügt deshalb auch dem Prinzip der Nachhaltigkeit.

Literatur

- 1 Krainer, H.: 50 Jahre nichtrostender Stahl. Stahl u. Eisen 82 (1962), S. 1527–1540.
- 2 Maurer, Ed.: Wer hat den rostsicheren Stahl geschaffen. Techn. Bl., Beil. Deutsche Bergwerks-Zeitung 21 (1931), S. 214–215 u. 232–233.
- 3 Cobb, H. M.: The History of Stainless Steel. ASM Intern. 2010, Materials Park Ohio.
- 4 Strauss, B.: Non-Rusting Chromium-Nickel Steels. Proceed. 27 Ann. Meet. ASTM 1924, S. 208–216.
- 5 Maurer, Ed.: Der Maurersche Manganstahl in der Entwicklung der nichtrostenden Stähle. Stahl u. Eisen 49 (1929), S. 1217–1220.
- 6 Wellershoff, F.; Utz, S.; Balint, L.: Lobby Fassade und Vordächer für den Trump Tower, Chicago. Stahlbau Spezial 2010, S. 10–15.
- 7 Nolteklöcke, T.: 100 Jahre nichtrostender Stahl der Fried. Krupp AG. Stahl u. Eisen 132 (2012) 6, S. 115–118.

Chronik 2013

675 Jahre – 1338

- Beginn der Prägung sog. Meißner Groschen aus Silber in der damals einzigen markgräflichen Münzstätte Freiberg

600 Jahre – 1413

- Erlass einer Brauordnung durch Freiburger Rat

300 Jahre – 1713

- Der Freiburger Oberberghauptmann Hannß Carl von Carlowitz begründet mit seinem Werk „Sylvicultura oeconomica oder hauswirthliche Anleitung zur Baumzucht ...“ in der Forstwirtschaft das Nachhaltigkeitsprinzip zur dauerhaften Versorgung mit Brennmaterialien im Montanwesen
- (11.08.) Christlieb Ehregott Gellert geboren, 1766–1794 erster Lehrer für metallurgische Chemie an der neugegründeten Bergakademie, seit 1762 Oberhüttenverwalter (Oberaufsicht über die Schmelzhütten im Freiburger Raum)

275 Jahre – 1738

- (24.06.) Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier geboren, 1766–1785 erster Prof. für Mathematik, Mechanik, Zeichnen (bis 1783) sowie Physik (ab 1769), 1802 Berghauptmann

250 Jahre – 1763

- Berufung von Friedrich Anton von Heynitz als Generalbergkommissar in kursächsische Dienste, um zusammen mit Oberberghauptmann Friedrich Wilhelm von Opperl (1720–1769) den nach dem Siebenjährigen Krieg darniederliegenden Bergbau zu reorganisieren (Gründungsväter der Bergakademie)
- (13.06.) Jose Bonifacio d'Andrada e Silva geboren, Student 1792/94, Prof. für Metallurgie an der Universität Coimbra sowie Generalintendant des Bergbaus und der Metallurgie des Königreichs Portugal, 1822/23 Staatsminister in Brasilien

225 Jahre – 1788

- Kunstmeister Johann Friedrich Mende, Student 1767/69, beginnt den Bau des Churprinzer Bergwerkskanals mit einem Kahnhebehaus für den Erztransport von der Grube Churprinz bei Großschirma zur Hütte Halsbrücke
- (28.06.) Heinrich Gottlob Kühn geboren, Student 1804/09, Direktor der Porzellanmanufaktur Meißen, erfand 1827 die Glanzvergoldung

200 Jahre – 1813

- (21.03.) Carl Immanuel Löscher gestorben, Student 1775/80, Besitzer der Freiburger Ratsapotheke, Erfinder der Mammutpumpe
- (26.08.) Theodor Körner gestorben, Student 1808/10, bekannter Dichter, gefallen als Angehöriger des Lützowschen Freikorps
- (28.08.) Theodor Scheerer geboren, Student 1830/33, 1848–1873 Prof. für Chemie und ab 1856 auch für Eisenhüttenkunde

175 Jahre – 1838

- (29.01.) Siegmund August Wolfgang Freiherr von Herder gestorben, Student 1797/99, 1826–1838 Oberberghauptmann in Freiberg
- (05.04.) Alwin Edmund Anton Hartung geboren, Student 1855/58, Direktor der Eisenerzgruben der Königin-Marien-Hütte in Cainsdorf
- (14.06.) Georg Buderus geboren, Student 1858/60, Direktor der Buderusschen Eisenwerke, Lollar (Main-Weser-Hütte)
- (07.09.) Franz Fohr geboren, Student 1859/60, Hütteningenieur bzw. Direktor von Bleisilberhütten in den USA

- (03.11.) Carl Heinrich Schumann geboren, Student 1858/62, Bergdirektor im Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier
- (16.12.) Clemens Winkler geboren, Student 1857/59, 1873–1902 Prof. für Chemie und Chemische Technologie, 1875 Entwicklung des Schwefelsäure-Kontaktverfahrens bis zur Industriereife, 1886 Entdeckung des Germaniums, 1896/99 Direktor der Bergakademie

150 Jahre – 1863

- Entdeckung des Indiums durch Prof. Ferdinand Reich unter Mitwirkung von Prof. Hieronymus Theodor Richter
- (19.01.) Max Arno Däbritz, Student 1882/86, Bergdirektor des Erzgebirgischen Steinkohlenbauvereins in Zwickau, ab 1906 Leitung des Zwickau-Oberhohndorfer Steinkohlenbauvereins
- (11.02.) Paul Wolf geboren, 1929 Ehrendoktor der Bergakademie, Inhaber der Firma Friemann & Wolf GmbH in Zwickau
- (26.05.) Ferdinand Heberlein geboren, Student 1882/83, 1922 Ehrensensator der Bergakademie, Direktor der Metallbank und Metallurgischen Gesellschaft A.G., Frankfurt a.M.
- (08.09.) Oscar Bilharz jun. geboren, Student 1884/87, Bergingenieur Alaska, Kalifornien und Oklahoma, Mitglied American Mining Congress
- (14.11.) Karl Fertig geboren, Student 1883, 1927 Ehrendoktor der Bergakademie, Generaldirektor der Grube Leopold A.G. in Edderitz

125 Jahre – 1888

- (03.05.) Fritz Jacob geboren, Student 1907/12, Direktor der großen bedeutenden Silbererzgrube Colquechaca in Bolivien
- (20.05.) Wilhelm Buderus gestorben, Student 1865/67, Betriebsleiter der zum Familienunternehmen gehörigen Sophienhütte in Wetzlar
- (28.05.) Alfred Grumbrecht geboren, o. Prof. und Institutsdirektor Bergbau und Aufbereitung der Bergakademie Clausthal, 1941/42 Vertretung des Lehrstuhls und Instituts für Aufbereitung und Bergbaukunde an der Bergakademie
- (14.07.) Maximilian Freiherr von Schwarz geboren, 1938–1946 Prof. für Metallkunde und Materialprüfung
- (04.10.) Wolfgang Moritz Vogelgesang gestorben, Student 1843/47, Bergbeamter in Baden, bedeutender Erzlagerstättenkundler, Prof. und Direktor des Realgymnasiums in Mannheim

