



ACAMONTA 250

Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg
22. Jahrgang 2015

Editorial

Unsere Universität darf sich selbstverständlich auch im Jahr ihres 250. Gründungsjubiläums stolz als die älteste montanwissenschaftliche Hochschule der Welt bezeichnen. In ihrer Vorreiterrolle als historisch erstes akademisches Zentrum der Geowissenschaften hat sie ihr von den „Gründervätern“ angelegtes und danach besonders von Abraham Gottlob Werner dominiertes Profil im Verlauf ihrer Geschichte immer stärker interdisziplinär ausgeprägt. Das Schaffen Alexander von Humboldts, des wohl berühmtesten Absolventen der Bergakademie, der als Naturforscher die Interdisziplinarität beispielhaft verkörperte und dessen geistige Exzellenz weit über die Grenzen der Geowissenschaften hinauswirkte (von H. Schwarz im einleitenden Beitrag treffend formuliert), hat die Entwicklung der Interdisziplinarität des Profils unserer Ressourcenuniversität bis hin zu dessen aktueller Struktur – getragen von den Säulen Geo/Material/Energie/Umwelt – enorm befruchtet. Die oft komplex über Wertschöpfungsketten miteinander verknüpften roh- und werkstoffbezogenen sowie Konzepten der Energieeffizienz und der Nachhaltigkeit verpflichteten Wirkungsfelder in Forschung und Lehre werden – namentlich unter den Bedingungen anhaltenden globalen Wandels – auch das Zukunftsgesicht unserer TU Bergakademie bestimmen. Die Realisierung ihrer strategischen Ziele wird durch interdisziplinäre Verflechtung der Forschungsaktivitäten unseres Hauses mit dem Vorhabenportfolio des Helmholtz-Instituts für Ressourcentechnologie Freiberg kraftvoll stimuliert.

Auch im Jubiläumsjahr haben sich die Mitglieder und die Studierenden der Bergakademie in eindrucksvoller Weise den Herausforderungen des noch jungen 21. Jahrhunderts für Wissenschaft und Gesellschaft gestellt. Die in diesem Heft veröffentlichten Beiträge sind ein beredtes Zeugnis für das Engagement und die hohe Qualität der Aktivitäten in Forschung und Lehre an unserer Alma mater. Ihre Autoren repräsentieren zudem

unsere Universität in vielbeachteter Weise auch vor den Augen der Öffentlichkeit:

- mit ihren hochrangigen wissenschaftlichen Publikationen,
- bedeutsamen großen Forschungsprojekten mit oftmals aus diesen resultierender Ausgründung von Firmen,
- und nicht zuletzt auch durch engagierte Mitwirkung in gesellschaftlichen Gremien beim Eruiieren notwendiger Weichenstellungen für Entwicklungen von gesellschaftlicher Tragweite.

Sie befruchten die Klärung von Kardinalfragen der Gestaltung der Energiewende sowie des effizienten, schonenden Umgangs mit den Ressourcen und befördern aktiv die internationale Verbreitung progressiver Denkweisen zu Fragen des Übergangs in eine naturverträgliche Weltordnung im Rahmen der Lehre – maßgeblich über das inzwischen vertraglich besiegelte internationale Bündnis der Ressourcenuniversitäten.

Unsere Leser dürfen sich freuen auf spannende Einblicke in aktuelle Forschungsarbeiten, auch in das Feld experimenteller Untersuchungen zur Entwicklung und zu den Grenzen der Belastbarkeit von Materialien, flankiert durch komplementäre Modellierungen, im hochmodernen „Forschungslabor Bergakademie“ sowie am Freiburger Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie. Die vom Rektor, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, formulierten Ziele für die strategische Ausrichtung und Gestaltung von Forschung und Lehre an unserer Universität knüpfen eng an den beachtlichen aktuellen Stand an.

Das Universitätsleben im Jubiläumsjahr war geprägt von einer facettenreichen Fülle von wissenschaftlichen und kulturellen Höhepunkten. Eine Revue der Ereignisse – Schnappschüsse in Text- und Bildform – macht dies für den Leser noch einmal nacherlebbar. Hiermit verbindet sich auch der Dank an alle diejenigen Mitglieder der Universität, die diese Veranstaltungen mit großem Engagement vorbereitet und realisiert haben, sowie nicht zuletzt auch an alle Autoren dieses Heftes.

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

Geleitwort (B. Meyer)

Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg

Alexander von Humboldt: Auch nach 150 Jahren zeitlos modern
(H. Schwarz) 5

Forschung an der TU Bergakademie Freiberg

Ressourcenschonende, feuerfeste Auskleidungsmaterialien
für Verbrennungs- und Vergasungsanlagen
(P. Gehre, C. G. Aneziris) 11
Virtualisierung ressourcenschonender Technologie-Optionen
(A. Richter, B. Meyer) 19
Geologische Zeit und Raten der Gebirgsbildung
(L. Ratschbacher, R. Jonckheere, J. A. Pfänder,
S. Schneider, B. Sperner, M. Tichomirowa) 22
Hochtechnologiemetalle als industrielle Beiprodukte –
Bedeutung von Geometallurgie und Rohstoffcharakterisierung
(M. Frenzel, J. Krause, K. Bachmann, J. Gutzmer) 25

Neue Wege in der Weißen Biotechnologie (D. Tischler,
M. Oelschlägel, J. Zimmerling, M. Schlömann) 57
Wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser (B. Merkel) 59
Disziplinäre Grundlagenforschung für die geologische
Praxis: Traditionen paläontologischer Lehre und
Forschung an der Bergakademie Freiberg (J. W. Schneider) . . 65
Systemrelevante Banken: Messung und Regulierung
von Systemrisiken (J. Kleinow, T. Nell) 70
Neue handelsrechtliche Berichtspflichten für Unternehmen
des Rohstoffsektors – der (Konzern-)Zahlungsbericht
(S. Rogler, S. Rohleder) 74
Erdsystemwissenschaft – eine Herausforderung (J. Matschullat) . 78
Eine Erkenntnis nützt nur etwas, wenn man sie auch
verständlich erklären kann (M. Reich) 83
Die Suche nach einem Endlager für hoch radioaktive Abfälle:
ein Neustart!? (W. Kudla) 85
EIT Raw Materials: Neue Perspektiven für die europäische
Rohstoffforschung (J. Gutzmer, A. Klossek, T. Schulz) 91



© TU Bergakademie Freiberg/Dietlev Müller

Neue Werkstoffe über additive Fertigung
(J. Günther, T. Niendorf) 28
Anwendung schädigungsmechanischer Materialmodelle
(M. Kuna) 31
Ermüdungsverhalten einer Nickelbasis-Superlegierung
bei Hochtemperatur unter biaxialer Belastung
(D. Kulawinski, H. Biermann) 35
Werkstofftechnologien für effiziente Elektroantriebe:
Entwicklungen am Institut für Metallformung
(R. Kawalla, J. Grigoleit, A. Stöcker) 38
Homogenisierung im Höchstleistungsrechner (O. Rheinbach) . . . 40
Molekulare Elektronik: Elektronik für das Post-Silicium-Zeitalter?
(T. Hahn, J. Kortus) 43
C₃N₄ – graphitische und diamantartige Kohlenstoff(IV)nitride
(E. Kroke) 46
Mit Kristallographie zu neuen Materialkonzepten
für die Energiekonversion und -speicherung
(T. Leisegang, H. Stöcker, D. C. Meyer) 50
Rohstoffchemie – eine Schlüsseldisziplin der modernen
Chemie (I.A. Aubel, V. G. Greb, G. Martin,
L. Reichelt, N. Schreiter, D. Steffien, A. Zurbel,
P. Fröhlich, C. Pätzold, M. Bertau) 53

Ein Forschungsneubau in Freiberg für 41,5 Mio. Euro –
Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung
(ZeHS) (D. C. Meyer, T. Lemser) 93
Bergbaurelevantes Hochschulstudium im Zeichen
gesellschaftlicher und globaler Veränderungen:
Herausforderungen und Lösungsansätze (C. Drebenstedt) . . . 96
Mittel- und langfristige Energie- und Rohstoff-Heraus-
forderungen – die nächsten 50 Jahre (J. Matschullat) 102
Aus der Uni heraus ins eigene Unternehmen – Gründungs-
unterstützung an der TU Bergakademie Freiberg
(J. Weber, M. Fuhrland) 104

Universität aktuell

Entscheidungen, Initiativen, Projekte: Auszug aus dem
Rektoratsbericht der TU Bergakademie Freiberg 2014 107
Neuer Rektor feierlich ins Amt eingeführt: Res severa gaudium . 114
Das Historicum der TU Bergakademie Freiberg (N. Pohl) 119
Ausstellung: Wissenschaftlerinnen und Studentinnen
der Bergakademie (J. Pinka) 120
Wissenschaftlerinnen und Studentinnen und die
Gleichstellung an der TU Bergakademie Freiberg
(K. Sichone) 122

FAN(-Mitglied) werden! Das Freiburger Alumni Netzwerk und seine Absolventenbetreuung (S. Preißler, C. Bornkampf)	124	Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra und Anton Albert Vergeel (B. Seidel-Bachmann)	150
Erster Bauabschnitt des Schloßplatzquartiers feierlich übergeben	126	Ein amerikanischer Student in Freiberg: Titus Ulke (1866–1961) (J. Huth)	152
Studien-Info-Zentrum SIZ	126	Zum 175. Geburtstag Alfred Wilhelm Stelzners, eines verdienstvollen Wissenschaftlers auf dem Gebiet der Geologie und der Lagerstättenlehre (G. Grabow)	153
Aktivitäten zum 250. Gründungsjubiläum der TU Bergakademie Freiberg (J. Bast, C. Baldauf)	127	Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier (1738–1805) – ein Mathematiker als erster Professor im Hauptamt der Bergakademie. Teil 2 (K. Richter)	154
Aus dem Vereinsleben		Oleum für die Industrie (M. Haustein)	157
Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2014 (H.-J. Kretzschmar)	132	Aufbereitung und Recycling in Freiberg (H. Heegn)	161
Der VFF vergibt sechs Deutschland-Stipendien (H.-J. Kretzschmar)	134	Erinnerung an Dipl.-Ing. László Molnár (1924–2012) (J. Tóth, J. Makovitzky)	166
Konstituierung der „Heinisch-Stiftung“ (A. Massanek)	135	100. Geburtstag von Gustav Zouhar (M. Rühlicke, W. Lehnert)	167
Eine silberne Heilige für die Bergakademie (S. Roewer)	136	150. Geburtstag Ernst Wilhelm Just (Herbert E. Kaden)	168
Es werde eine Skulptur – Daten und Fakten (S. Kolb)	137		
Der Historische Freiburger Gelehrtenzug (H.-J. Kretzschmar)	137		



© TU Bergakademie Freiberg/Detlev Müller

Bernhard-von-Cotta-Preis 2014: Reinigung und Charakterisierung von zwei Peroxidasen DypA und DypB aus <i>Rhodococcus</i> 1CP (C. Conrad)	138	Prof. Dr. phil. Adolph Eduard Pröbß: Ein bedeutender Sprachlehrer an der Bergakademie Freiberg und am Gymnasium Albertinum Friburgensis (E. Menzel)	169
Die Entwicklung des Industriekomplexes Kauffahrtel in Chemnitz als Standort der Automobilgeschichte (A. H. Klingner)	139	Das turbulente Interim: Zwischen Abwicklung des Fachbereichs Ingenieurökonomie und Gründung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (H. Hieke, A. Trillhose)	170
Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhalten zellulärer TRIP-Stahl- und TRIP-Matrix-Composite-Strukturen in Abhängigkeit von Beanspruchung, Temperatur und Geschwindigkeit (D. Ehinger)	141	Ein offener Brief (D. Slaby)	173
Summerschool Arctic Floating University 2015 – Exploring Russian Arctic (C. Seupel, C. Böttger)	143	Personalia	
Brennendes Eis und die Bergakademie? Und ob das geht! (L. Schimrigk, T. Tröger, C. Schröder)	145	Nachruf für Dr. Hildburg Vetter (K. Löttsch)	175
Fünf Monate Gastforscherin an der Colorado School of Mines (J. Schmiedel)	146	Professor Heinz Gloth verstorben (F. Häfner, M. Reich)	175
Historie		Geburtstage unserer Vereinsmitglieder	176
Chronik 2016 (R. Volkmer, N. Pohl)	147	Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder	178
Zum Gedenken an den 250. Todestag des großen russischen Universalgelehrten Michail W. Lomonossow (B. Meyer)	148	Autorenverzeichnis	179
		Impressum	180
		Festakt zum 250. Gründungsjubiläum der TU Bergakademie Freiberg	Sonderbeilage



Liebe Leserinnen und Leser,

die *Acamonta*-Ausgabe 2015 gibt Zeugnis über das Erstrebte und Erreichte an unserer TU Bergakademie Freiberg in ihrem 250. Jubiläumjahr. Dieser großartigen Hochschule, der ich während der letzten sieben Jahre bis zur ersten Hälfte des Festjahres 2015 als Rektor vorstehen durfte, verdanken Generationen von Professoren, Mitarbeitern und Studenten, verdanken Freiberg, Sachsen und Deutschland, seit ihrer Gründung im Jahre 1765 viel. So ist es recht und billig, unserer Alma mater und allen, die sie bis hier gebracht haben, Danke zu sagen.

Bitte gestatten Sie mir zu Beginn, stellvertretend für alle Absolventen unserer Alma mater, an der ich von 1971–1976 studierte und 1978 promovierte, eine ganz persönliche Hommage zu entrichten. Nach einer hervorragenden Ausbildung hielt ich ein Qualitätssiegel in Händen, dessen wahren Wert ich erst später erkannte: den klangvollen Namen einer der renommiertesten Bildungsstätten in Deutschland, deren erfolgreiche Geschichte weit zurückreicht.

Mein Dank gilt den Gründungsvätern und weitsichtigen Architekten von Oppelt und Heynitz, und besonders dem *spiritus rector* der jungen Bergakademie, Abraham Gottlob Werner. Er verhalf mir schon früh zu Weltruhm. Bereits 1795 war das Fächerspektrum im Kern so angelegt, wie es heute von den sechs Fakultäten vertreten wird. Auch den Späteren, die das Wissenschaftsprofil bewahrten und entwickelten, und denen, die an der Eigenständigkeit der Bergakademie und ihrem Namen über Zeiten und Umbrüche festhielten, sei gedankt! Mit dem programmatischen Namenszusatz „Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.“, dessen Einführung 2011 in der deutschen Hochschullandschaft für große Aufmerksamkeit sorgte, wird der heute führenden Ressourcenuniversität und ältesten technischen Hochschule im deutschsprachigen Raum Ehre erwiesen.

Als der Freiburger Oberberghauptmann H. C. von Carlowitz vor mehr als 300 Jahren von „nachhaltender Nutzung“ sprach, konnte er nicht ahnen, dass er eine der globalen Grundfragen der Gegenwart aufwarf. Nachhaltigkeit prägt gewissermaßen die Ressourcenuniversität, ist Richtschnur und innerer Anker ihres Ressourcenprofils. Womit ihr gleichsam eine besondere Mission zuwächst: die definitorische Führung beim Übergang von der Energie- zur Ressourcenwende, von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern und von primären zu sekundären Rohstoffen – eine gewaltige Aufgabe, der besten Kräfte der Wissenschaft würdig. Sie eint das Weltforum der Ressourcenuniversitäten WFURS, im Jahre 2012 von Freiberg aus ins Leben gerufen. Was nun dringend ansteht, ist, den internationalen Auftrag in der Bildung im Rohstoffbereich in Deutschland verantwortlich wahrzunehmen. Eine solche International Freiberg School on Resources and Technology wird ohne zusätzliches nationales und internationales Engagement und notwendige Finanzierung nicht realisierbar sein. Danke Bergakademie, die du Nachhaltigkeit als Ansporn und zentralen Wert begreifst!

Wer oder was verleiht der Bergakademie ihre besondere Ausstrahlung? Kurz, die Bergakademisten, die alte und immer neue Familie der Professoren, Mitglieder, Angehörigen, Studierenden, Absolventen und Unterstützer. Beflügelt von dem, „was die Welt im Innersten zusammenhält“, mit einem Bein in der Montanregion und der wunderbaren Universitätsstadt Freiberg, mit dem

anderen in der Welt; in jeder Hand beides: Tradition und Zukunft. Verlässlichkeit und Freundschaft prägen die Beziehungen mit einer Vielzahl europäischer Partner, mit Partnern im Osten, in Russland und besonders mit St. Petersburg, in Südamerika, Afrika oder Zentral- und Südostasien. Einige Fakten: 2009 überstieg die Zahl der Studierenden erstmals die Marke 5.000, darunter über 800 Ausländer. Bei den Drittmitteln pro Professor gelang der Bergakademie in den letzten Jahren der Aufstieg unter die TOP 5 in Deutschland. Die Unterstützung von Stiftern und Sponsoren ist einmalig: 2007 Krüger-Stiftung, 2008 Terra Mineralia, 2012 Engel-Haus, 2012 Krüger-Haus, 2014 Lomonossow-Haus u.v.a.m. Davon profitieren alle. Danke euch, Bergakademisten und Unterstützer!

Innovation hat an der Bergakademie seit Anbeginn höchsten Stellenwert. Mit Anbruch des 19. Jahrhunderts waren es das erste Gaslicht oder die erste geologische Landesaufnahme, Anfang des 20. Jahrhunderts die ersten großtechnischen Versuchsanlagen und im noch jungen 21. Jahrhundert sind es neue Materialien, Werkstoffe oder Prozesse der Energiewandlung, auch viele erfolgreiche Ausgründungen. Erwähnt sei, dass das heutige, europäische Zentrum der Halbleitertechnik Silicon Saxony wesentlich auf Freiburger Leistungen zurückgeht. In der DDR war die Bergakademie wissenschaftliches Zentrum einer für die damalige Zeit international beispielhaften Verbindung zur Großforschung. Hierzu zählten renommierte Einrichtungen, wie das Deutschen Brennstoffinstitut Freiberg, das Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle, das Forschungsinstitut für Aufbereitung oder das Lederinstitut. Dass es im Jahre 2011 gelungen ist, mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie HIF die Großforschung wieder in Freiberg anzusiedeln, betrachte ich als den wichtigsten Beitrag meiner Rektorzeit. Einem kleinen Paukenschlag gleich kam der Zuschlag für das European Institute of Innovation and Technology EIT Raw Materials am 9. Dezember 2014 in Budapest. Die Bewilligung des Wissenschaftsrats für ein nationales Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS im April 2015 war schließlich noch ein richtiges Jubiläumsgeschenk. Danke Bergakademie für deinen starken Innovationsimpuls für unser Land.

Liebe Leserinnen und Leser, wir können uns glücklich schätzen, hier und heute in der langen Reihe zu stehen, in der wir unserer erfolgreichen TU Bergakademie Freiberg zu Ihrem 250. Jubiläum gratulieren und ihr Danke sagen können. Einer lebenswürdigen Hochschule, getragen von den dauerhaften Werten Nachhaltigkeit, Ausstrahlung und Innovation. Einer Top-Adresse und Eliteschmiede, von Beginn an, heute und in Zukunft!

Unserer TU Bergakademie Freiberg sei dieses glanzvolle Jubiläumsheft 2015 mit einem prächtigen Strauß wissenschaftlicher Leistungen und mannigfaltiger Beiträge unserer Freunde und Unterstützer in Dankbarkeit überreicht. Ein besonderes Dankeschön gilt Herrn Prof. Gerhard Roewer und Frau Brita Gelius für ihr erneutes, großartiges Engagement der inhaltlichen und gestalterischen Umsetzung.