100 Jahre – 1913

- Gemäß Satzung der Bergakademie vom 30.01. 1913 können nun erstmals offiziell „Weibliche Personen als Hörer zugelassen werden“
- (08.07.) Karl Rick geboren, Student 1933/37, Bergingenieur im Erzbergbau in Indonesien, Ägypten, Serbien, Deutschland, Südafrika
- (11.07.) Alexander Zenzes verstorben, Student 1885/89, Hütteningenieur bei Krupp, Leiter einer Stahlgießerei in Chemnitz, Bau von Hüttenanlagen als selbstständiger Unternehmer, Entwicklung eines Verfahrens zur Klein-Bessemerie (Zenzes'scher Kleinkonverter)
- (18.07.) Werner Lange geboren, 1947–1950 Prof. für Metallhüttenkunde sowie 1962–1966 für Metallkunde und Materialprüfung, Direktor des Forschungsinstituts für NE-Metalle Freiberg, 1983 Ehrendoktor der Bergakademie
- (30.09.) Planmäßige Stilllegung des Freiburger Bergbaus
- (19.12.) Fritz Honigmann gestorben, Student 1865/66, Bergwerksdirektor in Westfalen, Erfinder eines nach ihm benannten Schachtbohrverfahrens

75 Jahre – 1938

- Versuchshalle für Brikettierung der Bergtechnischen Abteilung des Braunkohlenforschungsinstituts am heutigen Karl-Kegel-Bau fertig
- (07.01.) Frank Richter geboren, Student 1956/61, 1976/87 Prof. für Dialektischen und Historischen Materialismus, 1987/90 Prof. Philosophische Probleme der Natur- und Technikwissenschaften, 1983/89 Prorektor Gesellschaftswissenschaften
- (29.01.) Lauritz Dorenfeldt Jenssen gestorben, Student 1901/03, Bergingenieur in Erzgruben Norwegens, Gutachter für Bergbau
- (02.06.) Johann Carl Friedrich Bunge gestorben, Student 1888/92, 1927 Ehrendoktor der Bergakademie, Bergwerksdirektor Steinkohlengrube Limburg (Niederlande)
- (05.08.) Erwin Papperitz gestorben, 1892–1928 Prof. für Mathematik und darstellende Geometrie, 1901/03, 1905/07 und 1923/24 Rektor der Bergakademie
- (20.09.) Friedrich Möller gestorben, 1929 Ehrensensator der Bergakademie, Hüttdirektor im Stahlwerk Riesa
- (01.11.) Axel Wahlberg gestorben, 1930 Ehrendoktor der Bergakademie, Geschäftsführender Direktor des Jernkontoret Stockholm
- (14.12.) Gerhard Mathé geboren, Student 1956/61, Direktor des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie Dresden

50 Jahre – 1963

- Fertigstellung Gebäude Geophysikalische Institute (Gustav-Zeuner-Str. 12, 1979 Namensgebung Otto-Meißner-Bau)
- Neubau Institut für Metallkunde und Materialprüfung (Gustav-Zeuner-Str. 5) fertiggestellt
- (13.01.) Walter Ehrenreich Tröger gestorben, Student 1921/25, Prof. für Mineralogie an der TH Darmstadt und der Univ. Freiburg/Br.
- (31.05.) Wilhelm Schmid gestorben, 1951–1957 Prof. für Mathematik u. darstellende Geometrie
- (07.06.) Julius Hans Buchner gestorben, Oberbergamtsrat, 1924–1945 a.o. Prof. (ab 1940 Honorarprofessor) für Allgemeine Rechtskunde, Gewerbe- und Arbeitsrecht, ab 1934 Lehrgebiet Grundzüge des deutschen Rechts sowie ab 1935 Grundzüge des privaten und öffentlichen Rechts
- (07.06.) Günther Hollweg gestorben, 1956–1963 Prof. für Organisation und Planung des Bergbaubetriebs, 1961–1963 Rektor der Bergakademie
- (13.08.) Oscar W. Oelsner gestorben, Student 1921/27, 1952–1963 Prof. für Lagerstättenkunde, 1959–1961 Rektor der Bergakademie
- (23.11.) aus der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen werden die Fakultäten für Bergbau sowie für Hüttenwesen gebildet

25 Jahre – 1988

- (04.05.) Fertigstellung Tagebautechnikum
- (30.09.) Walter Schellhas gestorben, 1950–1967 erster hauptamtlicher Bibliotheksdirektor an der Bergakademie, viele historische Arbeiten zur Stadt- und Bergakademiegeschichte

20 Jahre – 1993

- (11.03.) offizielle Genehmigung der Namensänderung in Technische Universität Bergakademie Freiberg durch den Sächsischen Staatsminister für Wissenschaft und Kunst
- (05.05.) Gründungsprozess des neuen Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften abgeschlossen

■ Roland Volkmer, Norman Pohl

Zum 60. Geburtstag von Prof. Bernd Meyer, Rektor der TU Bergakademie Freiberg



Rektor Bernd Meyer (2.v.r.) bei der Einweihung der von Michael Fischer-Art (r.) gestalteten Bibliotheksfassade im Oktober 2012, l. Gottfried-Christoph Wild, ROMONTA GmbH, und Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm

Der Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Prof. Bernd Meyer, beging am 29. April seinen 60. Geburtstag. Er wurde in Annaberg in Sachsen geboren, studierte von 1970 bis 1973 an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg sowie an der TU Bergakademie Freiberg Verfahrenstechnik. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Untersuchungen im Rahmen seiner am Freiburger Institut für Brennstofftechnik angefertigten Dissertation im Jahr 1978 arbeitete er am Brennstoffinstitut im Bereich Forschung und Entwicklung von Brennstofftechnologien. Ab 1989 war er leitender Wissenschaftler bei der Rheinbraun AG in Köln. Der Ruf auf die Professur für Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung führte ihn 1994 zurück an die TU Bergakademie Freiberg. Ein Glücksgriff für Universität und Stadt!

Mit der Berufung zum Hochschullehrer wurde Prof. Meyer 1994 auch Direktor des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC). Zu dieser Zeit gehörten zum Institut – angesiedelt auf der Reichen Zeche – die beiden Lehrstühle Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung sowie Reaktionstechnik mit insgesamt 30 Mitarbeitern, davon zwei Doktoranden. Unter der Leitung von Prof. Meyer entwickelte sich das IEC rasant. Der 75-jährigen Tradition folgend, legte er von Anfang an großen Wert auf eine praxisorientierte Lehre und anwen-

dungsnaher Forschung. Mit großer Energie und Ausdauer schaffte er es, das IEC in der Wissenschafts- und Technologiewelt der Brennstoffe so weit nach vorn zu bringen, dass die hier erzielten Leistungen nicht nur in Deutschland Aufsehen erregten. Sein Lieblingsarbeitsgebiet ist die Kohle-Vergasungstechnik, praktiziert in einer solchen Prozesskette, die eine vielfältige Nutzung der Produkte ermöglicht. Auf diesem Gebiet gibt es weltweit wohl nur noch wenige Fachleute mit einer vergleichbar hohen Expertise.

Auf Initiative und durch das engagierte Wirken von Prof. Bernd Meyer sind deutschlandweit einmalige Projekte auf dem Gebiet der Energieforschung in Freiberg realisiert worden. Die seinem Wirken eigene Dynamik wird schon durch eine kleine Begebenheit symbolisiert: Zu einem der jährlichen Volleyball-Turniere auf der Reiche Zeche brachte einer seiner Doktoranden selbstgebrautes Bier mit. Prof. Meyer hatte die Idee, ein studentisches Praktikum zum Bierbrauen, das heißt, zur Verfahrenstechnik für die Produktion von „reinem Stoff“ – natürlich nur zu Ausbildungszwecken – aufzubauen. Gleich am nächsten Tag rief er den Chef der Freiburger Brauerei, Prof. Hans Michael EBlinger, an, um dessen Meinung zu diesem Gedanken zu hören. Der war von der Idee begeistert. Kurzfristig wurde der Praktikumsstand zum Bierbrauen mit Unterstützung der Brauerei und der Stadt Freiberg am IEC Realität. Die Praktikumsversuche erfreuen sich

bis heute großer Beliebtheit unter den Studenten.

Eindrucksvolle Belege für seine Erfolge bei der Akquirierung von Forschungsprojekten sind die von Bund, Land und Industrie geförderten und am IEC realisierten Vorhaben zur Spaltung von Kohlenwasserstoffen für die Technologieentwicklung zur Erzeugung von Synthesegas. Dafür wurde am Institut eine weltweit einmalige Hochdruckversuchsanlage errichtet. Sie wurde durch eine Syntheseanlage ergänzt, mit der im Pilotmaßstab hochoktaniges Benzin aus dem Synthesegas hergestellt werden kann – und der Bau von technischen Anlagen geht weiter: Gegenwärtig wird eine Schlackebad-Vergasungsanlage für Kohle errichtet (thermische Leistung 10.000 Kilowatt).

Gegen den viele Jahre währenden Trend zur Abkehr von der Nutzung der Kohle in Deutschland hat Prof. Bernd Meyer mit Mut und Ausdauer an diesem Forschungsgebiet, dessen internationale Bedeutung zunimmt, festgehalten. Heute ist Freiberg eine der ersten Adressen bei der Kohlenforschung. Dabei geht es nicht um die direkte Verbrennung der Kohle, sondern um deren optimale Nutzung als Rohstoff für mehrere Bereiche der chemischen Industrie, unter anderem zur Kraftstoff- und Düngemittelherstellung.

Über diese Forschungsthemen hinaus hat Prof. Meyer fakultätsübergreifende integrative Forschungsvorhaben und -institutionen aus der Taufe gehoben. Auf seine Initiative hin sind das international ausgerichtete Zentrum für Innovationskompetenz Virtuhcon (Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse) und das Deutsche Zentrum für Energierohstoffe (DER) unter Beteiligung mehrerer Universitätsinstitute an der TU Bergakademie gegründet worden; sein Lehrstuhl ist dabei federführend. In diese Reihe ordnet sich auch das Forschungsvorhaben Innovative Braunkohlenintegration in Mitteldeutschland (ibi) ein. Ausgangspunkt für diese Aktivitäten war das von ihm 2005 formierte Exzellenzzentrum Energie an der TU Bergakademie Freiberg, durch das die Kompetenzen im Bereich Energie gebündelt werden konnten. Im gleichen Jahr führte er sächsische Unternehmen und Forschungseinrichtungen zum Deutschen Zentrum für Vergasungstechnik zusammen, aus dem sich in der Zwischenzeit ein deutschlandweites Energierohstoffnetzwerk als Informationsplattform entwickelt hat. Ein weite-

rer Meilenstein bei der Entwicklung des Feldes Energie im Profil der TU Bergakademie Freiberg war die von Prof. Meyer initiierte Neugründung des Deutschen Brennstoffinstituts an der Bergakademie (DBI Bergakademie). Die Vorgängereinrichtung hatte zu DDR-Zeiten einen hervorragenden Ruf als Entwicklungsstätte für Kohleverarbeitungstechnologien. In diesem Sinn werden die Forschungsarbeiten nunmehr im Verbund zahlreicher Professuren, die sich mit dem Themenkreis Energiewandlung beschäftigen, weiterführt.

Heute sind am IEC ca. 130 Mitarbeiter beschäftigt, von denen zwei Drittel zur Professur von Prof. Meyer gehören. Ein Großteil sind Doktoranden. Damit ist das IEC eines der leistungsfähigsten Hochschulinstitute auf dem Gebiet der Energieforschung und -lehre in Deutschland. Minister auf Landes- und Bundesebene sind häufig begrüßte Gäste auf der Reichen Zeche. Bei einer solchen Gelegenheit ließ es sich Prof. Bernd Meyer z. B. nicht nehmen, mit der Bundesforschungsministerin Annette Schavan eine Runde mit dem Segway auf dem Institutsgelände zu absolvieren.

Auch die internationale Fachwelt zieht es nach Freiberg bzw. zu den vom IEC organisierten Veranstaltungen. Seit 2005 werden hier erfolgreich Konferenzen und Schulungen in englischer Sprache angeboten, die – initiiert von Prof. Meyer – von seinen Mitarbeitern durchgeführt werden.

Um die integrale Verflechtung der Forschung und Lehre an der TU Bergakademie Freiberg zu intensivieren und noch effektiver international zu etablieren, lud Prof. Meyer gemeinsam mit Partnern der russischen Bergbauuniversität St. Petersburg am 11. Juni 2012 zum Weltforum der Ressourcenuniversitäten für Nachhaltigkeit nach Freiberg ein. Als Forum der Verfechter eines neuen Rohstoffbewusstseins rückte diese Veranstaltung Fragen der Nachhaltigkeit bei der Aus- und Weiterbildung von Fach- und Führungskräften im Rohstoffbereich in den Fokus.

Prof. Bernd Meyer ist Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, des Beratungsgremiums für kohlendioxidarme fossile Energietechnologien des Bundeswirtschaftsministeriums COORETEC und des Energiebeirats des Sächsischen Wirtschaftsministers. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder.

■ Die Redaktion

Der Oberbürgermeister der Universitätsstadt Freiberg gratuliert dem Rektor der Bergakademie

Sehr geehrter Prof. Meyer, lieber Bernd, ein symbolischer Sprung über das Arschleder ist nicht genug, um Deinen Leistungen bei der Entwicklung unserer Bergakademie und damit Deinem Engagement für die Stadt Freiberg zu entsprechen. Deshalb gratuliere ich auch hier, denn Freiberg trägt die Bergakademie nicht nur im Silbernen Herzen, sondern seit 15 Jahren offiziell und stolz im Namen: Universitätsstadt Freiberg. Das Gestern ist Geschichte, das Morgen ist noch ein Geheimnis, aber das Heute ist ein Geschenk – unser gemeinsames Geschenk zu Deinem 60. Geburtstag, denn „heute“ entsprechen die Beziehungen zwischen der Bergakademie und ihrem Domizil Freiberg dem Sinn des Namens Universitätsstadt.