Mit einem herzlichen Jubiläums-Glück Auf

Ihr Bernd Meyer
Altrector

Alexander von Humboldt

Auch nach 150 Jahren zeitlos modern

Helmut Schwarz¹

*Verehrte Damen und Herren, Kolleginnen und Kollegen, liebe Studierende,*²

250 Jahre Bergakademie Freiberg – wen erfüllten diese Zahl und dieses Jubiläum nicht mit Stolz, mit Freude und Genugtuung? Ferner, wenn eine Universität sich die Geschichte von einem Vierteljahrtausend auf ihre Fahnen schreiben darf, dann ist dies allein bereits ein hinreichender Grund zum Feiern, bietet aber auch die Gelegenheit, sich der eigenen Geschichte zu stellen, nicht zuletzt, um davon vielleicht Anregungen zu erhalten, wenn es gilt, Pläne für die Zukunft zu schmieden. Um hierzu ein wenig beizutragen, bin ich heute nach Freiberg gekommen; schließlich wird doch von einem Mitglied des Festkuratoriums der TU Freiberg erwartet, dem Feststrauß einige Blumen hinzuzufügen. Wie es meine Gewohnheit als Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung ist, habe ich in der Vorbereitung meiner Rede Anregungen für diesen Abend bei dem Namensgeber der Stiftung, bei Alexander von Humboldt, gesucht. Was läge auch näher, war er, Humboldt, doch einer der berühmtesten Absolventen Ihrer Bergakademie.

Dieser Mann, Alexander von Humboldt, ist eine Legende, er ist – ohne Übertreibung – eine Person der Superlative. Goethe, ein Zeitgenosse Humboldts, sprach von ihm voller Bewunderung und, wie Sie vielleicht wissen, mit Lob über andere hielt sich der Weimarer Geheimrat immer zurück. Nicht so, was Humboldt betrifft. Goethe schrieb: *„Was ist das für ein Mann! Ich kenne ihn so lange und doch bin ich von neuem über ihn in Erstaunen. Man kann sagen, er hat an Kenntnissen und lebendigem Wissen nicht seinesgleichen. Und eine Vielseitigkeit, wie sie mir gleichfalls noch nicht vorgekommen ist. Wohin man rührt, er ist überall zu Hause und überschüttet uns mit geistigen Schätzen.“*

Unzählige Dinge – Berge, Städte, Meeresströmungen, Parks, Schulen,



© David Aissenhöfer

Stiftungen, Pflanzen, gar ein Stinktier, usw.: Allein in Süd- und Mittelamerika sind mehr als 10.000 Objekte nach Humboldt benannt; er war ein Universalgelehrter, der, wie kaum ein Anderer, die Idee des Fortschritts verkörperte. Charles Darwin war voller Bewunderung und Verehrung für ihn. Humboldt wird als „zweiter Entdecker“ Amerikas gefeiert; er gilt als der Begründer mehrerer wissenschaftlicher Disziplinen. Als Naturforscher verkörperte er Interdisziplinarität und Grundlagenforschung, wie auch seine Abenteuerreisen, lieferten ihm seine Antriebskräfte.

Ferner, als politisch denkender Mensch mit einer zutiefst humanistischen Haltung bewunderte Humboldt die Ideale der französischen Revolution und verteidigte entschieden die Idee von universal gültigen Menschenrechten, und er tat dies zu einer Zeit, in der Sklaverei und Rassismus zum Alltag gehörten wie Essen und Trinken. Mit seinem globalen, alles Provinzielle ablehnenden Denken, seiner Aversion gegen jede Art von Xenophobie, war er seiner Zeit weit voraus. Lebte Humboldt heute, er würde die Rattenfänger und Giftmischer unter den Teilnehmern und Organisatoren der fremdenfeindlichen Montagsdemonstrationen in Dresden und in anderen Städten Deutschlands zur Rede stellen. Humboldt überwand auch geografische und politische Grenzen; er war – wie wir

heute sagen würden – ein internationaler Netzwerker der Wissenschaft schlechthin.

Ihre Bergakademie in Freiberg stellt den vermutlich besten Ausgangspunkt dar, um über Humboldt nachzudenken und seinen Spuren zu folgen. Vermutlich leben die meisten von Ihnen, meine Damen und Herren, in Freiberg und seiner näheren Umgebung und kennen den Ort gut, jedenfalls viel besser als ich, obwohl ich Freiberg und vor allem die TU schon mehrmals besucht habe. Ich versuche, mir einmal vorzustellen, wie es hier zu Humboldts Zeiten, vor gut 200 Jahren, ausgesehen haben könnte: Also, Bergbau um Freiberg bildet die Grundlage für die beginnende Industrialisierung; die 1765 gegründete Bergakademie gilt weltweit als modern und richtungsweisend. Einen Bahnhof gibt es nicht; Autolärm ist nicht zu hören, stattdessen eher das Rattern von Pferdekutschen, auch öffentliche Beleuchtung ist Mangelware usw. Die Stadt – und natürlich auch die sie umgebende Landschaft – hatten ein komplett anderes Gesicht, das heute kaum noch vorstellbar ist.

Und hierher, in dieses Nest, kam Alexander von Humboldt 1791 als 21-jähriger Student, den Kopf angefüllt mit kühnen Ideen und Plänen. Alexander von Humboldt verbrachte gerade einmal acht Monate in Freiberg, und in seinem Studium beschränkte er sich bei weitem nicht auf das Pflichtpensum, sondern verfolgte mit beispielloser Disziplin, ja geradezu Rastlosigkeit, ein selbstauferlegtes Studienprogramm von beängstigendem Umfang. Dieser junge Mann wollte keine Minute ungenutzt verstreichen lassen. Humboldt beschreibt seine Freiburger Aktivitäten in einem Brief, in dem es heißt: *„Meine Beschäftigungen sind übrigens überaus abwechselnd und dem innersten Wunsche meines Herzens angemessen. Ich stehe alle Tage um 5 Uhr auf und gehe, da die Gruben alle“, auch 1 Stunde von Freiberg entfernt sind, sogleich auf die Grube, um anzufahren. An die 5 Stunden beschäftige ich mich unter der Erde, bald um die natürliche Beschaffenheit der Gänge, bald die Arte des Abbaus zu studieren.[...] Um 11 oder 12 Uhr*

¹ Prof. Helmut Schwarz, Präsident der Alexander von Humboldt-Foundation und Mitglied des Festkomitees der TU Bergakademie Freiberg

² Vortrag, gehalten anlässlich des 14. Krüger-Kolloquiums, 14. Januar 2015

komme ich aus der Grube, und nun sind fast alle Stunden des Nachmittags mit Kollegien besetzt – Oryktognosie und Geognosie bei Werner, Markscheiden. Probieren auf Silber, Risse- und Maschine-Zeichnen. So vergeht ein Tag wie der andere.“ Soweit der Bericht an einen Freund.

Darüber hinaus betrieb Humboldt in seiner knappen Freizeit mit größtem Eifer botanische Studien an unterirdischen Pflanzen, begründete somit das Forschungsgebiet der Höhlenbotanik. Die Ergebnisse veröffentlichte er unter dem Titel „*Florae Fribergensis Specimen*“; die Studie erschien 1793 – in elegantem Latein übrigens. Und dieses Büchlein enthält bereits jenen Kerngedanken, der Humboldt später auf seinen Forschungsreisen zu weiteren Entdeckungen motivieren sollte und der es ihm ermöglichte, neue Forschungszweige zu begründen. Eines seiner Ziele war, die Zusammenhänge zwischen der Vegetation und ihrer Umgebung zu verstehen. Auch hier erscheint Humboldt höchst modern, ist seiner Zeit um Jahrzehnte voraus.

Doch wie und warum kam Humboldt gerade nach Freiberg? Und wohin führte ihn später sein Weg? Welche Folgen sollte die Zeit in Freiberg für seine weitere, eigene Karriere haben? Der Beginn war für Humboldt alles andere als vielversprechend, denn weder ein Studium noch seine Erfolge als Forschungsreisender waren ihm in die Wiege gelegt – im Gegenteil: Sein Interesse an der Natur, an einer wissenschaftlichen Betrachtung der Welt, am Erforschen fremder Länder mussten sich auf verschlungenen Wegen und über mächtige Hindernisse ihren Weg bahnen – *per aspera ad astra*.

Allerdings, Humboldts großer Traum, einmal die Tropenwelt zu erforschen, entstand bereits in seiner Jugend. Im ungeliebten Elternhaus in Berlin Tegel – „Schloss Langweil“ nannte er es – wuchs seine Sehnsucht, Exotisches und Fremdartiges zu entdecken und zu verstehen.

Alexander wurde, zusammen mit seinem älteren Bruder Wilhelm, von Privatlehrern unterrichtet. Doch oft hatte er Mühe, dem Unterricht zu folgen; viel lieber zeichnete er, sammelte und ordnete Steine und Pflanzen. Dieses Interesse an der Natur wurde jedoch nicht von seiner Umgebung gefördert; im Gegenteil, von seiner Familie wurde Alexander als „der kleine Apotheker“ belächelt. Es war sein Bruder Wilhelm, der als der begabtere galt und der für eine besondere Karriere als prädestiniert angesehen wurde. Doch Alexander lässt sich weder entmutigen noch



Ansicht von Freiberg von Nord, Aquarell/Feder 1839

© Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg

beirren; bereits in jungen Jahren beginnt er, Kontakte zu knüpfen, die seinen Interessen entsprechen. Zum Beispiel besucht er auf eigene Initiative Karl Ludwig Willdenow, damals einer der Pioniere auf dem Gebiet der Botanik. Er freundet sich mit ihm an, und endlich stößt seine Faszination an der Natur- und Pflanzenwelt auf Resonanz; voller Eifer nimmt Humboldt alles Wissen in sich auf. Später, während seiner Forschungsreise in Amerika, wo er zusammen mit dem Botaniker Aimé Bonpland unzählige Pflanzen sammelt, sie bestimmt und dokumentiert, schreibt er über Willdenow: „*Von welchen Folgen war dieser Besuch für mein übriges Leben! Schreibe ich ohne diesen diese Zeilen im Königreich Neu-Granada?*“ Vermutlich nicht.

Weitere, wegweisende Bekanntschaften machte der junge Alexander vor seiner Freiburger Zeit in Göttingen, wo er sich im Frühjahr 1789 zusammen mit seinem Bruder Wilhelm an der Universität immatrikulierte: welch ein Glücksfall! Denn hier traf er Georg Forster, großes und bewundertes Vorbild als Entdecker, Forschungsreisender, Wissenschaftler und Humanist. Zusammen mit Forster reiste Alexander über Holland und Belgien nach England und von dort über Frankreich zurück nach Deutschland. Das revolutionäre Paris hinterließ bleibende Eindrücke, denn Zeit seines Lebens blieb Humboldt ein Liberaler, der jede Diskriminierung, Unterdrückung oder Ausbeutung durch

Sklaverei scharf und unbeirrt verdammt – und zwar öffentlich in Wort und Schrift. Die Erfahrungen und der Austausch mit Georg Forster lassen aus dem vagen Wunsch, die Welt zu bereisen, bald konkrete und bewusste Pläne reifen.

In Göttingen besuchte Humboldt auch die Vorlesungen des legendären Georg Christoph Lichtenberg. Lichtenbergs Kolleg machte die Hörer vertraut mit Mathematik und Experimentalphysik, mit Geodäsie, Meteorologie, Astronomie oder Chemie; vieles, was Lichtenberg witzig vortrug, wurde durch erhellende Experimente unterstützt. Von Lichtenberg erhielt Humboldt nicht weniger als das akademische Rüstzeug, das er benötigte, um verschiedenste Naturphänomene zu erkennen, sie zu beschreiben, zu verstehen und sie dann in einen größeren Zusammenhang einzuordnen.

Natürlich hätte Humboldt auch ohne wissenschaftlichen Sachverstand seine grandiosen Reisepläne in die Tat umsetzen können. Denn er war nicht nur jung und entschlossen, sondern auch recht vermögend und materiell unabhängig. Aber Lehrer wie Lichtenberg oder Forster entzündeten in ihm die Leidenschaft, seine Talente voll zu entwickeln, so dass Humboldt später aus seiner mehrjährigen Reise durch Amerika jenen Nutzen ziehen konnte, der die Wissenschaft seiner Zeit völlig verändern sollte. Folglich überrascht es nicht, dass Humboldt seinem

Lehrer Lichtenberg am 3. Oktober 1790 in Dankbarkeit jene berühmt gewordenen Worte schrieb: „*Ich achte nicht bloß auf die Summe positiver Erkenntnisse, die ich Ihrer Vortrage entlehnte – mehr aber auf die allgemeine Richtung, die mein Ideengang unter Ihrer Leitung nahm. Wahrheit an sich ist kostbar, kostbarer noch die Fertigkeit, sie zu finden.*“

Sie werden mir vermutlich zustimmen, dass die Fertigkeit – heute sprächen wir wohl von Fähigkeit –, Forschung auf hohem Niveau zu betreiben, für die Wissenschaft an vielen Stellen mindestens ebenso zentral ist wie das Ergebnis selbst.

Nach Humboldts Rückkehr aus Göttingen hätte er gerne – und zwar gleich – seine praktisch-wissenschaftlichen Fähigkeiten vertieft und den alten Plan einer Forschungsexpedition vorangetrieben. Doch wieder musste er Umwege beschreiten, die er aber geschickt mit seinen Interessen zu verknüpfen wusste. Der Wunsch seiner Mutter nämlich war es, dass er nach einer kaufmännischen Ausbildung einen Posten im Staatsdienst aufnehmen sollte. Aus Rücksicht auf die Mutter bewarb sich Humboldt nach einem Intermezzo an der Hamburger Handelsakademie zwar für den Staatsdienst, aber er wählte das Preußische Ministerium für Industrie und Bergbau aus. Daraufhin wurde er zum Studium in Freiberg zugelassen. Auch hier ist erkennbar, dass Humboldt sich für Kaufmännisches und Bürokratisches nicht besonders interessierte, sondern, verkürzt gesagt: Steinen und Pflanzen galt sein Interesse – ganz wie in seiner Kindheit. „*Bewahre Deine Träume*“, sollte später einmal ein großer Physiker des 20. Jahrhunderts bei der Verleihung des Nobelpreises an ihn auf die Frage, was einen erfolgreichen Forscher ausmache, geantwortet haben.

Humboldts Studium in Freiberg liefert ein Beispiel, wie etwas, das von Herzen verfolgt und mit Leidenschaft betrieben wird, zu größter Kompetenz und schließlich breiter Anerkennung führen kann. „*Ich betreibe ein Metier, das man, um es zu lieben, nur leidenschaftlich treiben kann*“, notierte Humboldt hier in Freiberg. Nach Abschluss des Studiums in Rekordzeit wird er sofort in den preußischen Staatsdienst übernommen und macht als Bergassessor und Oberbergmeister in Goldkronach eine beispiellose Karriere. Schreibtisch Tätigkeiten lehnt er erneut kategorisch ab, stattdessen untersucht er intensiv die Gruben und Bergwerke in Franken. Er steigert den Ertrag binnen

eines Jahres massiv, richtet auf eigene Kosten Schulen für die Kinder der lokalen Bergarbeiter ein, entwickelt Sicherheitslampen und Atemschutzmasken, um die Arbeitsbedingungen zu verbessern, usw. Sein Vorgesetzter, der Minister Baron von Heinitz, ist von Humboldts Leistungen tief beeindruckt und stellt ihm eine glänzende Karriere im Staatsdienst in Aussicht. Doch Humboldt folgt seinen eigenen Plänen. Als seine Mutter 1797 stirbt, wird er finanziell unabhängig; ohne einen Moment zu zögern und ohne jegliche Reue gibt Humboldt seine beamtete Anstellung auf, geht zunächst nach Paris, dem damaligen Zentrum der Wissenschaften, und konzentriert all seine Aktivitäten auf seine Reisepläne: hinaus in die fremde Welt, um das wirklich Unbekannte für sich, für uns zu erschließen.

So ordnet sich Freiberg als eine wichtige und wegweisende Station in Humboldts Leben ein, eine Station, die ihn auf seine Karriere vorbereitet und in der er eigene Interessen und Pläne bewusst gestalten und vorantreiben kann. Der Student Humboldt beginnt als ein Lernender, wie seine Kommilitonen ist auch er ein Anfänger auf seinem Gebiet, und doch wie verschieden er ist! Bereits als Studiosus beteiligt er sich an wissenschaftlichen Debatten zum damals heißen Thema „Vulkanismus“ oder veröffentlicht seine ersten botanischen Studien. Humboldts Studentenzeit in Freiberg ist vielschichtig; sie lässt bereits den kommenden Forscher erkennen und bietet Anknüpfungspunkte für sein zukünftiges Wirken. Diese Fähigkeiten, Anknüpfungspunkte zu schaffen, Zusammenhänge zu sehen, sind schon bei dem Freiburger Humboldt in mehrfacher Hinsicht zu erkennen.

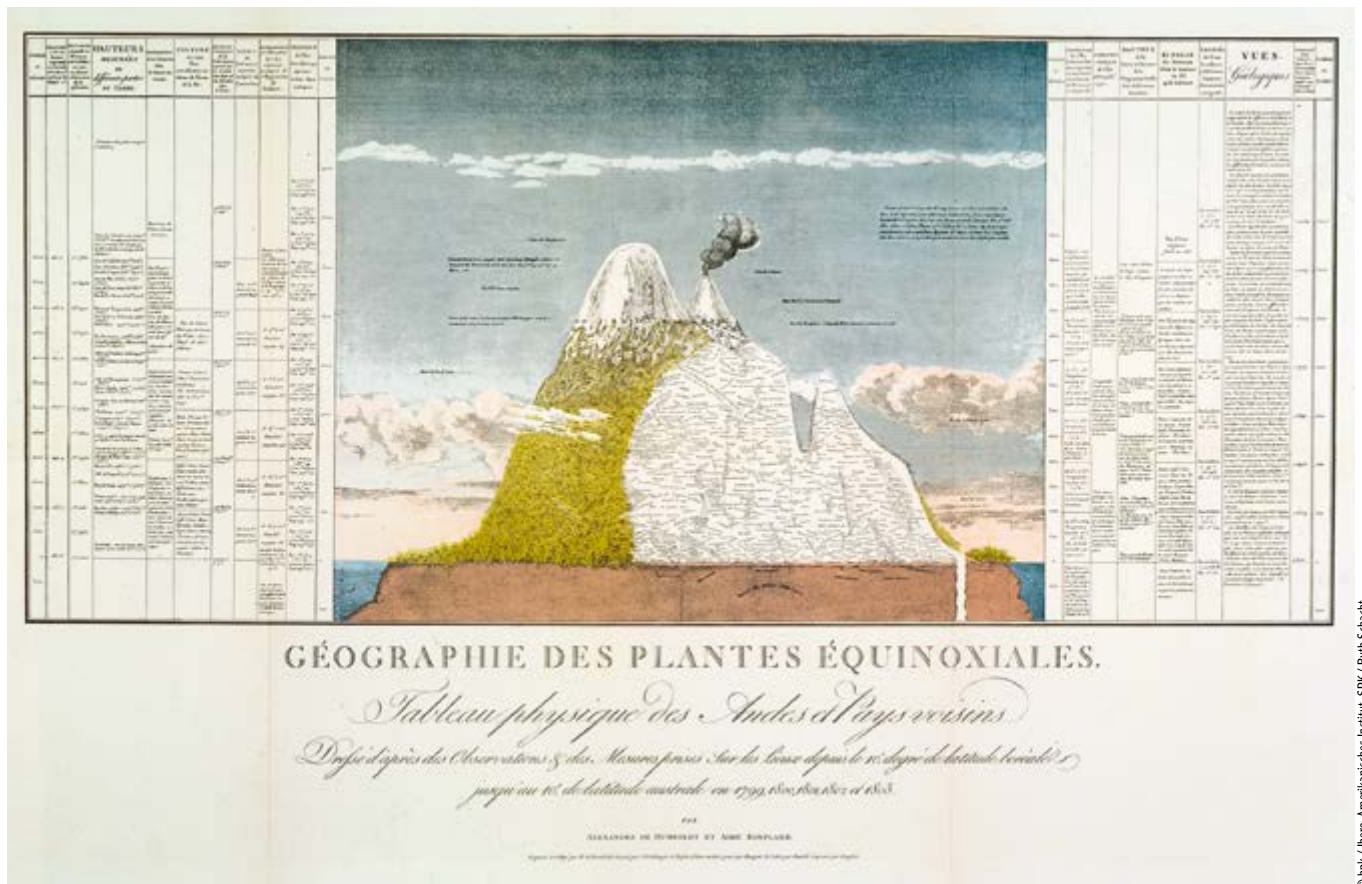
Und dies führt mich zu einem Thema, das in Humboldts Leben selbst von großer Bedeutung war, und das auch heute für Wissenschaftler, Universitäten und Wissenschaftsorganisationen, ja auch außerhalb der Wissenschaft nicht überschätzt werden kann: Die Rolle von Netzwerken. Auch Humboldts Netzwerk ist vielschichtig. Einerseits gibt es den Aspekt der Vernetzung Humboldts als Person und die Bedeutung seines persönlichen Netzwerkes für seine eigene Karriere wie die von Kollegen; andererseits findet sich der Begriff des Netzwerkes auch in Humboldts Denken wieder, in seinem tiefen Bestreben, Zusammenhänge zu verstehen und sie schließlich erklären zu wollen. Der Forscher, der Lehrer, der Aufklärer, der Wissenschaftsdiplomant,

der Ratgeber – alle Charaktere finden sich in Humboldts Naturell glücklich vereint.

Humboldt war ein begnadeter Netzwerker; ja, man könnte durchaus richtig feststellen, dass er zu seiner Zeit den wichtigsten Knotenpunkt wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Netzwerke verkörperte. Die damaligen Möglichkeiten, Kontakte herzustellen und diese zu pflegen, waren beschränkt auf persönliche Begegnungen oder das Verfassen von Briefen, natürlich auf Papier und von Hand geschrieben. Humboldts Netzwerk war gewaltig. Wir wissen heute von ca. 2.500 Persönlichkeiten, mit denen er in Kontakt stand; er schrieb etwa 50.000 Briefe und erhielt mehr als doppelt so viele. Was Humboldt mit den uns heute zur Verfügung stehenden Möglichkeiten der elektronischen Medien und der Angebote des Internets, von Facebook, Twitter, Blogs usw. anstellen würde, entzieht sich meiner Vorstellungskraft – vermutlich würde er sich aller technischen Hilfsmittel bedienen.

Als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler – egal welcher Fachrichtung – und auch als Studierende sind wir Glied eines wissenschaftlichen Netzwerkes, gehören einer Disziplin an, bilden eine Forschergemeinde; es gehört ganz natürlich zu unseren Aufgaben, dieses Netzwerk zu pflegen, und es für den Austausch von Ideen, von Kontroversen etc. aber auch zur Unterstützung anderer Personen zu nutzen. Humboldts Beispiel kann auch hier als inspirierendes, zeitlos gültiges Vorbild dienen.

Humboldt knüpfte seine Netzwerke mit Bedacht; er nutzte sie für seinen persönlichen und fachlichen Austausch, suchte bei anderen Unterstützung und Rat für seine großen Vorhaben, und umgekehrt gab er lebenslang sein Wissen und seine Weisheit an Dritte weiter; ja, er unterstützte diese Personen auch materiell nach Kräften, wenn ihm die Vorhaben gefielen. Denn, dass Begegnungen mit Menschen für Lebensläufe und Karrieren eine Initialzündung darstellen können, das hatte Alexander von Humboldt in seiner eigenen Jugend selbst zu oft erfahren, z. B. bei den bereits erwähnten Begegnungen mit dem Botaniker Willdenow, mit dem Forschungsreisenden Georg Forster oder dem Wissenschaftler und Lehrer Lichtenberg. Humboldt hat also die Erfahrung gemacht, dass Ermutigung und Unterstützung – zum richtigen Zeitpunkt geschehen – dem Leben



Géographie des Plantes équinoxiales. Kupferstich, koloriert (1805) von Louis Bouquet [1765–1814] nach einer Zeichnung von Lorenz Schönberger und Pierre Turpin, nach einer Skizze von Humboldt

eines jungen Menschen die entscheidende Wende zu geben vermögen. Er hat wohl keine Gelegenheit ausgeschlagen, junge Kollegen zu empfangen, mit ihnen über ihre Interessengebiete zu diskutieren und sie dann – auch finanziell – zu unterstützen. Wie sein Biograph Douglas Botting treffend schreibt, gab es in der Mitte des 19. Jahrhunderts in Europa nur wenige bedeutende Wissenschaftler, die Humboldt zu Beginn ihrer Karriere nicht gefördert hatte. Sei es durch Empfehlungsschreiben – von denen mehr als 30 zu einer Berufung auf einen Lehrstuhl führten – oder durch die Vermittlung von Kontakten innerhalb seines eigenen, immens umfangreichen internationalen Netzwerks, durch Hinweise auf interessante Forschungsgebiete, und später – soweit es Humboldts als Folge der Finanzierung seiner eigenen, teuren Forschungstätigkeiten geschrumpftes Privatvermögen überhaupt noch erlaubte – auch durch persönliche finanzielle Unterstützung. Humboldt förderte uneigennützig, weil er an dem ursächlichen Zusammenhang zwischen nachhaltiger Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und dem Gedeihen der Wissenschaft nicht den leisesten Zweifel hatte. Auch Sie, meine Damen und Herren, haben

vielleicht Erfahrungen mit Nachwuchsförderung gesammelt. Vielleicht haben Sie selbst Begeisterung und Inspiration aus einer herausragenden Vorlesung gezogen, möglicherweise haben Sie als erfahrener Wissenschaftler jüngere Kolleginnen und Kollegen beraten, die sich später dann zu Forschern mit eigenständigem Profil entwickelten. Meine Botschaft an Sie, ob Sie nun am Anfang Ihrer Karriere stehen oder schon eine Art graue Eminenz geworden sind: Nehmen Sie die Aufgabe der Nachwuchsförderung ernst und füllen Sie sie mit leidenschaftlicher Freude aus, und – an die Jungen gerichtet – lassen Sie sich fördern!

Die nachhaltige Förderung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern stellt das Kerngeschäft der Alexander von Humboldt-Stiftung dar, und damit folgen wir unserem Namensgeber. Mit unseren Stipendien und den Forschungspreisprogrammen kommen jährlich Hunderte herausragender Wissenschaftler aus aller Welt nach Deutschland, um hier gemeinsam mit Fachkollegen an einem frei gewählten Forschungsthema zu arbeiten. Die Förderprinzipien der Humboldt-Stiftung gelten seit ihrer Gründung vor über 60 Jahren; sie haben den unerbittlichen

Test der Zeit bestanden, und sie lauten schlicht: Wir bekennen uns zur Exzellenz, und wir fördern Personen, keine Projekte. Wissenschaftliche Exzellenz und höchste Qualität sind die wichtigsten, wenn nicht die einzigen Kriterien, nach denen wir unsere Stipendiatinnen und Stipendiaten, unsere Preisträgerinnen und Preisträger auswählen. Wir akzeptieren keine Quoten, weder für Länder oder Fachdisziplinen noch für das Geschlecht, und schon gar nicht lassen wir uns auf kurzfristige, von Moden bestimmte Formen einer Projektförderung ein. Es sind Personen, Menschen – und nicht bloß kluge Köpfe! – die wir unterstützen, und wir haben gute Gründe zu behaupten, dass dies die beste Art der Förderung darstellt.

Drei Jahre nach dem Fall der Mauer, also 1992 kam der erste Humboldt-Stipendiat nach Freiberg; seitdem wurden insgesamt 40 Humboldt-Forschungsstipendiatinnen und -Stipendiaten gefördert, und 2015 werden drei weitere in Freiberg arbeiten. Zusammen mit ihren wissenschaftlichen Gastgeberinnen und Gastgebern hier an der Bergakademie gestalten sie ihre persönliche Zukunft wie auch die Zukunft ihrer Fachgebiete: Jeder von der Humboldt-Stiftung geförderte Aufenthalt

birgt enormes Potenzial, und zwar weit über die Wissenschaft hinaus. Es sind nämlich die persönlichen Kontakte zu den Kolleginnen und Kollegen am Gastinstitut oder die mit anderen Stipendiaten geteilten Erfahrungen, die letztlich die Grundlage für einen erfolgreichen Forschungsaufenthalt und die lebendige Existenz stabiler Netzwerke darstellen – in wissenschaftlicher wie auch persönlicher Hinsicht. Allen Programmen der Stiftung ist gemeinsam, dass nach einer Erstförderung der Kontakt gehalten und gepflegt wird, und zwar ein ganzes wissenschaftliches Leben lang. Für uns gilt das einfache Motto: „Einmal Humboldtianer, immer Humboldtianer“. Dieses Humboldt-Netzwerk, seine dauernde Pflege und die stete Alumniarbeit ermöglichen langfristige internationale Zusammenarbeit; sie stellen das weltweit beachtete und einzigartige Erfolgsmodell der Stiftung dar. Nach 60 Jahren umfasst das Humboldt-Netzwerk heute mehr als 26.000 Personen in fast 140 Ländern. Die Liste an „Prominenten“ zu kommentieren, würde Stunden dauern. Es mag genügen, darauf hinzuweisen, dass 51 Nobelpreisträger dazu gehören, von denen 41 von der Humboldt-Stiftung „entdeckt“ wurden, lange bevor sie die Nobel-Ehrung erhielten. Wir scheinen eine feine Nase zu haben, Talente früh zu entdecken.

Es sind die Neugierde, der Forscherdrang, die allen Humboldtianern eigen sind und die die Alexander von Humboldt-Stiftung bewusst fördert, indem sie durch die Förderprogramme entsprechende Freiräume und Unterstützung zur Verfügung stellt. Mit diesem Forscherdrang und dem gelebten Netzwerk treten die Geförderten der Stiftung in Humboldts Fußstapfen. Alexander von Humboldt selbst hat seine Motivation zum Forschen in seinem Lebenswerk „Kosmos“ folgendermaßen beschrieben: *„Was mir den Hauptantrieb gewährte, war das Bestreben, die Erscheinungen der körperlichen Dinge in ihrem allgemeinen Zusammenhange, die Natur als ein durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganzes aufzufassen.“* In diesen Worten wird Humboldts fundamentale Sehnsucht nach Wissen und Erkenntnis deutlich, und auch heute werden, wie ich immer noch hoffe, viele Wissenschaftler meiner These zustimmen: Die Wissenschaft haben wir zu unserem Beruf gemacht, weil wir neugierig sind, und – in Schillers Sinn – nicht nur von der, sondern vor allem für die Wissenschaft leben. Forschung lebt von dieser Begierde des Wissenschaftlers – dem Bestreben, unbekanntes Terrain zu

betreten, Zusammenhänge aufzudecken und sie schließlich erklären zu können. Humboldt setzte diese Neugierde ganz handfest in die Tat um, seine Forschungsreisen führten ihn zu den sprichwörtlich weißen Flecken der Landkarten der damaligen Welt und damit über die Grenzen des Wissens hinaus. Und dafür scheute er weder Mühe noch Kosten. Für seine Amerikareise beispielsweise bereitete er sich jahrelang vor, sammelte Informationen, knüpfte Kontakte, kaufte die modernsten Messgeräte – es sollte damals die bestvorbereitete Expedition in der Welt werden. Die Forschungsreise nach Amerika dauerte insgesamt fünf Jahre. Humboldt und sein Begleiter Aimé Bonpland bringen allein 60.000 Pflanzenteile, davon etwa 3.000 unbekannte Arten, zahllose Notizen, Zeichnungen, Messergebnisse, Gesteinsproben usw. nach Europa zurück. Die Auswertung und Veröffentlichung seiner Forschungen werden Humboldt noch über 30 Jahre begleiten – sie werden so viel kosten, wie die Expedition selbst! Am Ende seines Lebens ist Humboldt hoffnungslos verschuldet – und glücklich.

Dennoch: Das eigentliche Wunder, so behaupten zumindest einige, sei, dass Humboldt und Bonpland überhaupt lebend von der Expedition zurückgekehrt seien. Und in der Tat, unzählige Gefahren und Strapazen lauerten auf sie: Hitze, Kälte, Moskitoplagen, Piranhas und Krokodile zu Wasser, Raubkatzen und feindlich gesinnte Ureinwohner zu Lande. Humboldts Entdeckerwille wurde ständig auf die Probe gestellt, nicht nur ertrug er Schmerzen und Gefahren; ja, mehr noch, er durchlebt alles mit Begeisterung und freudigem Entdeckergeist. Im Vergleich hierzu erforschen wir modernen Wissenschaftler heute die Welt oft nur noch mittelbar – und dennoch, die Faszination des Neuen und Unbekannten kennen wir alle, und wir lassen uns davon begeistern und antreiben!

Eine einzige Episode aus Humboldts Amerika-Reise möchte ich herausgreifen, den Höhepunkt gewissermaßen. Der Chimborazo, ein inaktiver Vulkan im heutigen Ecuador, ist 6.310 m hoch und galt damals als der höchste Berg der Erde. Im Gehrock und mit Halbschuhen, und natürlich bepackt mit Barometer und anderen Messinstrumenten, aber ohne Sauerstoffmasken etc., machten Humboldt und Bonpland sich auf den Weg. Erst wenige hundert Meter unterhalb des Gipfels mussten sie umkehren, und doch blieb dies für 30 Jahre ein Höhenrekord; Humboldt erntete Zeit seines Lebens enormen

Ruhm für diese Leistung und war fast bestürzt, als man Jahre später im Himalaya noch höhere Gipfel entdeckte. Für die Wissenschaft bedeutender war aber das berühmt gewordene Landschaftsprofil, das er in seinem „Essai sur la géographie des plantes“ veröffentlichte – eine Art Ikone der Pflanzengeographie. Es zeigt das Profil des Chimborazo; detailliert werden Vegetationszonen, Pflanzenarten und die Schneelinie eingezeichnet. Humboldts Ziel war es, den Zusammenhang zwischen der belebten und der unbelebten Natur zu verstehen. Im Mittelpunkt seiner Beschreibungen standen die Pflanzenverbreitung und Wuchsformen, die Physiognomie. Die Klassifizierung in Vegetationstypen und der Zusammenhang zu den Standortbedingungen begründeten die Geobotanik oder Pflanzengeographie. Später entwickelte sich daraus auch die Pflanzensoziologie, wobei der dort verwendete Assoziationsbegriff bereits in Humboldts Schriften auftaucht.

Meine Damen und Herren, denken Sie noch einmal für einen Moment zurück an Humboldts Zeit hier in Freiberg, wo er sich bereits als Student mit Pflanzenphysiologie und der Einwirkung von Licht auf den Pflanzenwuchs beschäftigte! Die Veröffentlichung „*Florae Fribergensis Specimen*“ erwähnte ich, und die Gemeinsamkeit mit dem Landschaftsprofil des Chimborazo ist nicht zufällig – es geht jeweils um die Wechselwirkung von Pflanzen und deren Umgebung. Machen Sie sich bewusst: Aus der schieren Neugierde, Wechselwirkungen zu verstehen und Zusammenhängen zu ergründen, kroch der junge Humboldt unter Tage in die tiefen Gruben Freibergs, und später bestieg er die höchsten Gipfel Ecuadors!

Humboldt wollte ganz einfach Zusammenhänge verstehen, er strebte nach einer Synthese von geologischen, ökologischen, atmosphärischen und kulturellen Phänomenen; er hatte die Vision einer „Allgemeinen Physik der Erde“, in der die Erdoberfläche, die Ozeane, die Atmosphäre und die Bewohner ein in sich verbundenes und belebtes Ganzes bilden. Er war, wie man heute sagen würde, „ganzheitlich“ orientiert – Humboldt, ein Mann des 21. Jahrhunderts.

Diese Vision des belebten Ganzen stellt er in seinem Alterswerk, dem KOSMOS dar, er schreibt: *„Ich habe den tollen Einfall, die ganze materielle Welt, alles, was wir heute von den Erscheinungen der Himmelsräume und des Erdenlebens, von den Nebelsternen bis zur Geographie der Moose*

aus den Granitfelsen wissen, alles in einem Werke darzustellen, und in einem Werke, das zugleich in lebendiger Sprache anregt und das Gemüt ergötzt.“ An diesem Werk arbeitete er noch im hohen Alter mit ungebrochenem Tatendrang. Und: Es wurde ein Verkaufsschlager! Eine Auflage von 80.000 Exemplaren wurde gedruckt; welches wissenschaftliche Werk kann dies heute vorweisen? Und auch nach 150 Jahren ist der KOSMOS immer noch aktuell, die neueste Ausgabe wurde im Jahr 2004 von Ottmar Ette und Oliver Lubrich herausgegeben, und Hans Magnus Enzensberger hat einer Ausgabe des Werkes eine selten gehörte Lobeshymne gewidmet.

Der KOSMOS als Meisterwerk mit seinem enzyklopädischen Anspruch, die gesamte Welt zu umfassen, wurde jedoch zu einer Zeit veröffentlicht, in der die Epoche der wissenschaftlichen Spezialisierung einsetzte. Die einzelnen Fachdisziplinen mussten sich zunächst finden und sich zwangsläufig voneinander emanzipieren. Heute hingegen, 150 Jahre später, sind inter- und intradisziplinäre Arbeiten eine Selbstverständlichkeit, und die Wechselwirkung und die Zusammenhänge der verschiedenen Komponenten unserer Erde stehen im Fokus vieler Forschungsarbeiten. Man könnte Humboldt auch als den „Vernetzer“ von Fachdisziplinen betrachten und behaupten, dass sich Humboldts Vision einer „Allgemeinen Physik der Erde“ in den modernen Earth System Sciences manifestiert.

Für Humboldt war es auch immer wichtig, seine Forschungen nicht nur um ihrer selbst willen zu betreiben, sondern sie in den Dienst der Gesellschaft zu stellen – auch in diesem Aspekt ist er zeitlos modern. Bereits in jungen Jahren fordert er die Erforschung von wie auch den gewissenhaften Umgang mit den natürlichen Ressourcen und deren Vielfalt – also das, was wir heute Biodiversitätsforschung nennen. Auch zum Thema Nachhaltigkeit, zweifellos ein Schlüsselwort des 21. Jahrhunderts, hat sich Humboldt als Vordenker geäußert. Auf seiner Reise durch Amerika in den Jahren 1799 bis 1804 beobachtete er oft das Fehlen von nachhaltigem Denken beim Umgang mit natürlichen Ressourcen; er beschrieb kompromisslos die Konsequenzen, die – kein Wunder – andere lange Zeit einfach nicht wahrhaben wollten. Ich greife aus seinen vielen Äußerungen zu diesem Thema nur eine heraus: „Zerstört man die Wälder, wie es die europäischen Ansiedler allerorten in

Amerika mit unvorsichtiger Hast tun, dann versiegen die Quellen oder nehmen doch stark ab. Die Flussbetten liegen einen Teil des Jahres trocken und werden zu reißenden Strömen, sooft im Gebirge starker Regen fällt. Da mit dem Holzwuchs auch Rasen und Moos auf den Bergkuppen verschwinden, wird das Regenwasser in seinem Lauf nicht mehr aufgehalten, statt langsam durch Einsickern die Bäche zu speisen, zerfurcht es in der Jahreszeit der starken Regenniederfälle die Berghänge, schwemmt das losgerissene Erdreich fort und verursacht plötzliche Hochwässer welche die Felder verwüsten.“ Dies ist nicht der zeitgenössische Text eines politischen Manifestes von Umweltorganisationen, sondern es sind Beobachtungen, formuliert vor mehr als 150 Jahren – und immer noch zutreffend.

Die Kräfte der Natur, die Humboldt ergründen wollte, flößten ihm eine enorme Hochachtung ein, eine Haltung, die wir heute, nach einer Zeit des Übermuts und des fehlenden Respekts vor der Natur, teils mühsam wieder erlernen müssen. Auch hierfür ist Humboldt ein wichtiges Vorbild. Wir stehen vor der immensen Herausforderung, in Zukunft so zu wirtschaften, ohne dabei einfach bloß immer größere Mengen von natürlichen Ressourcen zu verbrauchen. Benötigt werden stattdessen Lösungen, die wir uns derzeit oft noch gar nicht vorstellen können – eben weil wir auf vielen Gebieten die Zusammenhänge nicht gut genug verstehen oder sie überhaupt nicht kennen, sie in manchen Fällen noch nicht einmal erahnen – dies zu verbessern, erfordert Forschung, und auch eine intensiv betriebene Grundlagenforschung ist dafür essenziell. Manche dieser Forderungen spiegeln sich im Leitbild der Bergakademie Freiberg wider, die sich explizit die „Ressourcenuniversität“ nennt und damit, ob Zufall oder bewusst, ebenfalls Humboldts Spuren folgt.