Zu runden Geburtstagen gehört natürlich auch, dass man Rückschau hält. Deine Bilanz ist beeindruckend, wie die vorstehenden Ausführungen belegen. „Bernd-Meyer-Aktien“ stünden unabhängig von Finanz- und Wirtschaftskrisen hoch im Kurs, wenn Du 1994 in Freiberg mit Wiedereintritt in die Bergakademie solche herausgegeben hättest!

Aber ich erlaube mir hier auch eine Zwischenbilanz unserer gemeinsamen Amtszeit seit 2008. Schließlich verbindet uns mehr als das Amt. Beide heißen wir mit Vornamen Bernd, sind zwar nicht in Freiberg geboren, sind dennoch Repräsentanten dieser Stadt sowie Botschafter des Erzgebirges und haben schließlich beide zur gleichen Zeit an der Bergakademie studiert. Bei mir ist für die Wissenschaft nur nicht so viel herausgekommen, obwohl wir gleichzeitig im Lesesaal gesessen haben. Bezogen auf die Zahl Deiner wissenschaftlichen Veröffentlichungen, kann ich höchstens mit meinen Reden als Oberbürgermeister konkurrieren.

Dabei musste ich im Oktober 2008 kurz nach Beginn meiner und vor Beginn Deiner Amtszeit in einem Beitrag zum Freiberg-Kolloquium noch feststellen, dass von gegenseitiger Befruchtung in den Beziehungen der Stadt Freiberg und der TU Bergakademie eigentlich nicht die Rede sein kann; dass die Rohstoffwirtschaft in der Außendarstellung der Stadt Freiberg nur einen marginalen Stellenwert hat und dass unsere Technische Universität zwar Bergakademie heißt, aber das traditionelle Potenzial Rohstoffwirtschaft so gut wie kaum noch genutzt wird. Im folgenden



MDR/Martin Jehnichen

Wolf-Dieter Jacobi neues Mitglied des Freiburger Hochschulrats

Der Fernsehdirektor des Mitteldeutschen Rundfunks (MDR), Wolf-Dieter Jacobi, wurde am Mittwoch, dem 8. Februar, in den Hochschulrat der TU Bergakademie Freiberg aufgenommen. Er ersetzt das ehemalige Mitglied Wolfgang Vietze, der aus dem Gremium ausscheidet, und übernimmt nun die ehrenamtliche Aufgabe im Freiburger Hochschulrat. Jacobi ist seit Oktober 2011 Fernsehdirektor des MDR und arbeitet bereits seit 1992 in der Fernsehredaktion dieser öffentlichen Rundfunkanstalt.

Jahr stand das Freiburger Forschungsforum BHT bereits unter der Überschrift „Ressourcen für die Zukunft“. Universität und Stadt haben inzwischen die Voraussetzungen für das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie geschaffen und unsere Bergakademie hat inhaltlich als Ressourcenuniversität in der sonst sehr austauschbaren Hochschul- und Universitätslandschaft Europas wieder Zukunft, wenn wir jetzt in „Freiberg-Art“ noch den Investitionsstau in der Immobilienlandschaft der Bergakademie lösen.

Bei der Gestaltung des Jubiläums „850 Jahre Freiberg“ war die Universität ganz selbstverständlich fest eingebunden, als es darum ging, unser „Herz aus Silber“ zu präsentieren. Nun gilt es, auf dem Weg zum Jubiläum „250 Jahre Bergakademie Freiberg“ den täglichen Herausforderungen vor allem nachhaltig gerecht zu werden. Da ist es doch gut, wenn die Universität eine ganze Stadt hat! Alle guten Wünsche für die gemeinsame Amtszeit.

Glück auf
Bernd-Erwin Schramm

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder – Herzliche Glückwünsche und Glückauf!

60. Geburtstag

- Dipl.-Ing. (FH) Bernig, Joachim, Erfurt
- Dipl.-Ing. (FH) Büttner, Peter, Dresden
- Prof. Dr. Enke, Margit, Leipzig
- Prof. Dr. Grosse, Diana, Dresden
- Dipl.-Geol. Hunstock, Frank, Habichtswald
- Prof. Dr.-Ing. Kawalla, Rudolf, Bobritzsch
- Dipl.-Ing. Klingner, Bernd, Heidersdorf
- Prof. Dr.-Ing. habil. Lehmann, Gunter, Brand-Erbisdorf
- Dipl.-Ing. Mehner, Jonny, Berlin
- Dr.-Ing. Meyer, Bernd, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Pöschmann, Ulrich, Freiberg
- Dipl.-Geol. Rank, Karin, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Rauh, Reinhard, Dresden
- Dr.-Ing. Rensch, Uta, Freiberg
- Dr. sc. oec. Rieß, Christian, Neuruppin
- Dr. rer. nat. Weiß, Berthold, Suhl

65. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. pol. habil. Brezinski, Horst, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Falk, Lutz-Dietmar, Berlin
- Dipl.-Ing. Fahr, Walter, Riesa
- Dr.-Ing. Friederici, Carmen, Freiberg
- Dipl.-Ing. Höppner, Arnim, Weißwasser
- Dr. sc. phil. Jentsch, Frieder, Chemnitz
- Dipl.-Ing. König, Gerhard, Hundeshagen
- Dipl.-Ing. oec. Moser, Hans-Christoph, Freiberg
- Dipl.-Ing. Stauch, Thomas, Leipzig
- Dr. rer. nat. Tzscharschuch, Dietmar, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wehner, Klaus-Eckart, Alpen

70. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Bast, Jürgen, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Bohmhammel, Klaus, Freiberg
- Dr. rer. nat. Czolbe, Peter, Freiberg
- Dr.-Ing. Flade, Tilo, Freiberg
- Dr. Heinze, Frank, Königs-Wusterhausen
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Freiesleben, Hartwig, Dresden
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Freyer, Bernd, Gera
- Dipl.-Ing. Hammer, Gerd, Magdeburg
- Dipl.-Ing. Klose, Dieter, Nordhausen
- Prof. Dr.-Ing. Köckritz, Volker, Freiberg
- Dr. rer. nat. Kunert, Hannes, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Lodl, Wilhelm, Freiberg
- Dr.-Ing. Löscher, Bernd, Halsbrücke
- Dr. habil. Neuhofer, Richard, Petersberg
- Dipl.-Ing. Nitzsche, Wolfgang, Heidenau
- Herr Oehme, Rolf, Freiberg
- Dipl.-Chem. Preißler, Bernd, Cavertitz
- Herr Seerig, Dieter, Chemnitz
- Schneider, Eberhard, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Schneider, Wolf-Dieter, Essen
- Dipl.-Ing. Scholz, Eberhard, Staßfurt
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schüler, Wolfgang, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Tittel, Peter, Berlin
- Prof. i.R. Walter, Gerd, Dresden

75. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Albrecht, Fritz, Leipzig

- Dipl.-Ing. Böbler, Günter, Freiberg
- Dr.-Ing. Daenecke, Rudolf, Bad Schlema
- Dr.-Ing. Denke, Christoph, Brand-Erbisdorf
- Dr.-Ing. Dombrowe, Helfried, Freiberg
- Prof. Dr. Döring, Karl, Eisenhüttenstadt
- Dr.-Ing. Dressel, Siegfried, Wilkau-Haßlau
- Dipl.-Ing. Dunger, Egon, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Eger, Wolfgang, Langenfeld/Rheinland
- Prof. Dr.-Ing. habil. Franke, Berndt, Bobritzsch
- Dipl.-Ing. Franke, Hartmut, Bobritzsch
- Prof. Dr.-Ing. Gatzweiler, Rimbart, Saarbrücken
- Dr.-Ing. Grosser, Wolfgang, Dresden
- Hachenberger, Johannes, Hannover
- Dr. Hein, Stefan, Freiberg
- Dipl.-Ing. Jung, Wolfgang, Lauchhammer-Ost
- Dr.-Ing. Lawrenz, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Liersch, Wolfgang, Cottbus
- Dr.-Ing. habil. Lietzmann, Klaus-Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Nauke, Herbert, Magdeburg
- Frau Roth, Gerlinde, Leipzig
- Dr.-Ing. Rudolph, Kurt, Zwickau
- Dr. Rütger, Gert, Freiberg
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Seidelmann, Peter, Freiberg
- Dr. rer. oec. Stürzebecher, Klaus, Freiberg
- Dr.-Ing. Schlauderer, Henry, Dippoldiswalde
- Dipl.-Geologe Schmitz, Wolfgang, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Teubner, Werner, Merseburg
- Dr.-Ing. Wieschebrink, Günter, Markranstädt
- Dr. rer. nat. Zänker, Günter, Wolmirstedt

80. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Diefenbach, Jutta, Dortmund
- Doz. Dr.-Ing. habil. Förster, Siegfried, Freiberg
- Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Hofmann, Joachim, Großschirma
- Dipl.-Ing. Hohoff, Wilhelm, Lingen (Ems)
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Höffl, Karl, Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Lehnert, Wolfgang, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lenz, Louis, Wittenberg
- Dr. oec. Mitzinger, Wolfgang, Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. Raub, Christoph J., Schwäbisch Gmünd
- Prof. Dr.-Ing. habil. Straßburger, Christian, Dinslaken
- Dipl.-Ing. Schölzel, Helmut, Muldestausee
- Dipl.-Ing. Triebel, Karl, Vellmar
- Prof. Dr. rer. nat. Wolf, Monika, Krefeld
- Markscheider Dr.-Ing. Wordelmann, Heinz, Leipzig

81. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Brand, Paul, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Brandt, Horst, Leipzig
- Dipl.-Ing. Dening, Wilhelm, Buxtehude
- Dr.-Ing. Eidner, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Göhler, Peter, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hensel, Arno, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Herrmann, Helmut, Paunzhausen
- Prof. em. Dr. Klose, Erhard, Freiberg
- Dipl.-Berging. Mertens, Volkmar, Essen-Steele
- Dr.-Ing. Pforr, Herbert, Freiberg
- Dr.-Ing. Träger, Heiner, Büdingen

82. Geburtstag

- Dr.-Ing. Breitbarth, Hans-Jürgen, Dresden
- Prof. i. R. Dr. Franek, Heinzjoachim, Dresden
- Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
- Dr.-Ing. Kraft, Heinz, Bad Reichenhall
- Dipl.-Ing. Meinig, Klaus, Dresden
- Dr.-Ing. habil. Mohry, Herbert, Leipzig
- Prof. Dr. Dr. Müller, Georg, Clausthal-Zellerfeld
- Prof. Dr.-Ing. habil. Steinmetz, Richard, Cottbus
- Markscheider Dr.-Ing. Schulze, Günter, Bad Liebenwerda
- Prof. Dr. sc. techn. Uhlig, Dieter, Altenberg
- Prof. i. R. Dipl.-Geol. Voigt, Günter, Cottbus
- Herr von Oppel, Christian, Saarlouis
- Dipl.-Berging. Weidel, Hans, Aschersleben
- Dr.-Ing. Wilde, Eberhard, Hennigsdorf
- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

83. Geburtstag

- Dr. phil. Dr.-Ing. E. h. Freiesleben, Werner, Pullach
- Dr. rer. nat. Heeg, Klaus, Ravensburg
- 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
- Dipl.-Ing. Schulz, Lothar, Gotha
- Prof. em. Dr. rer. oec. Unger, Lothar, Dresden

84. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof
- Markscheider Dr.-Ing. Bognitz, Horst, Halle/Saale
- Dipl.-Ing. (FH) GünBler, Peter, Kempen
- Dipl.-Ing. Hirsch, Wolfram, Erkrath
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
- 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

85. Geburtstag

- Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxembourg
- Dr. Ing. E. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Dipl.-Ing. Stolpe, Egon Emanuel, Nürnberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin
- Prof. Dr. sc. techn. Schmidt, Reinhardt, Weimar
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagenbreth, Otfried, Freiberg

86. Geburtstag

- 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

87. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
- Dr.-Ing. Boltz, Gerhard, Lutherstadt Eisleben

- Markscheider Dipl.-Ing. Hartnick, Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Reimann, Dieter, Kronberg 2
- Oberingenieur Unland, Johann, Dresden
- Prof. Dr. habil. Wünsche, Manfred, Freiberg

88. Geburtstag

- Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Aachen

89. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erftstadt-Bliesheim
- Dipl.-Ing. Katzmann, Otto, Nordhausen
- Prof. em. Dr. phil. habil. Uhlmann, Harro, Freiberg

91. Geburtstag

- Dr.-Ing. Baunack, Fritz, Bad Hersfeld

92. Geburtstag

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

95. Geburtstag

- Prof. em. Dr.-Ing. Neumann, Alfred, Schöneiche b. Berlin

Geburtstagsjubiläen begehen nach dem 30. November 2012:

60. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Beckert, Siegmund, Brandenburg

65. Geburtstag

- Dipl.-Geol. Forker, Armin, Magdeburg
- Dipl.-Ing. ök. Wiegandt, Rainer, Eberswalde

70. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Husemann, Klaus, Freiberg
- Ministerialrat Rahtgens, Albrecht, Diera-Zehren
- Frau Ulbricht, Trude, Freiberg

75. Geburtstag

- Dr.-Ing. Fröhling, Ernst-Peter, Kerpen

80. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Krausch, Siegmund, Leipzig
- Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin

81. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera
- Dipl.-Geologe Waltemate, Günther, Eichwalde

82. Geburtstag

- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Besser, Dietmar, Dresden

83. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Dipl.-Geophysiker Hiersemann, Lothar, Leipzig
- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig

86. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Krug, Günther, Lutherstadt Eisleben