Meine Damen und Herren, Alexander von Humboldt hat als Forscher, als Autor und Kommunikator und als Fördernder die Wissenschaft wie kaum ein anderer befruchtet, und er wusste auch, wie wichtig der Raum für Diskussionen und den Austausch zwischen Kollegen ist. Hier möchte ich den großen Werner Heisenberg zitieren, der 21 Jahre lang Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung war und der einmal bemerkte: „Wissenschaft entsteht im Gespräch“.

Ich möchte Sie einladen zu einem solchen Gespräch und zum Austausch von Ideen. Vielleicht haben Sie ganz eigene, völlig andere Gedanken zu Humboldt.

Welche Aspekte seines Lebens bewundern Sie? In welcher Hinsicht sollte die Wissenschaft, sollte eine Universität noch stärker Humboldts Spuren folgen? Ich bin gespannt auf Ihre Ideen, Ihre Kommentare und Ihre Fragen!

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit – und: Glück auf!

Aktive Akademiemitgliedschaften von Wissenschaftlern der TU Bergakademie Freiberg

Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig

Klasse Technikwissenschaften

Prof. Christos Aneziris (OM)
 Prof. Horst Biermann (OM)
 Prof. Carsten Drebenstedt (OM)
 Prof. Hans-Heinz Emons (KM)
 Prof. Egon Franck (KM)
 Prof. Horst Gerhardt (OM)
 Prof. Ulrich Groß (OM)
 Prof. Bernd Meyer (OM)
 Prof. Ernst Schlegel (OM)

Klasse Naturwissenschaften

Prof. Hans-Jörg Mögel (OM)

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

Klasse Technikwissenschaften

Prof. Wolfgang Förster (OM)
 Prof. Peter Költzsch (OM)

Klasse Mathematik-Naturwissenschaften

Prof. Dietrich Stoyan (OM)

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech)

Prof. Christos Aneziris (OM)
 Prof. Wolfgang Förster (OM)
 Prof. Horst Gerhardt (OM)
 Prof. Ulrich Groß (OM)
 Prof. Ernst Schlegel (OM)

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften

Prof. Klaus-Dieter Bilkenroth
 Prof. Georg Bretthauer
 Prof. Hans-Heinz Emons
 Prof. Lothar Michalowsky
 Prof. Jörg Matschullat
 Prof. Heinz Oswald Militzer
 Prof. Jürgen Schön

Akademie der Wissenschaften und der Literatur | Mainz

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse

Kommission für Mathematik, Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaften
 Prof. Horst Biermann (OM)

Leopoldina

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Prof. Dietrich Stoyan
 Prof. Karl-Armin Tröger

Norwegische Akademie der Wissenschaften

Prof. Hans-Heinz Emons

Ressourcenschonende, feuerfeste Auskleidungsmaterialien für Verbrennungs- und Vergasungsanlagen

P. Gehre¹, C. G. Aneziris¹

Einführung

Die energetische und stoffliche Nutzung von Kohle als Alternative zu Erdöl und Erdgas rückt immer mehr in den Fokus der Forschung. Für Erdöl und Erdgas wird es nach Schätzungen der amerikanischen Energieinformationsbehörde EIA in 40 bis 60 Jahren zu einem gravierenden Versorgungsengpass kommen. Dagegen beträgt die globale Reichweite der heute bekannten Hartkohlenvorkommen Schätzungen zufolge mehr als 125 Jahre, die von Weichbraunkohle sogar mehr als 200 Jahre. Vor allem für Deutschland ergeben sich aus der komplexen Nutzung von Kohle große Potenziale. Die deutschen Kohlevorkommen spielen eine entscheidende Rolle bei der energetischen Grundversorgung des Landes während der schrittweisen Umstellung auf regenerative Energien. Durch die Nutzung heimischer Rohstoffe soll auch die Importabhängigkeit von Erdöl und Erdgas langfristig stark reduziert werden [1]. Heutzutage werden Erdöl oder Erdgas in erster Linie zur Bereitstellung von thermischer Gebrauchsenergie und zur Stromerzeugung genutzt. Aber auch zahlreiche Grundstoffe für die chemische Industrie werden aus diesen beiden Rohstoffen gewonnen.

Die stoffliche Nutzung von Kohle basiert generell auf Vergasungstechnologien. Während des Vergasungsprozesses reagieren Kohle oder Biomasse mit Wasserdampf unter reduzierenden Bedingungen zu Synthesegas (CO/H_2), wobei Temperaturen bis 1600 °C und Drücke bis 50 bar entstehen [2]. Das Synthesegas ist Ausgangsstoff für die Herstellung von Produkten der chemischen Grundstoffindustrie, z. B. von Methanol, Ammoniak (Haber-Bosch) oder flüssigen Kohlenwasserstoffen (Fischer-Tropsch-Synthese). Aber auch die Umwandlung seiner Verbrennungsenergie in Strom ist möglich, wie z. B. in IGCC-Anlagen praktiziert. In diesem Fall wird Strom aus Kohle bei reduzierter NO_x - und CO_2 -Emission erzeugt. Daher erlangt die Kohle-Vergasung eine Schlüsselrolle bei der industriellen Erzeugung von CO/H_2 -Gas zur komplementären Nutzung in einem Synthesereaktor und im Kraftwerk.

Während eines solchen Prozesses schützt den metallischen Vergasermantel eine feuerfeste Auskleidung, die hohen Temperaturen und Drücken, Temperaturschwankungen, Erosion durch feste Partikel, als Kriechen bezeichneten Verformungen und Bewegungen sowie der Korrosion durch schmelzflüssige alkali- und erdalkalimetallhaltige Schlacken standhalten muss [3, 4]. Die Ausmauerungsmaterialien bestehen derzeit aus chromoxidhaltigen Feuerfest-Steinen, die – abhängig vom Beanspruchungsort – eine Standzeit von drei bis 24 Monaten erreichen [5]. Ein intensives Werkstoffscreening in den 1970er- und 80er-Jahren ergab, dass nur Chromoxidsteine mit hohem Cr_2O_3 -Anteil den Angriffen der Prozessatmosphären und Schlacken bei solch hohen Temperaturen standhalten [6-13]. Allerdings besteht – aufgrund zahlreicher ökologischer sowie ökonomischer Aspekte – der Wunsch der Anlagenbetreiber nach alternativen Materialien, die im Idealfall auch Standzeiten von drei Jahren erreichen sollten und nach ihrem Einsatz problemlos entsorgt oder recycelt werden können [14]. Dabei kommen vorrangig bekannte Feuerfestsysteme auf der Basis von Aluminiumoxid (Al_2O_3), Magnesiumoxid (MgO) oder Zirkonoxid (ZrO_2) in Frage. ZrO_2 , zum Beispiel, zeigt eine ähnlich hohe chemische Beständigkeit wie Chromoxid, wobei diesem gegenüber allerdings keine Kosteneinsparungen erzielt werden können und noch weitere Untersuchungen nötig sind. Al_2O_3 ist ein weitreichend verfügbarer und auch kostengünstiger Feuerfestwerkstoff, der für seine guten mechanischen Eigenschaften und hohe Resistenz gegenüber Korrosion durch alkalische und saure Medien bekannt ist. Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass Al_2O_3 eine intensive Schlackeninfiltration erleidet und mit den Bestandteilen von Kohleschlacken auch chemisch zu niedrigschmelzenden Verbindungen reagiert, wodurch seine Mikrostruktur zerstört bzw. aufgelöst wird [15]. Die gezielte Verbesserung von Al_2O_3 -basierten Feuerfestmaterialien, die erreicht werden muss, um sie zur Auskleidung von Vergasungsanlagen einsetzen zu können, ist jedoch ein vielversprechendes Forschungsfeld. Dabei steht neben der Korrosions- auch die Temperaturwechselbeständigkeit des Materials im Fokus.

Da letztere von einschlägigen Werkstoffeigenschaften – wie Festigkeit, E-Modul, Wärmeleitfähigkeit λ und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α – abhängt, befasste sich Parker mit der Entwicklung von Materialien, die nahezu keine thermische Ausdehnung aufweisen, um thermische Spannungen im Werkstoff zu minimieren, was die Thermoschockbeständigkeit erhöht. Aus dieser Entwicklungsarbeit resultierten feinkörnige Materialien aus dem Al_2TiO_5 - ZrTiO_4 - ZrO_2 -System (ZAT-Verbundwerkstoffe), deren Matrix aus Al_2TiO_5 besteht, in der ZrTiO_4 sowie ZrO_2 verteilt sind [16]. Infolge der Ausbildung von Mikrorissen haben diese Materialien im Temperaturbereich von 24 bis 1000 °C einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $-2 \times 10^{-6}/\text{K}$. Kim et al. untersuchten die thermische Ausdehnung von Al_2TiO_5 - ZrTiO_4 -Materialien mit unterschiedlichem $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$ -Verhältnis. Aufgrund der anisotropen Ausdehnung von Al_2TiO_5 wurden beim Aufheizen zunächst entstandene Mikrorisse geschlossen, die sich jedoch beim Abkühlen wieder öffneten. Ein Material, bestehend aus 50 Mol-% ZrTiO_4 und 50 Mol-% Al_2TiO_5 , bildet jedoch bei Temperaturen bis 1000 °C noch Mikrorisse, wodurch es einen niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $0,2 \times 10^{-6}/\text{K}$ besitzt [17]. Aneziris et al. beschrieben thermoschockbeständige Wabenkörper aus Al_2O_3 mit TiO_2 - und Mg-PSZ -Zusätzen. Einerseits erhöhten sich durch diese die Schwindung und das Kornwachstum von Al_2O_3 . Andererseits bildeten sich um die Al_2O_3 -Körner herum drei Zonen: eine ZrO_2 -reiche, eine TiO_2 -reiche und eine Al_2O_3 - TiO_2 - ZrO_2 -reiche mit Mikrorissen [18]. Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Zonen 1 und 2 erhöhte sich die Thermoschock-Beständigkeit der Materialien [19]. Davon ausgehend wurden feinkörnige Al_2O_3 -Werkstoffe mit ZrO_2 - und TiO_2 -Zusätzen entwickelt. Während der Sinterung bei 1600 °C wachsen die Al_2O_3 -Körner, wodurch sich ZrO_2 und TiO_2 in den Kornzwischenräumen anreichern und Al_2TiO_5 gebildet wird. Thermoschockversuche mit diesen Materialien – Abschreckung bei 1200 °C in Wasser (25 °C) – verursachten den Zerfall des Al_2TiO_5 , wodurch an den Al_2O_3 -Korngrenzen Druckspannungen

¹ Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
Patrick.Gehre@ikgb.tu-freiberg.de
Christos.Aneziris@ikgb.tu-freiberg.de

entstanden, die zu einer Festigkeitssteigerung führten [20]. Aber auch durch die entstandenen Mikrorisse, die diese Materialien aufweisen, wird die Thermoschockbeständigkeit erhöht, da die Energie eines sich ausbreitenden Risses, der auf das Mikrorissnetzwerk trifft, bei der Schaffung neuer Mikrorisse oder zur Ausweitung des Rissnetzwerks umgewandelt wird. So ist bei dünnen flammgespritzten Schichten, bestehend aus 85 Gew.-% Al_2O_3 , 5 Gew.-% ZrO_2 und 10 Gew.-% TiO_2 , die ein ausgeprägtes Mikrorissnetzwerk aufweisen, ein Festigkeitsverlust erst ab einer Temperaturdifferenz von 900 K beim Abschrecken des Materials in Wasser zu erkennen [21].

Bezüglich der Übertragung der guten Thermoschockigenschaften feinkörniger AZT-Werkstoffe auf grobkörnige Feuerfestmaterialien sind bislang keine Angaben publiziert. Aus der Gruppe feuerfester Werkstoffe für Vergasungsanlagen untersuchte Bonar einen schmelzgegossenen Stein, bestehend aus Al_2O_3 - ZrO_2 - SiO_2 . Im Kontakt mit *saurer* Asche reagierte Al_2O_3 mit dem CaO der Schlacke unter Bildung von CA_6 . Dabei wurde Zirkonoxid in einer Glasphase in den Kornzwischenräumen sowie zwischen den CA_6 -Kristallen nachgewiesen. Eine Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit im Vergleich zu Al_2O_3 -reichen Materialien trat aber nicht ein [22].

Neuentwickelte, vielversprechende AZT-Feuerfestgießmassen für Vergasungsanlagen können aus AZT-Grob- und -Feinkorn erhalten werden. AZT-Grobkorn ist jedoch nicht kommerziell erhältlich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb die Entwicklung von Werkstoffen, bestehend aus groben Al_2O_3 -Körnern mit feinen TiO_2 - und ZrO_2 -Zusätzen in der Matrix, angestrebt. Neben der Temperaturwechselbeständigkeit stand auch die Frage nach einer Wechselwirkung des ZrO_2 bzw. TiO_2 mit Braunkohleschlacke im Fokus – mit dem Anliegen, die geringe Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 -Steinen gegenüber Kohleschlacken zu erhöhen. Vor diesem Hintergrund wurden die thermomechanischen Eigenschaften, die Temperaturwechselbeständigkeit, der Phasenbestand, der Gefügebau sowie die Beständigkeit gegenüber Braunkohleschlacke ermittelt. Zur Bewertung der Korrosionsbeständigkeit diente der Tiegeltest.

Experimentelle Durchführung

Als repräsentative Proben zur Erforschung des Einflusses von ZrO_2 - und

TiO_2 -Zusätzen auf ein Al_2O_3 -Feuerfestmaterial wurden sowohl eine reine Al_2O_3 -Gießmasse (als Referenzmaterial) als auch vier weitere Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien (AZT) mit unterschiedlichen ZrO_2 - und TiO_2 -Gehalten hergestellt. Deren Zusammensetzungen sind in *Tabelle 1* angegeben. In Anlehnung an das Korngrößenverteilungsmodell von Dinger und Funk wurden diese mit einem $q = 0,28$ entwickelt [23]. Dazu wurden Tabulartonerde (T60/64), Reaktivtonerde (CL370), hydratisierbare Tonerde (Alphabond 300, alle Almatix GmbH, Frankfurt, Deutschland), Zirkondioxid (DV1112 MgO-Zirconia, Saint-Gobain ZirPro, Le Pontet, Frankreich) und Titandioxid (TR-HP-2, crenox GmbH, Krefeld, Deutschland) verwendet.

Tabelle 1: Zusammensetzung der entwickelten AZT-Gießmassen

Zusammensetzung (Gew.-%)	A1650	AZT	AZ5.0	AT5.0	AT2.5
Tabulartonerde	88,0	78,0	83,0	83,0	85,5
Reaktivtonerde	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
hydratisierbare Tonerde	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Zirkondioxid	–	5,0	5,0	–	–
Titandioxid	–	5,0	–	5,0	2,5
Additive	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Wasser	5,3	4,6	4,9	4,8	4,7

Probe A1650 – ein reiner Al_2O_3 -Versatz – diente als Referenz. Die Bezeichnung AZT-Material resultiert aus den Buchstaben A für die Al_2O_3 -Hauptkomponente, Z für ZrO_2 bzw. T für TiO_2 . Versatz-AZT enthält neben Al_2O_3 jeweils 5 Gew.-% Zirkondioxid und Titandioxid. Das ZrO_2 wurde teilstabilisiert (MgO-Zusatz) eingesetzt, um den bekannten Modifikationswechsel von der monoklinen zur tetragonalen Kristallstruktur während der Sinterung zu höheren Temperaturen zu verschieben. So wird der sonst resultierende Volumensprung verhindert und folglich eine Rissbildung in den Probekörpern vermieden.

Nach Einwaage wurden die einzelnen trockenen Ausgangsstoffkomponenten mit den Additiven für fünf Minuten in einem Zwangsmischer (Toni Technik Baustoffprüfsysteme GmbH, Berlin) behandelt. Anschließend wurde allmählich bei laufendem Rührer die spezifische Wassermenge zugegeben, wonach sich in allen Fällen (spätestens nach sieben Minuten

weiterer Mischzeit) eine selbstfließende Masse ausbildete. Diese ließ sich in eingölte Metallformen gießen, die wir verwendeten, um prismenförmige Probekörper der Abmessung $25 \times 25 \times 150 \text{ mm}^3$ zu erhalten. Nach einer Abbindezeit von etwa 24 h erfolgte die Entformung der Probekörper. Der Trocknung der gegossenen und entformten Probekörper über 24 h bei $110 \text{ }^\circ\text{C}$ im Trockenschrank schloss sich die Sinterung an. Für die Sinterung wurde eine Aufheizrate von 2 K/min bis auf $1650 \text{ }^\circ\text{C}$ Sintertemperatur gewählt, die über fünf Stunden konstant gehalten wurde. Anschließend wurde die Probe mit einer Rate von nur 3 K/min bis $800 \text{ }^\circ\text{C}$ abgekühlt, um Thermospannungen durch zu schnelles Abkühlen im hohen Temperaturbereich zu minimieren. Die weitere Abkühlung bis auf Raumtemperatur zur Probenentnahme aus dem Ofen geschah ohne Regelung.

Nach der Sinterung wurde die Schwindung der Körper gemessen. Die offene Porosität, d. h. die Gesamtheit der von außen zugänglichen Poren, wurde an Probenbruchstücken nach DIN EN 993-1, dem sog. Archimedes-Prinzip, per Sättigung mit Flüssigkeit ermittelt, und die 3-Punkt-Biegefestigkeit der Probekörper an einer Universalprüfmaschine TT 2420 (TIRA GmbH, Schalkau) mit einem Auflagerabstand von 125 mm nach DIN EN 993-6 bestimmt. Die Ermittlung der Heißbiegefestigkeit (HBF) erfolgte in Anlehnung an DIN EN 993-7 bei $1400 \text{ }^\circ\text{C}$. Für die Bewertung der Temperaturwechselbeständigkeit beim Abschrecken mit Druckluft, die in Anlehnung an DIN EN 993-11 vorgenommen wurde, sind die Probekörper für 30 Minuten in einen Ofen gelegt worden, der auf $800 \text{ }^\circ\text{C}$ vorgeheizt war, um ein vollständiges Durchwärmen zu gewährleisten. Nach Herausnahme der Proben wurden diese mit überströmender Druckluft (1 bar) fünf Minuten lang abgekühlt.

Nach Trocknung der Probekörper (zwei Stunden bei $110 \text{ }^\circ\text{C}$ im Trockenschrank) wurde die Biegefestigkeit der Stäbe nach DIN EN 993-6 ermittelt. Der jeweilige Unterschied zur Ausgangsfestigkeit wurde als Maß für die Temperaturwechselbeständigkeit (TWB) der Materialien gewählt. Je geringer der Festigkeitsabfall nach dem Thermoschock ausfällt, desto höher ist die TWB der Proben. Zur Bestimmung der enthaltenen Phasen wurden Bruchstücke der Probekörper in einer Schwingmühle zu Pulvern mit einer maximalen Korngröße von $63 \mu\text{m}$ aufgemahlen und anschließend

mittels Röntgenbeugung (XRD) in einem Röntgendiffraktometer der Firma PHILIPS mittels CuK_α -Strahlung analysiert. Das Gefüge wurde mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert. Zur Charakterisierung der Korrosionsbeständigkeit wurde der Tiegeltest nach CEN/TS 15418 durchgeführt, wobei jeweils 30 g saure, intermediäre bzw. basische Braunkohleasche (Filteraschen, RWE AG, Essen) mit der Zusammensetzung gemäß *Tabelle 2* in einen Tiegel der Abmessungen 80 (Länge) × 80 (Breite) × 60 (Höhe) mm³ mit einer zylindrischen Aussparung eines Durchmessers von 40 mm und einer Höhe von 30 mm eingefüllt und anschließend bei 1450 °C für drei Stunden unter vergasungsprozess-ähnlicher CO-Atmosphäre ausgelagert wurden. Nach dem Abkühlen wurde der Probetiegel zersägt, um die von der Korrosion hervorgerufene Schädigung zu bewerten.

Tabelle 2: Zusammensetzung der verwendeten Braunkohlefilteraschen (XFA-Analyse)

Element	Anteil in der Asche (Gew.-%)		
	sauer	intermediär	basisch
O	42,45	40,34	40,47
Si	18,79	17,70	12,55
Al	9,74	1,38	2,86
Ca	6,74	22,19	23,80
Fe	5,01	8,80	5,65
C	4,31	2,73	0,50
Na	3,80	0,46	2,97
Mg	3,14	2,58	4,70
K	2,81	0,13	0,59
S	2,05	2,87	4,81
Ti	0,54	0,11	0,29
Spurenelemente	0,62	0,71	0,81

Ergebnisse und Auswertung Mechanische Eigenschaften

In *Tabelle 3* sind die Schwindung (S), die offene Porosität (OP) und die 3-Punkt-Biegefestigkeit (BF) der AZT-Werkstoffe sowie von Al_2O_3 als Referenzmaterial nach Sinterung bei 1650 °C angegeben. Die offene Porosität (OP) bietet ein Kriterium bezüglich der Schlackeinfiltration. Um die Infiltration - und somit auch die Korrosion - so gering wie möglich halten zu können, sollte die OP von chromoxidfreien Auskleidungsmaterialien für Vergasungsanlagen zwischen 15 und 18 % liegen [14]. Infolge der relativ hohen Sintertemperatur können bereits Anteile der durch die Gießformgebung erzeugten Porosität wieder verschlossen werden, so

dass alle AZT-Materialien eine geringe offene Porosität zwischen lediglich 14 und 16 % aufweisen. Dabei zeigt reines Al_2O_3 den niedrigsten Wert; als Konsequenz der Zugabe von TiO_2 bzw. TiO_2 plus ZrO_2 wird die offene Porosität nur leicht erhöht. Die Zumischung von 5 Gew.-% ZrO_2 bewirkt hingegen eine deutlichere Erhöhung der Porosität.

Tabelle 3: Offene Porosität (OP), Schwindung (S) und 3-Punkt-Biegefestigkeit (BF) der ausgewählten AZT-Gießmassen

	A1650	AZT	AZ5.0	AT5.0	AT2.5
OP (%)	14,2	14,6	15,8	14,6	14,9
S (%)	0,6	1,6	0,5	1,7	0,9
BF (MPa)	32,3	4,5	25,5	10,7	27,0

Außer der optimalen Porosität müssen Auskleidungsmaterialien für Vergasungsanlagen auch eine so hohe Mindestfestigkeit aufweisen, dass sie dem auftretenden Druck - vor allem aus dem Eigengewicht der Ausmauerung resultierend - standhalten können. Erfahrungen haben gezeigt, dass ihre Biegefestigkeit über 20 MPa betragen sollte [14]. Reines Al_2O_3 hat mit etwa 32 MPa den höchsten Festigkeitswert dieser Proben. Wird ZrO_2 als Komponente zu grobem Al_2O_3 beigegeben, sinkt die Festigkeit der Probe (AZ5.0) auf 25,5 MPa. Auch TiO_2 wirkt festigkeitssenkend, wobei der Effekt jedoch deutlich von der zugegebenen TiO_2 -Menge abhängt. Ein TiO_2 -Gehalt von 2,5 Gew.-% (Probe AT2.5) bewirkt einen nur relativ geringen Festigkeitsabfall, wohingegen 5 Gew.-% TiO_2 (Probe AT5.0) die Festigkeit auf nur noch ein Drittel (10,7 MPa) des für Al_2O_3 charakteristischen Werts absenken. Diese geringe Festigkeit kann grenzwertig für einen Einsatz in Vergasungsanlagen sein. Noch deutlicher fällt der Einfluss beider Komponenten auf die Festigkeit von Al_2O_3 aus: Zugabe von jeweils 5 Gew.-% TiO_2 und ZrO_2 (Probe AZT) zu Al_2O_3 erniedrigt nach der Sinterung die Biegefestigkeit auf lediglich noch 4,5 MPa.

Hochtemperatureigenschaften

In *Tabelle 4* sind die bei 1400 °C gemessenen Daten für die Heißbiegefestigkeit und - als Maß für die Thermoschockbeständigkeit - die Restfestigkeit nach Abschreckung mit Druckluft von 800 °C aufgelistet. Al_2O_3 besitzt - im Vergleich zum Zustand bei Raumtemperatur - bei 1400 °C nur noch etwa 50 % seiner Festigkeit. Ein Heißbiegefestigkeitswert von 18 MPa ist für das Material allerdings

ausreichend hoch, um den mechanischen Beanspruchungen während des Vergasungsprozesses standzuhalten. Durch Zugabe von 5 Gew.-% feinkörnigem ZrO_2 zu Al_2O_3 (Probe AZ5.0) kann die Heißbiegefestigkeit deutlich gesteigert werden - auf ca. 23 MPa bei 1400 °C. In Bezug auf die Ausgangsfestigkeit ist bei Probe AZ5.0 somit bis hin zu 1400 °C fast kein Festigkeitsverlust zu beobachten. Die TiO_2 -haltigen AZT-Proben haben hingegen nur sehr geringe Heißbiegefestigkeiten, was für deren Einsatz als Auskleidungsmaterial für Vergasungsanlagen kritisch sein könnte.

Tabelle 4: Heißbiegefestigkeit (HBF) und Restfestigkeit (absolut und prozentual zur Ausgangsfestigkeit) nach Thermoschock (TS) der AZT-Materialien

	A1650	AZT	AZ5.0	AT5.0	AT2.5
HBF (MPa)	18,0	3,9	23,3	3,4	2,8
TS (MPa)	22,8 (71 %)	3,2 (82 %)	21,5 (84 %)	10,0 (93 %)	21,9 (81 %)

Bei der Thermoschockbeständigkeit ergibt sich ein anderes Bild. Während Al_2O_3 nach der Abschreckung mit Druckluft von 800 °C herab einen Festigkeitsverlust von 30 % auf 22,8 MPa erfährt, besitzen die AZT-Materialien überwiegend eine sehr gute Thermoschockresistenz. Für die Proben AT2.5 und AZ5.0 resultieren nach einem Festigkeitsverlust von 19 bzw. 16 % mit etwa 22 MPa die höchsten Restfestigkeiten aller AZT-Werkstoffe und somit - trotz geringerer Ausgangsfestigkeiten - ähnliche Werte wie für Al_2O_3 . Eine Erhöhung des TiO_2 -Gehalts auf 5 Gew.-% bewirkt eine hervorragende Temperaturwechselbeständigkeit der Probe AT5.0, verbunden mit einem Festigkeitsverlust von nur 7 %. Jedoch liegt dann der absolute Festigkeitswert unter dem der Probe mit 2,5 Gew.-% TiO_2 , d. h. durch die Zugabe von geringen Mengen an TiO_2 bzw. ZrO_2 kann die Thermoschockbeständigkeit von Al_2O_3 erhöht werden, wobei im Falle der TiO_2 -Zugabe die damit verbundenen Festigkeitsverluste geringer sind. Die Kombination beider Zusätze in Probe AZT ist zwar ebenfalls mit nur geringen Festigkeitsverlusten von etwa 18 % verbunden, jedoch ergeben sich aufgrund der schon niedrigen Ausgangsfestigkeitswerte auch die geringsten Restfestigkeiten aller AZT-Proben nach dem Thermoschock. Näheren Aufschluss über die Ursachen dafür sollte die Analyse des Phasenbestands bzw. des Gefüges erbringen.

Phasenbestand nach Sinterung (XRD-Analyse)

In *Tabelle 5* sind die mittels XRD-Methode analysierten Hauptphasen der hergestellten AZT-Proben nach Sinterung bei 1650 °C aufgelistet, wobei zur Abschätzung der zu verzeichnenden Konzentration die Rietveld-Methode genutzt worden ist. Probe A1650 besteht überwiegend aus Korund sowie einer geringen Menge an β -Tonerde. In Probe AZT, die Al_2O_3 , TiO_2 und ZrO_2 enthält, ist vor allem erzeugtes Al_2TiO_5 nachweisbar. Weitere Anteile an TiO_2 reagieren mit ZrO_2 zu $Zr_5Ti_7O_{24}$. Aufgrund der dominierenden Reaktion von TiO_2 mit Al_2O_3 zu Aluminiumtitanat (Al_2TiO_5) resultieren jedoch nur geringe Anteile an Zirkoniumtitanat, bis das gesamte eingebrachte TiO_2 für Reaktionen umgesetzt ist. Aus diesem Grund verbleiben in der Probe AZT ebenfalls nur noch etwa 3 % monoklines ZrO_2 , wobei MgO-teilstabilisiertes ZrO_2 als Ausgangsstoff eingesetzt wurde.

Tabelle 5: Nach Sinterung enthaltene Hauptphasen

Probe	Hauptphasen (%)
A1650	$\alpha-Al_2O_3$ (99), $\beta-Al_2O_3$ (1)
AZT	$\alpha-Al_2O_3$ (92), Al_2TiO_5 (4), ZrO_2 (3), $NaTi_2Al_5O_{12}$ (1)
AZ5.0	$\alpha-Al_2O_3$ (94), ZrO_2 (5), $\beta-Al_2O_3$ (1)
AT5.0	$\alpha-Al_2O_3$ (94), $NaTi_2Al_5O_{12}$ (3), Al_2TiO_5 (3)
AT2.5	$\alpha-Al_2O_3$ (97), $NaTi_2Al_5O_{12}$ (2), Al_2TiO_5

Da ZrO_2 nicht mit Al_2O_3 reagiert, besteht Probe AZ5.0 nach Sinterung aus den Phasen Korund und ZrO_2 , das wiederum in der monoklinen Modifikation vorliegt. Probe AT5.0, die aus Al_2O_3 und TiO_2 besteht, enthält einen hohen Anteil an Korund sowie zusätzlich Aluminiumtitanat wie auch $NaTi_2Al_5O_{12}$. Entweder hat das Aluminiumtitanat mit Na_2O oder haben Al_2O_3 und TiO_2 mit Na_2O zu $NaTi_2Al_5O_{12}$ reagiert [24]. Aufschluss über die Entstehung dieser Phase könnte eine Gefügeaufnahme im REM liefern. Als Na_2O -Quelle kommt nur eine herstellungsbedingte Verunreinigung der Ausgangsrohstoffe in Frage. Da auch die Probe AT2.5 mit 2,5 % TiO_2 neben einer geringen Konzentration an Al_2TiO_5 die Phase $NaTi_2Al_5O_{12}$ enthält, scheint die Bildungsreaktion von $NaTi_2Al_5O_{12}$ solange abzulaufen, bis der gesamte Na_2O -Gehalt aufgebraucht ist. Ein eventueller Rest-Anteil von TiO_2 wurde mittels XRD-Methode in den Proben nicht gefunden. Neben Korund liegen demnach in den entwickelten AZT-Materialien ZrO_2 ,

Al_2TiO_5 sowie $NaTi_2Al_5O_{12}$ vor. Diese Phasen können maßgeblich die Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 beeinflussen.

Gefügeanalyse mittels REM

Eine Analyse des Gefüges kann häufig Aufschluss über die Ursachen von Unterschieden bei den mechanischen Eigenschaften keramischer Werkstoffe geben. Die REM-Aufnahme der Probe AZT (*Abb. 1*) belegt, dass diese ein inhomogenes Gefüge mit groben und feinen Al_2O_3 -Körnern besitzt. Zwischen diesen (dunkelgrau dargestellt) sind unterschiedliche Bereiche zu erkennen, die unregelmäßig verteilt vorliegen (*Abb. 1b*). Dabei handelt es sich um ZrO_2 (weiß) sowie Al_2TiO_5 (hellgrau).

Bei höherer Vergrößerung sind zusätzlich nadel- bzw. stängelförmige Kristallformen erkennbar, die aus der Al_2TiO_5 -Phase heraus sowie zwischen den Al_2O_3 -Körnern

wachsen (*Abb. 2a*). Anhand einer EDS-Analyse konnte nachgewiesen werden, dass es sich bei diesen Kristallen um $NaTi_2Al_5O_{12}$ handelt, das demnach aus der Al_2TiO_5 -Phase hervorgeht (*Abb. 2b*).

Im Unterschied zur Probe AZT ist das Gefüge der Probe AZ5.0 deutlich homogener und auch feinkörniger, wobei Bereiche mit hohem sowie solche mit geringem ZrO_2 -Anteil zu erkennen sind (*Abb. 3a*). Die Korngröße der meisten ZrO_2 -Körner liegt deutlich unterhalb derer des ZrO_2 in der AZT-Probe, das eine solche von etwa 50 μm aufweist. Mit dem Vorliegen eines derart feinkörnigen und homogenen Gefüges lässt sich die hohe Festigkeit der Probe AZ5.0 erklären.

Abb. 4 zeigt eine REM-Aufnahme des Gefüges der Probe AT5.0, das eine Vielzahl feiner Poren erkennen lässt. Es liegen grobe (50 μm) und feine Al_2O_3 -Körner vor, zwischen denen Al_2TiO_5 bzw. $NaTi_2Al_5O_{12}$

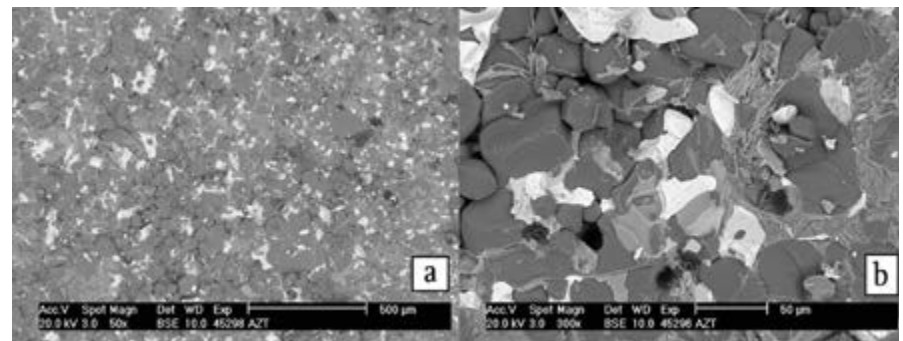


Abb. 1: REM-Aufnahme des Gefüges der Probe AZT

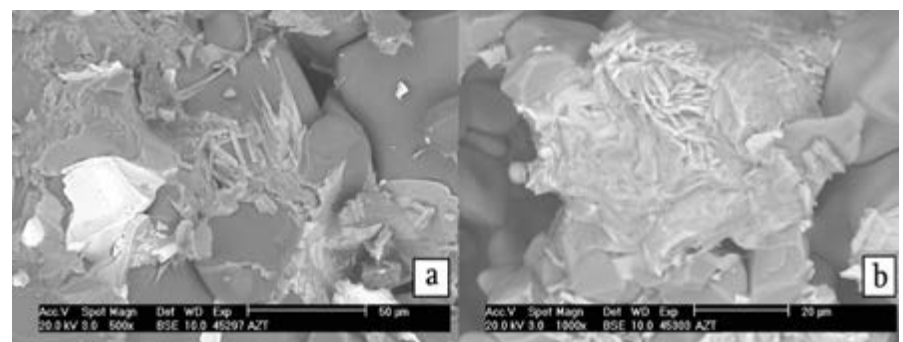


Bild 2: REM-Aufnahme von $NaTi_2Al_5O_{12}$ -Nadeln im Gefüge der Probe AZT

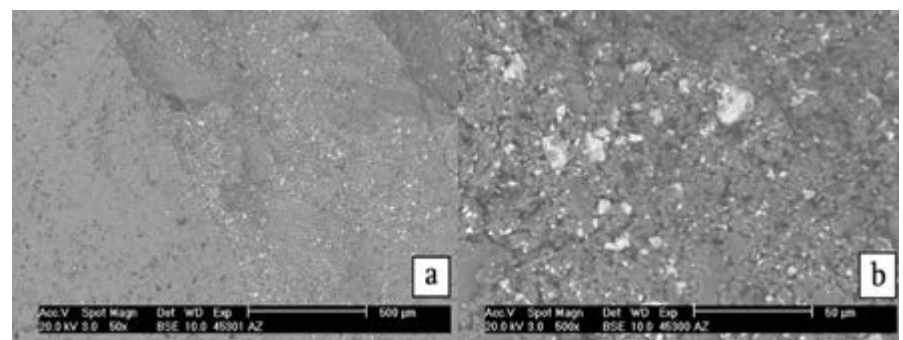


Abb. 3: REM-Aufnahme des Gefüges der Probe AZ5.0

ungleichmäßig verteilt sind. Auffällig sind auch die teilweise recht großen Abstände zwischen den Al_2O_3 -Körnern, die bereits bei der Probe AZT zu beobachten waren. Diese könnten durch die Bildung der $\text{NaTi}_2\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -Nadeln verursacht worden sein, die zwischen die Körner hineingewachsen sind. Das dadurch lockere Gefüge liefert eine Erklärung für die niedrigen Festigkeitswerte.

Das Gefüge der Probe AT2.5 ähnelt dem der Probe AT5.0, wobei teilweise auch homogenere Bereiche mit großen Al_2O_3 -Teilchen mit Korngrößen von etwa 250 μm zu erkennen sind. Die REM-Aufnahme der Probe AT2.5 (Abb. 5), bei der auch ein EDS-Mapping mit den Elementen Al, Ti, Na und O durchgeführt wurde, verdeutlicht die Bildung der $\text{NaTi}_2\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -Phase aus Al_2TiO_5 . Die hellgrau dargestellte Phase ist Al_2TiO_5 – zusätzlich sind beim Al_2TiO_5 Natriumionen nachweisbar, die die Ausbildung der nadelförmigen Kristallit-Morphologie bedingen.

Die AZT-Materialien offenbaren in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung beim Vergleich der für sie erzielten Gefügeanalyse-Ergebnisse deutliche Unterschiede, die sich in den Materialeigenschaften widerspiegeln. Enthält die Probe neben Al_2O_3 nur ZrO_2 , so bildet sich ein feinkörniges, homogenes Gefüge mit hoher Festigkeit aus. Die relativ große offene Porosität der Probe AZ5.0 resultiert daraus, dass die beiden Ausgangskomponenten chemisch nicht miteinander reagieren. Wird hingegen anstelle von ZrO_2 Titandioxid in das Al_2O_3 -Gefüge eingebracht, so sind porösere, inhomogenere Strukturen sowie größere Abstände zwischen den Al_2O_3 -Körnern typisch. Dabei bedingt ein höherer TiO_2 -Gehalt aufgrund der Bildung von $\text{NaTi}_2\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -Nadeln auch eine größere Inhomogenität des Gefüges, was zu einer Verminderung der Festigkeit führt. Negative Auswirkungen auf die offene Porosität sind jedoch nicht zu konstatieren. Die Probe AZT, in der sich

ZrO_2 , TiO_2 und Al_2O_3 befinden, besitzt die niedrigste Festigkeit. Ein signifikanter Unterschied zu den Gefügen der anderen Probekörper besteht dabei vor allem in den deutlich größeren ZrO_2 -Korngrößen. Eine Erhöhung der Porosität ist aber auch bei dieser Probe nicht zu registrieren. Demnach scheinen vor allem hohe TiO_2 -Gehalte die Mikrostruktur von Al_2O_3 aufzuweiten und deren Zusammenhalt zu schwächen. Dabei geraten die Al_2O_3 -Körner jedoch unter Druckspannung, was die Thermochockbeständigkeit erhöht. Die offene Porosität der AZT-Materialprobe bleibt nach deren Sinterung jedoch hinreichend niedrig, um eine Schlackeinfiltration zu verhindern.

Ermittlung der Korrosionsbeständigkeit gegenüber Kohleschlacken

Um den Einfluss der ZrO_2 - und TiO_2 -Zusätze auf die Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 zu erfassen, wurden Korrosionstests an Tiegeln, die aus den neuentwickelten AZT-Materialien hergestellt worden waren, mit *saurer*, *intermediärer* und *basischer* Kohleasche als Korrosionsmedium durchgeführt. Abb. 6 zeigt die Wechselwirkung von Al_2O_3 -Tiegeln der Probe A1650 mit *saurer*, *intermediärer* und *basischer* Kohleasche. In jedem Fall dringt jeweils die gesamte Schlackemenge in die Al_2O_3 -Tiegel ein. Die *intermediäre* Schlacke verursacht die größten Schädigungen, wobei eine starke Rissbildung im infiltrierte Bereich sowie eine Auflösung der Tiegelmatrix zu beobachten sind. Die Infiltration der Tiegel durch *saurer* oder *basischer* Schlacke führt ebenfalls zu Rissbildung und Auflösung der Tiegelmatrix. Im Kontakt mit *basischer* Schlacke kommt es zu einer zusätzlichen schädigenden chemischen Wechselwirkung mit dem Tiegelmateriale.