87. Geburtstag

- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Köln

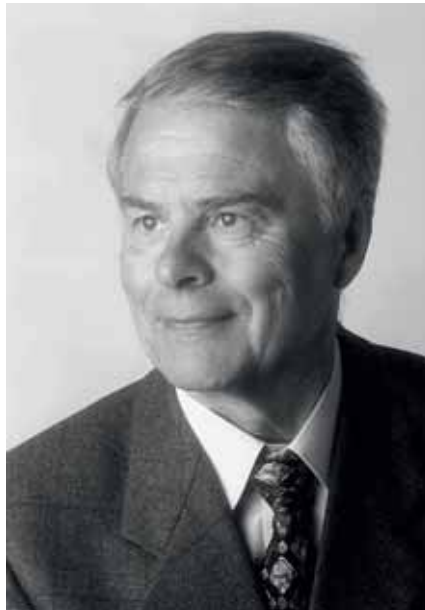
91. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Gärtner, Jürgen, Radebeul

*Der Verein wünscht
allen Lesern seiner Zeitschrift
ein frohes Weihnachtsfest und
ein gesundes Neues Jahr 2013!*

Prof. Dieter Janke 76-jährig verstorben

Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Janke, der ehemalige Direktor des Instituts für Eisen- und Stahltechnologie an der TU Bergakademie Freiberg, verstarb am 22. August 2012 im Alter von 76 Jahren. Wir trauern um einen hochgeachteten und verdienstvollen Wissenschaftler, der Lehre und Forschung auf den Gebieten der Metallurgie der Eisen- und Stahlerzeugung, der Metallurgischen Prozesstechnik sowie der Thermodynamik und Kinetik stark geprägt hat. Die Ergebnisse seiner Arbeiten sind in mehr als 300 Veröffentlichungen sowie in mehreren Fachbüchern dokumentiert und fanden breite Anerkennung.



Prof. Janke nahm 1992 den Ruf auf den Lehrstuhl Theorie metallurgischer Prozesse/Eisen- und Stahlerzeugung an der TU Bergakademie Freiberg an. Bereits ein Jahr später übernahm er die Leitung des Instituts für Eisen- und Stahltechnologie und hatte diese bis 2001 inne. Als Direktor des Instituts sorgte er für dessen Neuorientierung und Profilierung in Lehre und Forschung. Unter seiner Leitung wurden die Technikumsgebäude Lauchhammer-Halle und Metallurgische Halle saniert und die dortige Geräteausstattung weitgehend erneuert.

Dieter Janke wurde in Reichenbach/Eulengebirge im heute polnischen Niederschlesien geboren. Nach Ablegen der Reifeprüfung am Robert-Koch-Gymnasium in Clausthal studierte er an der dortigen Bergakademie Eisenhüttenkunde und schloss seine Ausbildung 1966 mit einer Promotion über „Elektrochemische Untersuchungen im System Eisen-Sauerstoff-Phosphor-Kalk“ ab. Er setzte seine wissenschaftliche Tätigkeit am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf fort, wo er 1980 die Leitung der Arbeitsgruppe Metallurgische Verfahrenstechnik übernahm. 1977 folgte die Habilitation mit der Venia Legendi für das Lehrgebiet Allgemeine Metallurgie und 1983 die Ernennung zum außerplanmäßigen Professor an der Technische Universität Clausthal. Der Schwerpunkt seiner Forschungstätigkeit lag auf dem Gebiet der elektrochemischen Mess- und Sensortechnik für metallurgische Prozesse. Sein besonderes Interesse an der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist durch die Betreuung zahlreicher Diplomarbeiten und Dissertationen belegt. Sein markanter Anteil an der Entwicklung der metallurgischen Forschung wird durch zahlreiche Veröffentlichungen und Vorträge sowie durch seine Autorschaft an mehreren Fachbüchern ausgewiesen. Einladungen führten ihn vielfach zu Kongressen und Tagungen in die USA, nach Kanada, Japan, China, Indien und in diverse europäische Länder. Ein ständiges Anliegen war Prof. Janke der Aufbau von Kooperationsbeziehungen – insbesondere zu östlichen Hochschulen, u. a. in Peking, Moskau und Dnepropetrovsk. Für seine Verdienste wurden ihm die Ehrendoktorwürde durch die Nationale Metallurgische Akademie der Ukraine (1999) und der Titel Prof. ehrenhalber durch die Technologische Universität MISIS, Moskau (2002), verliehen.

Prof. Janke war seit 1960 Mitglied des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute/Stahlinstitut. Er hat die Arbeit in Gremien – insbesondere im Ausschuss für metallurgische Grundlagen sowie im Editorial Board der Zeitschrift „Steel Research“ – aktiv gestaltet. Dazu gehören auch die Organisation von Kontaktstudien, von internationalen VDEh-Seminaren, Hauptvorträge an den Düsseldorfer Eisenhütten tagen sowie seine Arbeit bei der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl in Brüssel.

Die Gründungen des An-Instituts SZF Stahlzentrum Freiberg e. V. (1997) und des Vereins Eisen- und Stahltechnologie e. V. sowie die Auslobung eines Eduard-Maurer-Preises für herausragende Promotions- und Diplomarbeiten sind ebenfalls durch seine Initiative auf den Weg gebracht worden. Im Jahr 2001 wurde sein verdienstvolles Lebenswerk in einer wissenschaftlichen Biographie „Metallurgie in Lehre und Forschung“ eingehend gewürdigt. ■ Die Redaktion

Prof. Dr. sc. nat. Hans Hofmann (31. Mai 1930 – 21. Juli 2012)

Am 21. Juli 2012 verstarb im 83. Lebensjahr Prof. Dr. sc. nat. Hans Hofmann an seinem letzten Wohnsitz in Halle. Er war von 1968 bis 1990 Inhaber der ordentlichen Professur Technische Chemie (Anorganische Verfahrenstechnik). Nach Chemiestudium und Promotion an der Universität Halle war er 1957 bis 1968 in verantwortungsvollen Positionen in der chemischen Industrie tätig. Der 1968 eingerichtete Lehrstuhl verlangte zunächst eine Profilierung der Lehre. So kreierte er in sehr kurzer Zeit ein anorganisch-technisches Praktikum, das über die Grenzen der Universität hinaus große Anerkennung fand. In seiner Forschungsarbeit standen anfangs Aktivitäten auf dem Gebiet Technische Elektrochemie (dimensionsstabile Anoden) im Mittelpunkt, denen in der zweiten Hälfte seiner Amtszeit Entwicklungen von Veredlungstechnologien auf anorganisch-chemischer Basis folgten. Prof. Hofmann war von 1970 bis 1974 Direktor der Sektion Chemie. Unter dem Dach der Chemischen Gesellschaft der DDR war er Vorsitzender der Arbeitsgruppe Anorganisch-technische Chemie. 1980 wurde er zum Dr. sc. nat. promoviert. 1990 musste er sich aus gesundheitlichen Gründen emeritieren lassen. Es folgte aber noch bis 1995 eine fünfjährige Schaffenszeit am Institut für Technische Chemie.