In Abb. 7 sind die Tiegel aus Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien nach dem Test bei 1450 °C für 3 h in CO -Atmosphäre mit *intermediärer* Braunkohleasche als Korrosionsmedium dargestellt. Die Schlacke ist jeweils komplett in alle Tiegel eingedrungen und hat bei den Proben AZ5.0 und AZT sowie besonders in der Probe AT5.0 eine starke Rissbildung verursacht. Im Gegensatz dazu ist bei der Probe AT2.5 mit 2,5 Gew.-% TiO_2 – trotz Infiltration – makroskopisch keine chemische Wechselwirkung mit der Schlacke (Materialschädigung) zu erkennen.

Das Material von Probe AT2.5 kommt daher potenziell als Auskleidungsmaterial für Vergasungsanlagen in Betracht, in

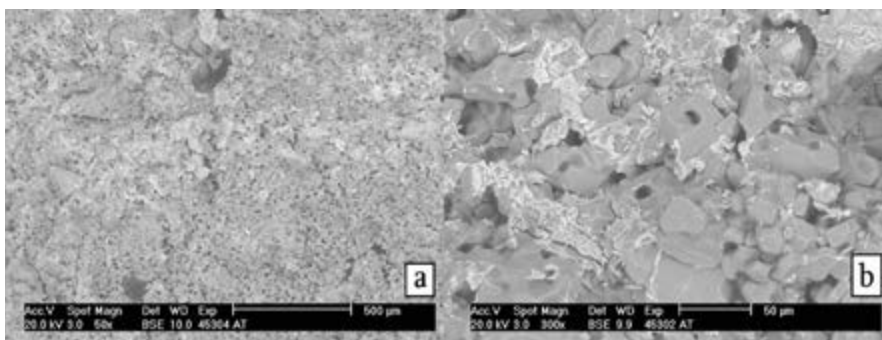


Abb. 4: REM-Aufnahme des Gefüges der Probe AT5.0

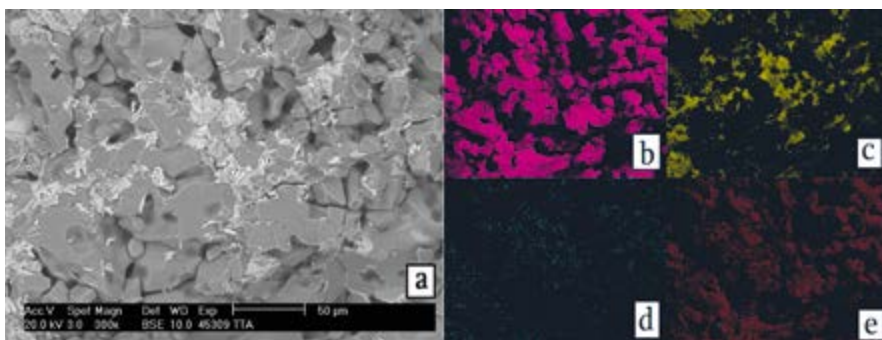


Abb. 5: REM-Aufnahme der Probe AT2.5 (a) sowie zugehöriges EDS-Mapping der Elemente Al (b), Ti (c), Na (d) und O (e)

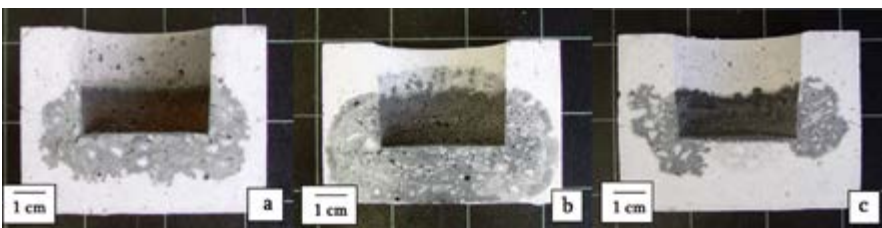


Abb. 6: Al_2O_3 -Tiegel der Zusammensetzung A1650 nach den Korrosionstests bei 1450 °C für 3 h in CO -Atmosphäre mit *saurer* (a), *intermediärer* (b) und *basischer* Braunkohleasche (c)

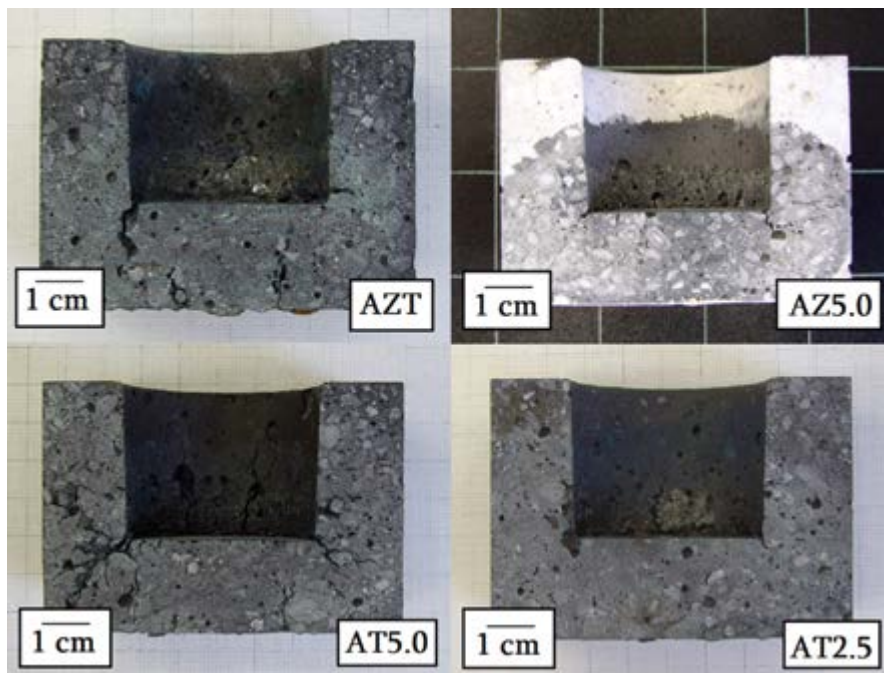


Abb. 7: Wechselwirkung der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien mit *intermediärer* Braunkohlesche nach dem Tiegeltest für 3 h bei 1450 °C in CO-Atmosphäre

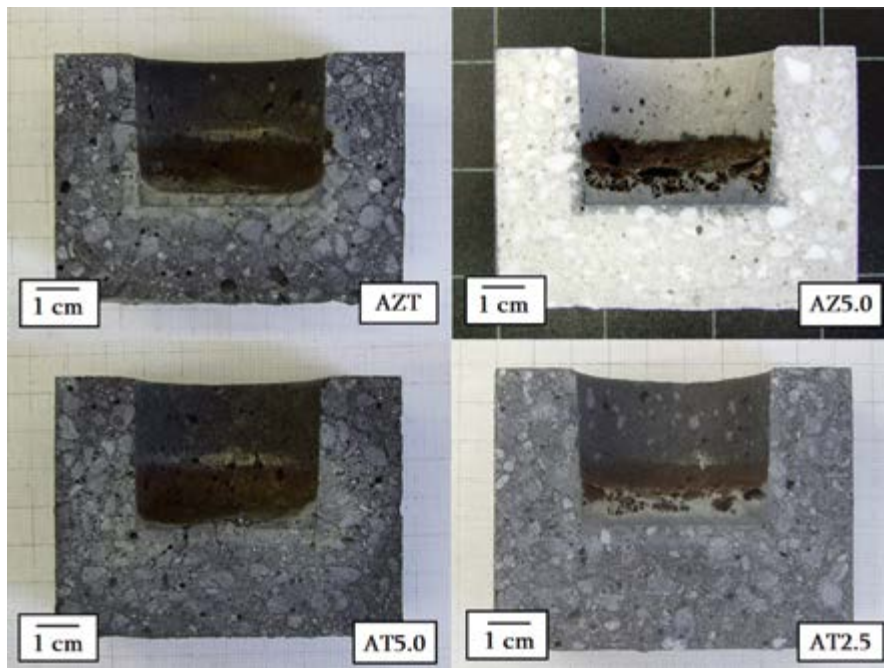


Abb. 8: Wechselwirkung der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Werkstoffe mit *saurer* Braunkohlesche nach dem Tiegeltest für 3 h bei 1450 °C in CO-Atmosphäre

denen besonders korrosive intermediäre Schlacken mit niedrigen Eutektika auftreten. Allerdings sollte vorher noch der Einfluss von Temperaturschwankungen auf die mit Schlacke infiltrierten Bereiche des Materials untersucht werden, da die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten möglicherweise ein Abplatzen („Spalling“) verursachen können.

Abb. 8 demonstriert die Veränderungen der Tiegel aus Al_2O_3 -Materialien mit ZrO_2 - und TiO_2 -Zusätzen nach einem

Korrosionstest mit *saurer* Braunkohlesche bei 1450 °C für 3 h in CO-Atmosphäre. Im Vergleich zu den Korrosionstests mit *intermediärer* zeigen die Tiegel eine deutlich geringere Infiltration durch *saurer* Schlacke, d. h. die Infiltrationsneigung der Aschen hängt von ihrem Säure/Base-Charakter ab. Die Probe AT5.0 weist die geringste Rest-Menge an Schlacke im Tiegel auf; sie wird demnach am stärksten infiltriert. Außerdem erleidet das Tiegelmaterial AT5.0 eine Rissbildung – ausgehend

von der Schlacke-Tiegel-Grenzschicht. Die Probetiegel AZT und AZ5.0 zeigen nur eine geringere Schlackeeinfiltration mit Eindringtiefen von etwa 2 mm. Makroskopisch ist keine Rissbildung zu erkennen. Durch die Zugabe von 2,5 Gew.-% TiO_2 kann die Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 gegenüber *saurer* Kohleschlacke ebenfalls erheblich verbessert werden. Am betreffenden Tiegelmaterial war makroskopisch keine Schlackeeinfiltration zu beobachten. In Tiegelmaterial-Nähe scheint sich die Schlackenbeschaffenheit zu verändern, erkennbar an einer Graufärbung. Dies ist ein Hinweis auf eine mögliche Wechselwirkung des TiO_2 mit der Schlacke, wodurch sich deren chemische Reaktivität verändert und die Infiltrationsneigung verringert wird. Der Grad der Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit ist allerdings auch vom TiO_2 -Gehalt abhängig; mit steigendem TiO_2 -Gehalt erreicht er ein Maximum.

Ausgehend von den erhaltenen Versuchsergebnissen kann die im Vergleich zu Al_2O_3 höhere Korrosionsbeständigkeit der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien gegenüber Kohleschlacken mit ihrer spezifischen Mikrostruktur und als Folge von Wechselwirkungen des ZrO_2 - und TiO_2 -haltigen Al_2O_3 -Gefüges mit den Aschenkomponenten erklärt werden. Hierdurch wird die Schlackeeinfiltration verlangsamt oder sogar gestoppt. Zur detaillierten Klärung dieser potenziellen Effekte wurde die Schlacke/Tiegel-Grenzschicht bzw. der Infiltrationsbereich ausgewählter Proben im REM analysiert.

Abb. 9 zeigt die Region Schlacke/Tiegel-Übergang der Probe AZ5.0 bei verschiedenen Vergrößerungen. In der Matrix sind sehr gut die groben Al_2O_3 -Körner sowie gleichmäßig verteilte ZrO_2 -Partikel erkennbar, Abb. 9b. Ein Teil der Schlacke dringt in das Tiegel-Material ein und greift es an, Abb. 9b. Dabei werden teilweise Bestandteile des Tiegelmaterials herausgelöst, da ZrO_2 auch in Tiegelmaterialnähe in der Schlacke gefunden wird. Die Infiltration durch Schlacke wird jedoch im Progress des Korrosionstests stark verlangsamt oder gar gestoppt, so dass während des Abkühlens des Tiegeltestmaterials die Schlacke im Tiegel erstarrt. Dabei bilden sich charakteristische Kristallformen in der Schlacke aus.

In Abb. 9 ist eine dünne graue Schicht auf dem Tiegelmaterial auffällig, die kaum ZrO_2 enthält. EDS-Punktanalysen dieser Schicht haben ergeben, dass die Reaktionsschicht eine Dicke von etwa 20 μm

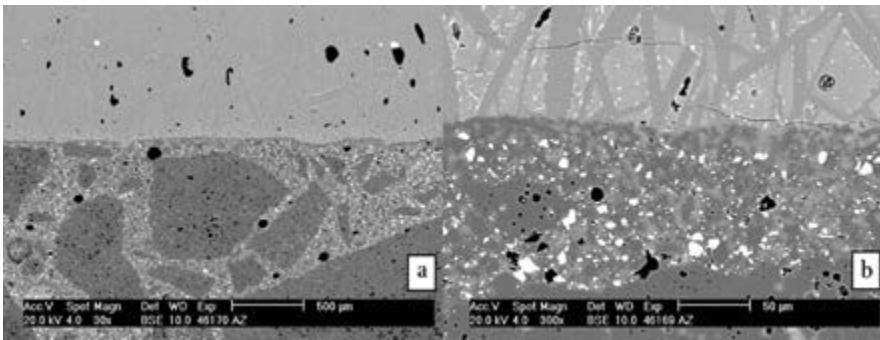


Abb. 9: Schlacke-Tiegel-Übergang der Probe AZ5.0 bei 30-facher (a) sowie 300-facher Vergrößerung (b)

aufweist, zu je gleichen Teilen aus MgO und Al_2O_3 , d.h. aus Magnesium-Aluminium-Spinell, besteht. Unterhalb dieser Spinell-Schicht, die sich in situ während des Korrosionstests bildet, liegt die Al_2O_3 -Matrix, Abb. 10.

Wie Abb. 11 belegt, wird auch in der Region des Schlacke/Tiegelmaterial-Übergangs der Probe AT2.5 (bei höherer Vergrößerung gut zu erkennen) wie bereits in Probe AZ5.0 eine schützende Spinell-Schicht auf dem Tiegelmaterial gebildet. Das Ausmaß von Infiltration bzw. Auflösung durch Schlacke ist jedoch deutlich geringer, da z. B. kein TiO_2 in der Schlacke nachweisbar ist. Demnach scheint sich die Spinell-Schicht – je nach Materialzusammensetzung – unterschiedlich schnell auszubilden. Eine möglichst frühzeitig formierte Schutzschicht dämpft die Infiltration besser.

Bemerkenswert erscheint jedoch, dass die In-situ-Bildung der Spinellschicht aus Tiegel- Al_2O_3 und MgO der Schlacke beim Test des reinen Al_2O_3 -Tiegelmaterials (A1650) nicht auftrat. Eine Erklärung dafür könnten Einflüsse einzelner Komponenten auf die Geschwindigkeit der Spinellbildung geben; möglicherweise wirken bestimmte Komponenten aktivierend. Beispielsweise ist die fördernde Wirkung von SiO_2 , aber auch von LiF , CaF_2 und Cr_2O_3 , auf die In-situ-Spinell-Bildung bereits hinreichend bekannt [25–28]. Samanta et al. fanden in ihren Untersuchungen auch einen stimulierenden Einfluss von TiO_2 : Nach Zugabe von Titandioxid erhöhte sich der Gehalt an gebildetem Spinell in einer Alumina-Magnesia-Gießmasse deutlich. Die größte Konzentration an Spinell resultierte bei einer TiO_2 -Zugabe von 4,3 bis 8,7 Gew.-%. Eine fördernde Wirkung von ZrO_2 auf die Spinell-Bildung ist bislang nicht dokumentiert. Knauss und Gruver haben Al_2O_3 - ZrO_2 -Körner zu einem Magnesia-Spinell-Stein zugegeben. Das Zirkondioxid reagierte dabei mit CaO in der Probe unter Bildung von $CaZrO_3$, wodurch sich

die Korrosionsbeständigkeit des Spinells gegenüber Calciumsilikaten erhöhte [29]. $CaZrO_3$ war in unseren Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Probekörpern jedoch nicht nachweisbar.

Die Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Tiegelmaterialien zeigen nach dem Korrosionstest bei 1450 °C für 3 h in CO-Atmosphäre mit basischer Braunkohleasche ein von den anderen Proben abweichendes Korrosionsergebnis. Die Proben AZ5.0, AT5.0 und AT2.5 wurden jeweils von der gesamten

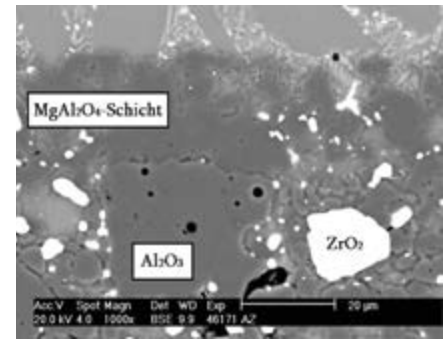


Abb. 10: Spinell-Reaktionsschicht zwischen dem AZ5.0-Tiegelmaterial und der Schlacke

basischen Schlacke infiltriert. Die Infiltration des AZ5.0-Tiegels fand vorwiegend über jene Seite statt, an der sich offenbar eine Schwachstelle – große Pore oder Riss (entstanden bei der Gießformgebung) – befand. Demnach wird während des Korrosionsversuchs mit basischer Schlacke keine schützende Spinell-Schicht erzeugt, obwohl diese sogar einen höheren MgO-Anteil als die saure Schlacke aufweist.

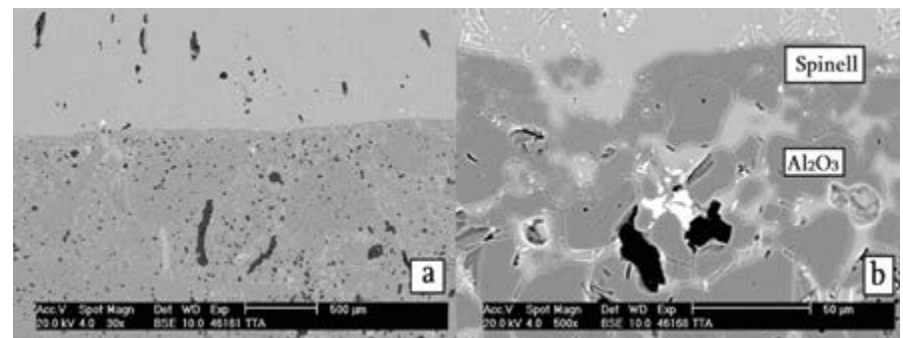


Abb. 11: Schlacke/Tiegel-Übergang der Probe AT2.5 (a) sowie Spinell-Reaktionsschicht (b)

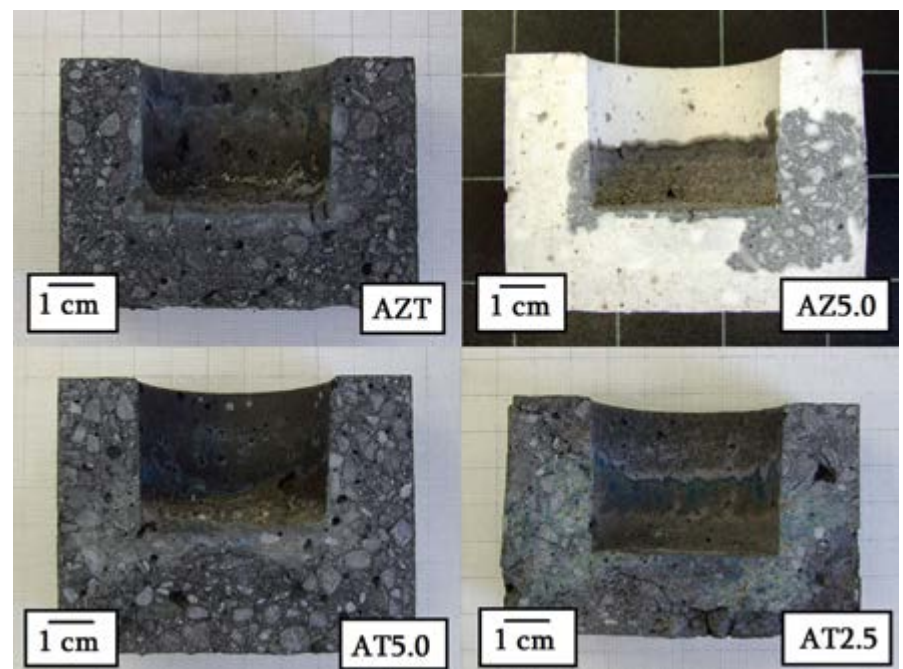


Abb. 12: Wechselwirkung der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien mit basischer Braunkohleasche nach dem Tiegeltest für 3 h bei 1450 °C in CO-Atmosphäre

Die Risse, die im Tiegel AT2.5 erkennbar sind, wurden durch das Entformen nach dem Gießen verursacht. Da sie an der Außenseite des Tiegels lokalisiert waren, beeinflussten sie nicht die Schlackeeinfiltration. An den Tiegeln ist keine zusätzliche Rissbildung, die aus einer korrosiven Wechselwirkung mit der *basischen* Schlacke entspringen könnte, zu beobachten. Bei der Probe AZT beträgt die Schlackeeindringtiefe nur etwa 1 bis 2 mm. Diese Resultate belegen, dass ZrO_2 und TiO_2 die Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 gegenüber den Hauptkomponenten der *basischen* Schlacke (CaO , SiO_2 , SO_3) erhöhen.