■ Klaus Bohmhammel

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

Dr.-Ing. oec. Rolf Gräbner, Chemnitz
* 26. Dezember 1935, † 27. Februar 2012

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dieter Janke, Dresden
* 12. März 1936, † 22. August 2012

Dipl.-Ing. Siegmund Krausch, Leipzig
* 7. Dezember 1932, † 28. Mai 2012

Dipl.-Ing. Martin Krug, Bedburg
* 7. Juni 1929, † 6. Mai 2012

Dipl.-Geol. Wolf-Dietrich Oehme, Freiberg
* 9. Mai 1934, † 8. August 2012

Dipl.-Ing. Jürgen Pirschel, Berlin
* 15. Januar 1941, † 30. Oktober 2012

Hans Schnitzler, Spremberg
* 25. März 1940, † 28. Januar 2012

Herbert Pffor: Freiberg – Stadt auf silbernem Boden

Mit diesem neuen Buch hat Dr. Herbert Pffor sowohl den Mitgliedern des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg als auch der Stadt Freiberg anlässlich des 850-jährigen Jubiläums der Besiedlung der Region ein wunderschönes Präsent übergeben.

Zur Person: Pffor studierte an der Bergakademie Freiberg Bergbau. Die sich anschließenden Arbeiten auf dem Gebiet Geotechnik und Bergbau prägten den Beginn seines wissenschaftlichen Werdegangs. An der Bergakademie promovierte er mit einem Thema zur Gebirgsschlaggefahrlichkeit von Salzgesteinen des Kalibergbaus. Große Verdienste erwarb sich H. Pffor anschließend als langjähriger Direktor des Bergwerks Himmelfahrt Fundgrube, das unter seiner Leitung zum Lehr-, Forschungs- und Besucherbergwerk avancierte. In dieser Zeit akkumulierte Dr. Pffor einen großen Fundus an Erkenntnissen zur Entwicklung des Freiburger Silberbergbaus, zur Entstehung zahlreicher Schachtanlagen, zur Bergbauentwässerung, zur Versorgung der Schächte mit Aufschlagwasser sowie zu Förderanlagen. Hauptanliegen dieses Buches ist freilich die mit dem Bergbau verknüpfte Entwicklung der Stadt, die nunmehr über 850 Jahre eine

außerordentliche Vielzahl von geschichtlichen Zeugnissen hinterlassen hat. Diesbezüglich kommt Dr. Pffor zugute, dass er mittlerweile über viele Jahre als Stadtführer tätig ist und in dieser Rolle zahlreichen Besuchern die Historie der Stadt nahebringt. Einige Beispiele:

- die Rolle des Klosters Altzella,
- erster Silberfund
- Gründung der Stadt durch Otto den Reichen
- Gründung mehrerer Klöster
- Freiburger Münze
- Bau von fünf Kirchen
- Gründung des Oberbergamts
- Gründung der Bergakademie

Im Zusammenhang mit dem Kirchenbau wird vor allem auf den Dom (Marienkirche) aufmerksam gemacht. Besondere Bedeutung verdienen die Grablage der Wettiner (Moritzmonument), die Tulpenkanzel, die Bergmannskanzel, zwei Silbermannorgeln, die Goldene Pforte, aber auch die Hilliger-Glocken mit beeindruckendem Geläut.

Die reiche Stadt der Wettiner musste aber auch ihrer Wehrhaftigkeit große Aufmerksamkeit widmen. Auch heute sind diese Anlagen noch beeindruckend: die Stadtmauer, die Wehrtürme, der Wallgraben und das Schloss Freudenstein.

Besonders bemerkenswert ist auch der Abschnitt „Historische Häuser und berühmte Bewohner“. Die oft von Berg-

beamten bewohnten Häuser der Spätgotik und der Renaissance besitzen zum Teil faszinierende Fassaden, Portale, bergmännische Skulpturen und Accessoires des bergmännischen Brauchtums: u. a. das Herderhaus, das Schönlebehaus, der Ratskeller und das Rathaus. Auch das Friedeburger Herrenhaus der Familie Pabst von Ohain ist hier einzuordnen. Mit mehr als 320 Bauwerken aus der Zeit zwischen 1484 und 1700 hat Freiberg seine meisten architektonischen Zeugnisse aus den Epochen Spätgotik und Renaissance. Auf all diese Details macht Herbert Pffor seine Leser aufmerksam.

Ihm sind fantastische fotografische Schnapshots gelungen, die neugierig machen. Dem SUTTON-Verlag in Erfurt ist es in Zusammenarbeit mit Dr. Pffor geglückt, ein regelrechtes Nachschlagewerk zu Freiberg zusammenzustellen. Dieses Buch lebt von der exzellenten Detailwiedergabe. Ich möchte die Leser auffordern, anhand des Buches einen ausgiebigen Ausflug durch Freiberg zu unternehmen. Sicher würden Sie, liebe Leser, noch manche Überraschung entdecken. Als leidenschaftlicher Freiburger wünsche ich mir, dass dieses Buch in Schulen, Bibliotheken und Archiven zur Verfügung steht, denn – Hand aufs Herz – wir alle lieben doch diese Stadt. Mit herzlichem Glück auf!

■ Friedhelm Heinrich

Rendezvous mit Freiberg

Joachim Links Foto-Text-Buch ist eine Liebeserklärung an seine Heimatstadt

„Vertraute Silhouette“ nennt Joachim Link ein Gedicht in seinem neuen Bild-Textband „Stadt am freien Berge“ – Rendezvous mit Freiberg in Sachsen. Ein stimmungsvolles Foto zeigt den Blick von der Reichen Zeche auf die Konturen der im Novembernebel liegende Stadt. So wie in diesem Gedicht gelingt es ihm, in seinen Texten den Lesern seine Gedanken und Gefühle nahe zu bringen. Es ist ein bestimmtes Foto, der Augenblick, ein Ereignis oder ein ganz persönliches Erlebnis, was ihn bewegt, darauf einen Reim zu machen. Ob das Konzert in der Nikolaikirche, das Bachfest, die Eröffnung von Schloss Freudenstein oder die Bergparade: Immer ist seine Sicht ganz eigen, emotional und unverwechselbar. Besonders angetan haben es dem ehemaligen Bergmann natürlich die reichen Traditionen in Freiberg. So schreibt er über den Klumpen Erz, mit dem die Geschichte vor Ort begann, über die Beschert Glück Fundgrube, das Arschleder oder die historische Grubenlampe. Oft würzt er seine Gedichte mit Fakten, sodass sie gleichermaßen bildend und unterhaltend sind. Beispiele dafür sind jene über die Münzstätten in Freiberg, die Altväterbrücke oder über den alten Häuersteig. Insgesamt präsentiert Joachim Link auf 140 Buchseiten 84 Texte, zum größten Teil Gedichte. Dazu hat er in seinem nunmehr zweiten Band über Freiberg Arbeiten aus seinem Schaffen der Jahre

1996 bis 2011 ausgewählt. Neben markanten Bauwerken wie Dom, Museum, Petrikerche oder Stadttheater erinnert er auch an berühmte Persönlichkeiten und prominente Besucher der Stadt. In zwei Gedichten verweist er nachdrücklich auf die Verantwortung der heutigen Ratsherren und ihre Verpflichtung, die Stadt zum Wohl der Bürger gut zu verwalten. Und damit spannt er nicht nur den Bogen ins Heute, sondern schärft vor allem den Blick des Lesers auf mannigfaltige Details, die man vielleicht nur auf den zweiten Blick entdeckt, wenn man heute mit wachen Augen durch die Straßen und Gassen spaziert. Dass schließlich auch der Humor nicht zu kurz kommt, beweist er mit Texten zur alten Sonnenuhr, zu Freiburger Fenstern oder dem Wetterhahn.