Die Korrosionstests an den Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Tiegeln erbrachten – abhängig vom Säure/Base-Charakter (*saurer*, *intermediärer* und *basischer*) der Kohleschlacke – unterschiedliche Ergebnisse: Die Tiegelmateriale werden stark durch *basische* (mit Ausnahme der Probe AZT) und *intermediäre* Schlacken (mit Ausnahme der Probe AT2.5) infiltriert, wohingegen sie aber gegenüber *saurer* Schlacke sehr beständig sind – infolge der In-situ-Bildung einer Spinell-Schutzschicht aus Al_2O_3 mit dem MgO der *saurer* Schlacke, begünstigt durch TiO_2 . Ein Einfluss der auftretenden $NaTi_2Al_5O_{12}$ -Phase auf die In-situ-Spinell-Bildung war nicht erkennbar. Im Probenkontakt mit *basischer* Schlacke bildet sich keine Spinell-Schutzschicht aus, obwohl dieses Medium einen höheren MgO -Gehalt aufwies. Demnach hängt das Ausmaß der Korrosion der getesteten Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien von der chemischen Zusammensetzung und von der Viskosität der Schlacke ab: Je niedriger die Viskosität, desto intensiver die Schlackeeinfiltration. Das Materialgefüge spielt ebenfalls eine wichtige Rolle; eine kompakte Mikrostruktur dämpft die Schlackeeinfiltration. Da sich die Spinell-Schicht in situ jedoch nur relativ langsam ausbildet, ist sie nur in solchen Proben nachweisbar, die nicht rapid vom Großteil der Schlacke infiltriert oder aufgelöst werden. All diese Faktoren sind verantwortlich für die unterschiedlichen Korrosionsergebnisse in Abhängigkeit von der Art der Schlacke und der Zusammensetzung der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Probenmaterialien.

Zusammenfassung

In Bezug auf die angestrebte Erhöhung der Effizienz und Umweltverträglichkeit von Flugstromvergasungsanlagen wurden auf Al_2O_3 basierende Materialien mit unterschiedlichen ZrO_2 - und TiO_2 -Gehalten

hergestellt und deren für die Auskleidung von Kohlevergasungsanlagen relevante Eigenschaften getestet. Mit TiO_2 reagiert Al_2O_3 bei der Sinterung bis $1650\text{ }^\circ\text{C}$ bevorzugt zu Aluminiumtitanat. Bei Anwesenheit von Na_2O im Ausgangsstoff entsteht anschließend aus Al_2TiO_5 eine nadelförmige $NaTi_2Al_5O_{12}$ -Phase, die zwischen die Al_2O_3 -Körner hineinwächst, wodurch diese unter Druckspannungen geraten und sich die Thermoschockbeständigkeit der Materialien erhöht. Enthält die Materialprobe jedoch zu große Konzentrationen an $NaTi_2Al_5O_{12}$ -Phase, wird das Gefüge durch die wachsenden Nadeln so aufgeweitet, dass eine Schwächung der Struktur mit der Folge der Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Al_2O_3 -Probekörpers mit 5 Gew.-% TiO_2 eintritt.

Bei den Korrosionstests (Tiegeltest für drei Stunden bei $1450\text{ }^\circ\text{C}$ in CO -Atmosphäre) mit *intermediärer* Kohleschlacke drang diese komplett in das Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Material ein und verursachte intensive Rissbildung. Eine Ausnahme war die Materialprobe mit 2,5 Gew.-% TiO_2 , die trotz Schlackeeinfiltration makroskopisch gesehen keine Schädigung des Gefüges erlitt. Die Möglichkeit des Abplatzens der infiltrierten Materialregion – verursacht durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten bei Temperaturschwankungen – sollte jedoch bei einem eventuellen Einsatz dieses Materials in Vergasungsanlagen mit *intermediärer* Schlacke ins Kalkül gezogen werden. In Kontakt mit *saurer* Kohleschlacke zeigten die Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Materialien eine deutlich höhere Korrosionsbeständigkeit und eine nur geringe Schlackeeinfiltration. Die Schlacke dringt zwar zunächst wenige Millimeter tief in das Material ein und löst auch Teile der Matrix heraus, was anhand des Auftretens von ZrO_2 in der Schlacke nachweisbar war. Im weiteren Prozessverlauf bildet sich auf dem Material jedoch eine dünne Spinell-Schutzschicht aus, die aus der chemischen Reaktion des Al_2O_3 mit dem MgO -Anteil der Schlacke entsteht. Diese etwa $20\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schutzschicht verhindert die weitere Infiltration des Materials durch Schlacke sowie das Herauslösen von Material. TiO_2 und ZrO_2 beeinflussen die Erzeugung der Schicht auf unterschiedliche Weise. Titandioxid ist für die Stimulierung der In-situ-Spinell-Bildung bekannt, sodass eine höhere Korrosionsbeständigkeit durch TiO_2 -Zugabe zu Al_2O_3 erzielt werden kann. Als Konsequenz der simultanen Zugabe der beiden Komponenten TiO_2 und ZrO_2 zu

Al_2O_3 resultiert ein Materialgefüge mit relativ hoher Korrosionsbeständigkeit der Probekörper gegenüber einer *basischen* Schlacke. Diese Erkenntnisse am Beispiel der Al_2O_3 - ZrO_2 - TiO_2 -Probekörper eröffnen einen Weg zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit von Al_2O_3 gegenüber Kohleschlacke: Es sind Materialkomponenten einzubringen, die mit einem Schlackebestandteil zu einer Schutzschicht auf dem Al_2O_3 -Material reagieren, die schließlich dessen Infiltration und Auflösung durch Schlacke verhindert.

Danksagung

Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen des Deutschen EnergieRohstoff-Zentrums (DER) gefördert. Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie unseren Industriepartnern für die Finanzierung dieses Vorhabens. Weiterhin danken wir Herrn Dr. G. Schmidt für die REM-Untersuchungen, Herrn Dr. M. Schreiner für dessen Unterstützung bei der Durchführung der Korrosionstests sowie Herrn Dr. M. Neuroth für die Bereitstellung der Kohleaschen.

Literatur

- 1 B. Cramer und H. Andruleit: Energierohstoffe 2009 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2009, S. 148-149.
- 2 U. Mahgagaokar und A. B. Krewinghaus: Coal Conversion Processes (Gasification), Kapitel in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, herausgegeben von J. I. Kroschwitz und M. Howe-Grant, John Wiley & Sons, V. 6, 1992, S. 541-568.
- 3 C. P. Dogan et al.: Refractory loss in slagging gasifiers, Proceedings of Unified International Technical Conference on Refractories (2001), Vol. 1, S. 270-275.
- 4 M. E. Fahrion: Materials Testing at Cool Water Coal Gasification Plant, Mat. At High Temp., Vol. 11, No. 1-4 (1993), S. 107-112.
- 5 W. T. Bakker: Refractories for Present and Future Electric Power Plants, Key Engineering Materials, Trans Tech Publications 88 (1993), S. 41-70.
- 6 R. E. Dial: Refractories for Coal Gasification and Liquefaction, Cer. Bul., Vol. 54, No. 7 (1975), S. 640-643.
- 7 M. S. Crowley: Refractory Problems in Coal Gasification Reactors, Cer. Bul., Vol. 54, No. 12 (1975), S. 1072-1074.
- 8 C. R. Kennedy et al.: Evaluation of Ceramic Refractories for Slagging Gasifiers: Summary of Progress to Date, USDOE ANL-report 78-61, 1978, S. 56.
- 9 C. R. Kennedy and R. B. Poepel: Corrosion Resistance of Refractories Exposed to Molten Acidic Coal-Ash Slags, Intereram 3, (1978), S. 221-226.
- 10 W. T. Bakker et al.: Refractory Practice in Slagging Gasifiers, Amer. Ceram. Soc. Bulletin, Vol. 63, No. 7, 1984, S. 870-876.
- 11 J. A. Bonar, C. R. Kennedy, and R. B. Swaroop: Coal-Ash Slag Attack and Corrosion of Refractories, Amer. Ceram. Soc. Bulletin, Vol. 59, No. 4, (1980), S. 473-478.

- 12 S. Greenberg and R. B. Poepfel: The Corrosion of Ceramic Refractories Exposed to a Synthetic Coal Slag by Means of the Rotating-Drum Technique, USDOE ANL/FE-85-9, S. 15.
- 13 G. Sorell et al.: Material Technology Constraints and Needs in Fossil Fuel Conversion and Upgrading Processes, Int. Metals Reviews, Vol. 31, No. 5, 1986, S. 216–242.
- 14 J. P. Bennett et al.: Low chrome/chrome free refractories for slagging gasifiers, DOE research report, NETL-IR-2006-119,
- 15 P. Gehre et al.: Investigation of slag containing refractory materials for gasification processes, Journal of the European Ceramic Society 32 (2012) S. 4051–4062,
- 16 F. J. Parker: $\text{Al}_2\text{TiO}_5\text{-ZrTiO}_4\text{-ZrO}_2$ composites: A new family of low-thermal-expansion ceramics, Journal of the American Ceramic Society 73 (1990), S. 929–932,
- 17 I. J. Kim et al.: Crack healing, reopening and thermal expansion behavior of Al_2TiO_5 ceramics at high temperature, Key Engineering Materials 336338 (2007), S. 2448–2450.
- 18 C. G. Aneziris et al.: Microstructure evaluation of Al_2O_3 ceramics with Mg-PSZ- and TiO_2 -additions, Journal of the European Ceramic Society 27 (2007), S. 3191–3199.
- 19 P. Virro-Nic et al.: Thermal expansion and microstructures of melted $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiO}_2$ ceramics, Journal of Materials Science Letters 13 (1994), S. 950–954.
- 20 C. G. Aneziris et al.: Thermal shock performance of fine grained Al_2O_3 ceramics with TiO_2 and ZrO_2 additions for refractory applications, Advanced Engineering Materials 12 (2010), S. 478–485.
- 21 C. G. Aneziris et al.: Thermal shock behavior of flame-sprayed free-standing coatings based on Al_2O_3 with TiO_2 - and ZrO_2 -additions, International Journal of Applied Ceramic Technology 8 (2011), S. 953–964.
- 22 J. A. Bonar et al.: Coal-ash slag attack and corrosion of refractories, American Ceramic Society Bulletin 59 (1980), S. 473–478.
- 23 J. E. Funk und D. R. Dinger: Particle packing VI - applications of particle size distribution concepts, Inter-ceram 43 (1994), S. 350–353.
- 24 W. G. Mumme und A. D. Wadsley: The crystal structure of $\text{NaTi}_2\text{Al}_5\text{O}_{12}$, Acta Crystallographica 23 (1967), S. 754–758.
- 25 J.-L. Huang et al.: Investigation of high-alumina spinel: Effect of LiF and CaCO_3 addition, Journal of the American Ceramic Society 80 (1997), S. 3237–3241.
- 26 P. Nandi et al.: Influence of silica and magnesia on in situ spinel formation in alumina-magnesia castable, British Ceramic Transactions 103 (2004), S. 134–138.
- 27 A. Samanta et al.: Effect of TiO_2 addition in the matrix composition of alumina-magnesia castable towards formation of different phases and associated properties, Taikabutsu Overseas 31 (2011), S. 164–172.
- 28 R. Sarkar et al.: Effect of addition of Cr_2O_3 on the properties of reaction sintered $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ spinels, Journal of the European Ceramic Society 22 (2002), S. 1243–1250.
- 29 R. Knauss und S. Gruve: Magnesia-spinel bricks for the future, World Cement 32 (2001), S. 41–42.

Virtualisierung ressourcenschonender Technologie-Optionen

Andreas Richter¹, Bernd Meyer¹

Einleitung

Ob Mineralstoffe, Kunststoffe oder Metalle: Nahezu sämtliche Basisprodukte des täglichen Lebens durchlaufen während ihrer Herstellung energieintensive Hochtemperatur-Konversionsprozesse. Diese finden bei Temperaturen bis teilweise über 2000 °C und hohen Drücken bis ca. 60 bar statt und verursachen – prozessbedingt – hohe CO_2 -Emissionen. Vor dem Hintergrund der Energiewende und der sich ändernden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, beispielsweise bei den Rohstoff- und Energiepreisen, stellen sich neue technologische Herausforderungen. Einerseits werden neue, ressourcenschonendere Konversionstechnologien benötigt, andererseits müssen etablierte Technologien schneller als bisher weiterentwickelt werden, beispielsweise bezüglich höherer Anforderungen in puncto Toleranz gegenüber wechselnden Einsatzstoffen oder hoher Lastflexibilität. Der zeit- und kostenaufwendige klassische Entwicklungsweg für neue Technologien, der normalerweise vom Labormaßstab über die Pilot- bis zur ersten Demonstrationsanlage führt, stößt hier an seine Grenzen.

Vor diesem Hintergrund ist 2009 das Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK) Virtuhcon (**Virtual High Temperature Conversion Processes**) angetreten, um mithilfe der Virtualisierung effiziente Werkzeuge zur Technologieentwicklung zur Verfügung zu stellen. Virtualisierung bezeichnet die weitgehende bis vollständige Erfassung und Abbildung realer Prozesse mittels mathematisch-naturwissenschaftlicher Modelle und ihre vorausschauende Simulation. *Abb. 1* illustriert die Prozessentwicklung am Beispiel der Hochdruck-Partialoxidation von Erdgas, einem weitverbreiteten Verfahren zur Gewinnung von Synthesegas als chemischen Basisstoff. Der reale Prozess (in der Regel im Labor- oder Pilotmaßstab) wird im Rechner virtuell abgebildet. Der Vergleich von Messdaten mit den Werten aus dem Rechenmodell liefert eine Aussage über die Zuverlässigkeit der numerischen Ergebnisse. Das Modell dient nun als Grundlage für die systematische,

¹ ZIK Virtuhcon, TU Bergakademie Freiberg
Reiche Zeche, Fuchsmühlenweg 9
09599 Freiberg, bmeyer@iec.tu-freiberg.de



Abb. 1: Entwicklung neuer Technologien und deren Übertragung in den Industriemaßstab – am Beispiel der nichtkatalytischen Partialoxidation von Erdgas

virtuelle Erprobung neuer Konzepte. Der daraus resultierende optimale Prototyp wird anschließend experimentell überprüft und im letzten Schritt mithilfe einer numerischen Simulation auf großtechnische Maßstäbe übertragen. Im Ergebnis stehen optimierte und an den großtechnischen Maßstab angepasste Verfahren, deren Funktionalität umfassend virtuell abgesichert ist.

Neue Ansätze für die Flugstromvergasung

Hochtemperatur-Konversionsprozesse sind eine besondere Herausforderung für die Virtualisierungswerkzeuge, da hier komplexe Mehrphasenströmungen, multiple Stoffumwandlungsvorgänge, hohe Drücke und sich räumlich und zeitlich stark ändernde Stoffeigenschaften aufeinander treffen. Die Hochtemperatur-/Hochdruckumgebung verhindert zudem oftmals den direkten experimentellen Zugang zum Prozessgeschehen.

Der Schwerpunkt der ersten, inzwischen erfolgreich abgeschlossenen Phase von Virtuhcon lag bei der Vergasung von Kohle und Biomasse in Flugstrom-Reaktoren sowie bei der Partialoxidation von Erdgas. Das Zentrum für Innovationskompetenz Virtuhcon verfolgte dabei einen neuen Forschungsansatz. Ausgehend von

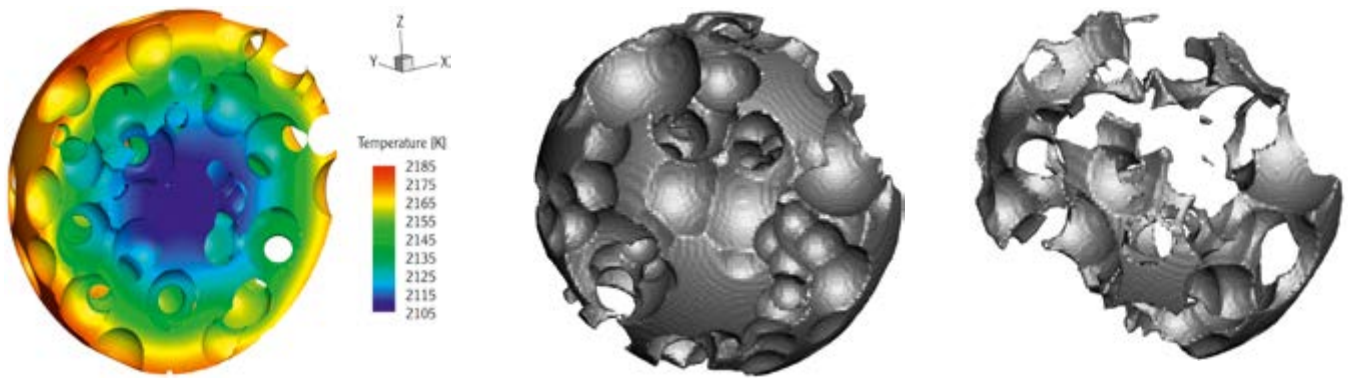


Abb 2: (links) Temperaturverteilung in einem Kokspartikel unter Vergasungsbedingungen; Entwicklung der Porenstruktur bei 1912 °C (Mitte) und bei 1415 °C (rechts)

der detaillierten, rechnergestützten Abbildung der Stoffumwandlungsprozesse auf Mikroebene wurden Teilmodelle, beispielsweise für die Kohlevergasung, entwickelt und für eine realitätsnahe Virtualisierung der Abläufe in großtechnischen Reaktoren eingesetzt. Mithilfe dieses Ansatzes war es möglich, Rechenmodelle mit einer bis dahin nicht erreichten Genauigkeit zu erzeugen. Die konsequente Begleitung der Modellrechnungen durch das Experiment von der Mikro- bis zur Makroskala sicherte dabei die Zuverlässigkeit der entwickelten Modelle und Methoden. Es bleibt zu betonen, dass nur durch die Verfügbarkeit modernster Versuchs- und Messtechnik eine experimentelle Überprüfung der Rechenmodelle unter prozessrelevanten Bedingungen (bspw. hohe Drücke und Temperaturen) möglich war.