Als ehemaliger Student der Bergakademie erinnert er an seinen alten Hörsaal und zeigt den Fortschritt in der Forschung auf. Sein Buch widmet Joachim Link auch seinem Hochschullehrer Prof. Werner Arnold. Dank der finanziellen Unterstützung der Stifterin Erika Krüger und des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie konnte er sein Buch im November 2011 veröffentlichen.

Wer neugierig auf ein Rendezvous mit Freiberg ist, kann das Buch unter ISBN 978-3-929744-64-4 bestellen. Der Autor hat außerdem einen ansprechenden Kalender „Freiberger Bilder“ für 2013 herausgegeben. Zu den großformatigen Fotos gibt es auf der Rückseite ausführliche Texte.

■ Christel-Maria Höppner

- Dr. rer. nat. Barbara Abendroth, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Roland Achtziger, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. phil. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Heni Ben Amor, Ransbach
- Dipl.-Berufspäd. Aline Bergert, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Hartmut Bombach, TU Bergakademie Freiberg
- Lisa Brückner, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Peter Buchholz, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Berlin
- Dr.-Ing. Anja Buchwalder, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Carolin Butler Manning, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Rosemarie Ditttrich, TU Bergakademie Freiberg
- Susann Dreikorn, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. David Ehinger, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Madlin Falk, TU Bergakademie Freiberg
- Bastian Fermer, M.A., TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Nicole Frank, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Michael Franke, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Peter Fröhlich, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Wolfgang Geißler, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Uwe Glaubach, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Biotech. Silke Gloaguen, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Thomas Grab, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Grabow, Freiberg
- Dipl.-Archäol. Daniela Gräf, Landesamt für Archäologie
- MSc. Valentin G. Greb, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Dietmar Griebel, G.U.B. Ingenieur AG Zwickau
- Prof. Dr. Jens Gutzmer, TU Bergakademie Freiberg, PhDZA
- Dr.-Ing. Christian Hagelüken, Umicore AG & Co. KG Hanau-Wolfgang
- Dipl.-Kffr. Andrea Hanebuth, TU Bergakademie Freiberg
- Maria Häring, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Joachim Harmel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Roland Haseneder, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Heinrich, Freiberg
- Maximilian Hertrampf, Berg- und Hüttenleute e.V. Freiberg
- Dipl.-Ing. Markus Hoffmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Andreas Horsch, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Regina Hüttl, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Sigmund Jähn, Strausberg
- Dr. phil. sc. Frieder Jentsch, Chemnitz
- Prof. Dr. rer. nat. Yvonne Joseph, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Manuela Junghans, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Peter Kausch, Brühl
- Prof. Dr.-Ing. Rudolf Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Reinhard Kleeberg, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kfm. Jacob Kleinow, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Roman Kolmorgen, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar, VFF
- Dipl.-Ing. Anne Kreyßig, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Ingrid Lange, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Gunter Lehmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Andreas Lißner, BASF
- Dipl.-Kfm. Ulrich Loser, Loser Chemie GmbH Langenweißbach
- Prof. Dr. rer. nat. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Torsten Mayer, M.A., TU Bergakademie Freiberg
- Oberlehrer i. R. Ernst Menzel, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Dirk C. Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Theresa Moebus, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Gunter Morgenstern, TU Bergakademie Freiberg
- Moritz Farack, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. oec. Ulrike MörTERS, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Elke Niederschlag, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Heinrich Oettel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Wolfram Palitzsch, Loser Chemie GmbH Langenweißbach
- Dr. rer. nat. Olf Pätzold, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Stefan Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kfm. Marco Pospiech, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. David Rafaja, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Lothar Ratschbacher, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Nat. Solveig Rentrop, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Jens-Uwe Repke, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Journ. Cornelia Riedel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg
- Bildhauerin Susanne Roewer, Berlin
- Prof. Dr. oec. habil. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Schmalz, Studentenwerk Freiberg
- Dr.-Ing. Christian Schmidt, TU Bergakademie Freiberg
- Master Simon Schmitt, TU Bergakademie Freiberg
- Ulrike Schöbel, M.A., TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Bernd-Erwin Schramm, Oberbürgermeister der Universitätsstadt Freiberg
- Dipl.-Kffr. Jana Schulze-Rehagel, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel, TU Bergakademie Freiberg
- Anna Seither, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dr. h.c. Udo Simonis, Kiel
- Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz-Joachim Spies, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Frederik Spindler, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Mus. Eberhard Spree, Gewandhaus Leipzig
- Dr. rer. nat. Christoph Sprung, Utrecht
- Dr. rer. nat. Volker Steinbach, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover
- Dipl.-Ing. Paul Steinberger, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Michael Stelter, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Hans-Ludwig Steyer, Kesselsdorf
- Dipl.-Phys. Hartmut Stöcker, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Dirk Tischler, TU Bergakademie Freiberg
- Martina Ueckert, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Stefan Voß, TU Bergakademie Freiberg
- Tom Weickert, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geophys. Julia Weißflog, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Tobias Weling, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. phil. Thomas Westphalen, Landesamt für Archäologie Dresden
- Dr. rer. nat. Mario Winkelmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Wi.-Ing. Steffen Wolf, TU Bergakademie Freiberg
- Annett Wulkow, M.A., TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Rolf Zenker, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Klaus Zschoke, Freiberg
- Dipl.-Phys. Matthias Zschornak, TU Bergakademie Freiberg

Herausgeber: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. und der Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg
 Vorsitzender: Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht
 Geschäftsführer und Stellvertretender Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar
 Redaktionsleitung: Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer
 Redaktionskollegium: Prof. Dr. phil. Helmuth Albrecht, Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, Dr.-Ing. Klaus Irmer, Dr. Herbert Kaden, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel
 Gestaltung/Satz: Brita Gelius
 Druck: Druckerei Wagner, Siebenlehn
 Auflage: 2.000
 Postanschrift Verein: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., 09596 Freiberg
 Geschäftsstelle: Nonnengasse 22, 09599 Freiberg
 Telefon: +49 (0)3731 39-2559, 39-2661 - Fax: +49 (0)3731 39-2554

E-Mail: freunde@zuv.tu-freiberg.de
 Internet: http://tu-freiberg.de/vereine/vff/index.html
 Jahresbeitrag: 30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder
 Für Nichtmitglieder: 7,00 EUR pro Heft (kostenlos für Vereinsmitglieder)
 Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Herausgeber und der 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. Im Sinne der Wünsche von Autoren und Lesern nach detaillierterer Information hat das Redaktionskollegium eine relativ hohe Anzahl von Quellenangaben für einzelne Beiträge akzeptiert. Die Art der Literaturzitation wurde aufgrund der unterschiedlichen Fachgebiete dabei jeweils den Autoren überlassen. Männliche/weibliche Form: Aus Gründen der Vereinfachung und besseren Lesbarkeit ist in den Beiträgen gelegentlich nur die männliche oder die weibliche Form verwendet worden. Wir bitten, fehlende Doppelnennungen zu entschuldigen.
ISSN 2193-309X