Bereits in der Acamonta 20 (2013) wurden erste Ergebnisse der drei Nachwuchsforscherguppen mit insgesamt 21 Wissenschaftlern des ZIK Virtuhcon vorgestellt. Ein Forschungsschwerpunkt der Gruppe Grenzflächenphänomene war die Entwicklung von Simulationsmodellen zur Berechnung der Kokskonversion von einzelnen Partikeln unter dem Einfluss reaktiver Strömungen. Ihre Erweiterung auf deutlich rechenintensivere

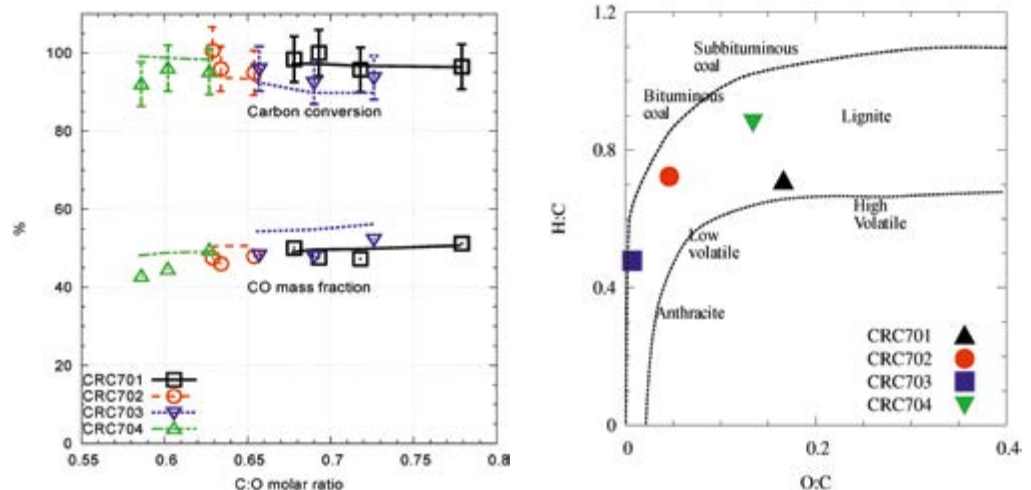
3D-Modelle erlaubt mittlerweile die Analyse des Stoff- und Wärmetransports in das poröse Partikel (s. Abb. 2, links) und die Berechnung der Porenentwicklung unter verschiedenen Reaktionsregimen. Abb. 2, Mitte, zeigt das Abreagieren eines Kokspartikels in CO₂ bei sehr hohen Temperaturen (1.912 °C). Bei diesen Temperaturen wird das CO₂ bereits auf der Oberfläche des Partikels umgesetzt und dringt kaum in die poröse Struktur ein. In der Konsequenz behält das Partikel seine poröse Struktur und schrumpft lediglich mit der Zeit. Demgegenüber reagiert bei der niedrigeren Temperatur 1.415 °C, wie in Abb. 2, rechts, dargestellt, das CO₂ an der inneren Oberfläche des Partikels, das infolgedessen seine poröse Struktur abbaut und in einzelne Fragmente zerfällt.

Das gewonnene Grundlagenverständnis wurde in Teilmodelle - bspw. zur Partikelauflösung für die Pyrolyse oder für die Koksvergasung - umgesetzt. Diese Teilmodelle liefern die Basis für Reaktorsimulationen der Forschergruppe Reaktive Strömungssysteme. Während 2013 in der Acamonta erste Validierungsergebnisse für Flugstromreaktoren vorgestellt wurden, die bei atmosphärischem Druck betrieben werden, hat sich die Arbeit der letzten Jahre auf industrielle

Hochdrucksysteme konzentriert. Ein Beispiel hierfür sind die in der Abb. 3 dargestellten Berechnungen des Stoffumsatzes in einem Siemens-Flugstromvergaser bei 26 bar. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den aus Experimenten resultierenden Werten zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Komplementär zu den numerischen Untersuchungen bildeten die experimentellen Arbeiten der Forschergruppe Multiphasige Stoffsysteme einen wesentlichen Baustein des ZIK Virtuhcon. Mithilfe modernster Messtechnik können die Stoffeigenschaften für industrierelevante Bedingungen mehr oder weniger exakt erfasst werden. Beispiele für diese Technik sind die kinetische Messanlage KIVAN - eine Eigenentwicklung, mit der bei Drücken bis 100 bar und Temperaturen bis 1200 °C Reaktionskinetiken ermittelt werden, oder eines der Hochtemperatur-Rotationsviskosimeter zur Bestimmung der Schlackeviskosität in vergasertypischen, reduzierenden Gasatmosphären bis 1700 °C. Beide Systeme sind in Abb. 3 dargestellt. Die experimentellen Arbeiten sind einerseits die Grundlage für die numerischen Untersuchungen auf Partikelebene und andererseits die Basis für eine Validierung der Gesamtreaktormodelle.

Abb. 3: Vergleich zwischen gemessenem und berechnetem Kohlenstoffumsatz in einem Flugstromvergaser der Siemens Fuel Gasification Technology GmbH & Co. KG. (links) Kohlenstoffumsatz für vier unterschiedliche Kohlenarten, (rechts) Übersicht über den Rang der einzelnen Kohlen.



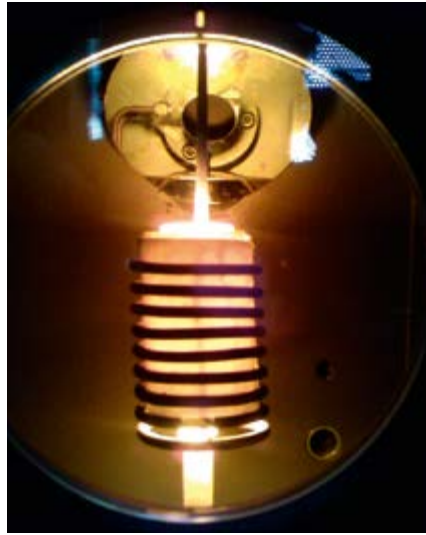


Abb. 4: (links) KIVAN-Reaktor zur Bestimmung von Hochdruck-Reaktionskinetiken; (rechts) Viskosimeter

Von der Flugstromvergasung zur Metallgewinnung

Nach der erfolgreichen Evaluierung des ZIK Virtuhcon 2015 soll das Zentrum für weitere fünf Jahre aus Mitteln des BMBF und des Europäischen Sozialfonds ESF finanziert werden. Insgesamt 16 Wissenschaftler werden die Virtualisierungskompetenz auf weitere Hochtemperaturprozesse anwenden. Dabei stehen hochbeladene Gas-Feststoff-Systeme in der Chemie und der Metallurgie im Vordergrund. Hierzu zählen auf chemischer Seite vor allem die Vergasung von Kohle und Biomasse in Wirbelschicht- und Festbettreaktoren. Der Forschungsschwerpunkt in der Metallurgie liegt auf Recyclingprozessen, auf der Gewinnung von Nickel- und Kupferstein in Badschmelzöfen und auf der Röstung von Zinkkonzentraten in der Wirbelschicht. Die hierbei ablaufenden komplexen Mehrphasenprozesse bedeuten eine nochmals erhöhte Anforderung an die Modellierung, die nur durch die in den letzten Jahren aufgebaute Virtualisierungskompetenz des Zentrums erfüllt werden kann. So

können für diverse Teilprozesse bereits bewährte Modelle weiterverwendet bzw. adaptiert werden. Vor allem aber für die Beschreibung der Partikelwechselwirkungen in hochbeladenen Systemen müssen neue Lösungsansätze und Modelle erarbeitet werden.

Eine Erkenntnis aus der Forschung in den letzten Jahren war die, dass nur durch die enge Verzahnung von Simulation und Experiment von der Mikroskala bis hin zum großtechnischen Versuch zuverlässige und vertrauenswürdige Rechenmodelle entwickelt werden konnten, die mittlerweile auch von den Partnern aus der Industrie akzeptiert werden. Aus diesem Grund konzentriert sich die Forschung des ZIK Virtuhcon zukünftig weiterhin auf Prozesse, für die die entsprechenden großskaligen Versuchsanlagen an der TU Bergakademie Freiberg verfügbar sind. Hierzu zählen die IsaSmelt-Anlage für ein repräsentatives Badschmelzverfahren des Instituts für Nichteisenmetallurgie und Reinstoffe (INEMET) und der Schlackebadvergaser sowie der Coorved-Reaktor

am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC), bei denen es sich um Festbett- bzw. Wirbelschichtsysteme zur Vergasung schwieriger kohlenstoffhaltiger Einsatzstoffe handelt. Die entsprechenden Anlagen zeigt Abb. 5.

Mit den aus diesen Prozessen abgeleiteten und am großtechnischen Experiment validierten Rechenmodellen werden in wenigen Jahren umfassende Werkzeuge für die gezielte Entwicklung ressourcenschonender Technologien und Prozesse in Metallurgie und Chemie zur Verfügung stehen.

Weiterführende Literatur

- P. A. Nikrityuk, B. Meyer (Editoren): Gasification Processes: Modeling and Simulation. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2014.
- A. Richter, P. A. Nikrityuk, B. Meyer: Three-dimensional calculation of a chemically reacting porous particle moving in a hot O_2/CO_2 atmosphere. *Int. J. Heat and Mass Transfer* 83, 244–258, 2015.
- A. Richter, P. A. Nikrityuk, M. Kestel: Numerical investigation of a chemically reacting carbon particle moving in a hot O_2/CO_2 atmosphere. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 52, 5815–5824, 2013.
- S. Schulze, et al.: From detailed description of chemical reacting carbon particles to subgrid models for CFD. *Oil & Gas Science and Technology* 68, 1007–1026, 2013.
- M. Vascellari et al.: From laboratory-scale experiments to industrial-scale CFD simulations of entrained flow coal gasification, *Fuel* 152, 58–73, 2015.
- M. Vascellari et al.: Flamelet/progress variable modeling of partial oxidation systems: From laboratory flames to pilot-scale reactors, *Chemical Engineering Science* 134, 694–707, 2015.
- D. Dietzel et al.: Evaluation of scale resolving turbulence generation methods for Large Eddy Simulation of turbulent flows, *Computers & Fluids* 93, 116–128, 2014.
- E. Komarova, S. Guhl, B. Meyer: Brown coal char CO_2 -gasification kinetics with respect to the char structure. Part I: Char structure development, *Fuel* 152, 38–47, 2015.
- M. A. Duchesne et al.: Slag viscosity modeling toolbox, *Fuel* 114, 38–43, 2013.
- L. Zhang, C. Schmetterer, P. J. Masset: Thermodynamic description of the M_2O-SiO_2 ($M = K, Na$) systems, *Computational Materials Science* 66, 20–27, 2013.



Abb. 5: Referenzanlagen: (links) IsaSmelt-Anlage, INEMET; (Mitte) BGL-Schlackebadvergaser, IEC; (rechts) Coorved-Reaktor, IEC

Geologische Zeit und Raten der Gebirgsbildung

Lothar Ratschbacher¹, Raymond Jonckheere, Jörg A. Pfänder, Susanne Schneider, Blanka Sperner, Marion Tichomirowa

Geochronologic methods at the Geo-Thermochronology Laboratories of the TU Bergakademie Freiberg are being developed and used to determine the age of Earth's rocks, and to assess rates of processes in the Earth and Environmental Sciences.

Geo-Thermochronology (Geo-Thermochronologie), U-Pb, ⁴⁰Ar/³⁹Ar, particle-tracks (Partikelspuren) and radiation-damage (Strahlungsschäden) dating

Seit Jahrhunderten erregt die Frage nach dem Alter der Erde das Interesse der Menschen. Von „4004 v. Chr.“ (Erzbischof Usshers Berechnung des Jahres der Erschaffung der Erde im 17. Jh.) über „500 Millionen Jahre“ (erste radiometrisch begründete Abschätzung des Erdalters, Ernest Rutherford 1904) bis hin zur ersten „richtigen“ radioisotopischen Bestimmung (4550 ± 70 Millionen Jahre (Ma): „Zeit, seit der die Erde ihre heutige Masse erlangt hat“, Claire Patterson 1956) stand die Frage des Erdalters im Mittelpunkt des Forschens. Die plattentektonische Revolution als Grundlage für das Verständnis der Erde als einem dynamischen System und die Erkennung des anthropogen beeinflussten „Globalen Wandels“ rückten die Bestimmung von Raten, also von Geschwindigkeiten, mit denen geologische Prozesse ablaufen, in das Zentrum der Forschung.

Gebirge entstehen und vergehen durch die Wechselwirkung von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, die Zeitskalen vom Sekundenbereich (z. B. bei Erdbeben) bis hin zu -zig Ma (z. B. bei der Gebirgsbildung) umfassen. Diese Prozesse und die Bestimmung der für sie charakteristischen Raten durch geochronologische Methoden stehen im Mittelpunkt unserer Forschung. Die Angewandte Geochronologie – speziellere Weise zum Verständnis der Bildung und Zerstörung des Pamir-Tibet-Plateaus – geht dabei Hand in Hand mit methodisch-technischen Entwicklungen. Die folgenden Beispiele zeigen Ansätze der Arbeitsgruppe auf und sollen zu interdisziplinären Kooperationen anregen.

Wie bestimmen wir das Alter von Gesteinen und Mineralen? Die Laserablations-induktiv-gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (LA-ICPMS) erlaubt binnen

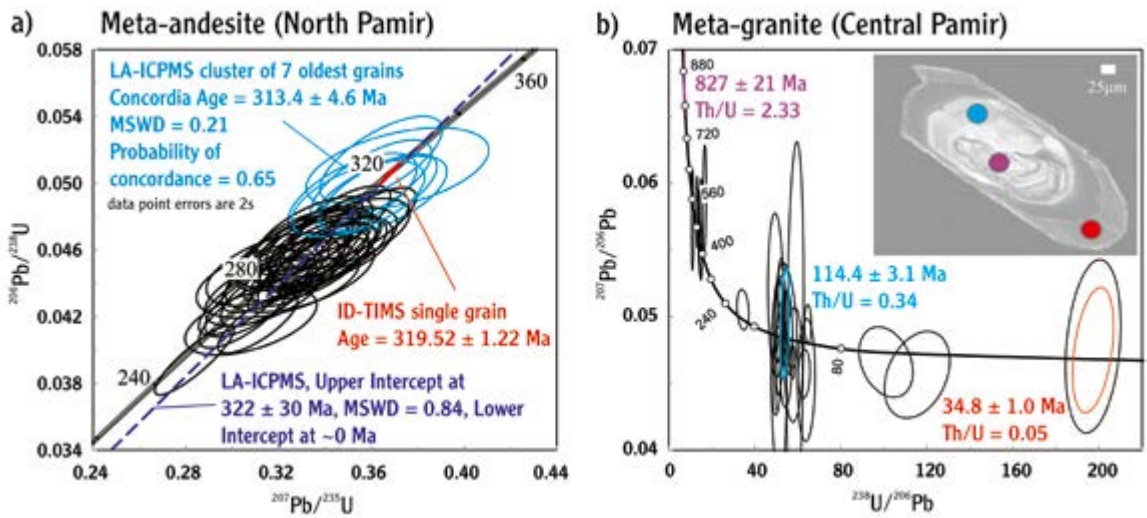
weniger Stunden die Bestimmung von U-Pb-Altersdaten für zahlreiche Zirkone (Abb. 1a) – mit dem Nachteil, dass das Einzelkornalter nur mit einem Fehler von ±10% ausgewiesen werden kann. Diese Ungenauigkeit kann die Altersinterpretation schwierig machen: Die meisten Einzelzirkone eines Meta-Andesits aus dem Nord-Pamir sind anscheinend ~280 Ma alt. Eine Regression über alle Daten zeigt, dass die Altersdaten auf einer Linie (*Discordia*, dunkelblau) liegen, die auf eine „Verjüngung“ des wahrscheinlichen Eruptionsalters (~320 Ma) durch Überprägung und Verwitterung hinweist. Das rot markierte Alter wurde mittels der aufwändigen Isotopenverdünnungs-Thermionen-Massenspektrometrie (ID-TIMS)-Methode an einem ausgewählten Einzelkorn bestimmt. Der dabei auftretende, schon relativ kleine Fehler kann durch Säure- und Temperaturbehandlung des Zirkons und bei Verwendung spezieller Isotopentracer (*Spikes*) auf ±~0.1% des Alters reduziert werden. Diese Methode erlaubt also hochpräzise Altersbestimmungen, wie sie z. B. für die Erstellung der absoluten geologischen Zeitskala gebraucht werden. Die statistische Auswertung einer Vielzahl von Zirkonen einer Alterspopulation erlaubt es bei der LA-ICPMS-Methode, Altersdaten mit Fehlern von ≤±5% (z. B. in der hellblau gezeichneten Altersgruppe) zu erhalten. Der eigentliche Vorteil der LA-ICPMS- und anderer Ablationsmethoden (z. B. von Ionensonden) liegt aber in ihrer hohen Ortsauflösung; schon Einzelkörner können eine magmatisch-metamorphe Entwicklungsgeschichte dokumentieren. Der Zirkon des Meta-Granits (Abb. 1b) wurde bis zur Kornmitte abgeschliffen, poliert und mittels Kathodolumineszenz im Rasterelektronenmikroskop abgebildet; die unterschiedlichen Grauwerte reflektieren dabei unterschiedliche Spurenelementgehalte. Der Zirkon zeigt einen teilweise erhaltenen, von Lösungsflächen begrenzten Kern mit typischer, primär-magmatischer Wachstumszonierung, eine Zone heller Lumineszenz mit schwacher Zonierung sowie Ränder mit dunkler Lumineszenz, die diffuse Grenzen aufweisen. Laserablationsmessungen (Ablationsgruben ~25 × 25 × 10 µm, farbig markiert) belegen unterschiedliche Th- und U-Gehalte und drastisch unterschiedliche Altersdaten;

diese Daten wurden auch in anderen Zirkonen der Probe gefunden. Die vererbten Zirkonerne dokumentieren ein weitverbreitetes geologisches Ereignis im Zusammenhang mit der Entstehung des Pamirs: die Bildung des Superkontinents Rodinia vor 1000–800 Ma. Diese Information ist eingebettet in Zirkonen des magmatischen Bogens am Südrand des Pamir-Tibet-Plateaus mit typischen Altersdaten von ~114 Ma. Das Alter der Zirkonränder (~35 Ma) ist typisch für die regionale Anatexis im Pamir.

Wie bestimmen wir Raten geologischer Prozesse? Tiefbohrungen sind natürliche Labore, die man nutzt, um Geochronometer unter geologischen Bedingungen zu testen und zu kalibrieren. Die Kontinentale Tiefbohrung (KTB) nahe Windischeschenbach, Bayern, ist dafür besonders geeignet, da sie ein Krustenprofil erschließt, das sich seit ~75 Ma im thermischen Gleichgewicht befindet. Die Alter-Tiefen/Temperatur-Beziehungen (jeder Tiefe ist, bedingt durch den geothermischen Gradienten, eine Temperatur zugeordnet) aus einigen der Chronometer zeigen, dass es einen – für jedes Chronometer anderen – Temperaturbereich gibt, in dem die Altersdaten entweder über geologische Zeiträume hinweg stabil bleiben oder aber – bedingt durch Diffusions- und/oder In-situ-Ausheilprozesse – verringert oder auf Null zurückgesetzt werden (Abb. 2). Den je nach Chronometer unterschiedlichen Temperaturbereich der teilweisen oder vollständigen Rücksetzung (der auch mit experimentell bestimmten Parametern berechnet werden kann) bezeichnet man als den Bereich der „Schließungstemperatur“ bzw. als „partielle Ausheilzone“. Er definiert diejenige mittlere Temperatur, deren Erreichung mit dem jeweiligen Chronometer zeitlich bestimmt wird. Je nach verwendetem Chronometer wird daher der Durchlauf des untersuchten Gesteins durch einen definierten Temperaturbereich datiert. Man spricht daher auch von Thermo-chronologie. Zum Beispiel zeigt das von uns gut untersuchte Apatit-Spaltspuren-Thermo-chronometer (*FT apatite*, s. magentafarbene Kreise links in Abb. 2) konstante Altersdaten und Spurenlängen zwischen ~0–60 °C und eine Altersreduktion und eine Spurenverkürzung zwischen ~60–110 °C (partielle Ausheilzone);

¹ Tektonik/Geo-Thermochronologie, TU Bergakademie Freiberg, 09599 Freiberg, Deutschland; lothar@geo.tu-freiberg.de

Abb. 1:
 (a) LA-ICPMS und ID-TIMS U-Pb-Zirkon-Geochronologie zur Bestimmung des Gesteinsalters und
 (b) einer magmatisch-metamorphen Entwicklungsgeschichte durch LA-ICPMS-Punkt-datierung an einem Einzelzirkon



über $\sim 110^\circ\text{C}$ werden die Spuren zwar gebildet, heilen aber „sofort“ wieder aus.

Die Kombination mehrerer Chronometer mit unterschiedlichen Schließungstemperaturen erlaubt die Beschreibung der thermischen Geschichte eines Krustensegments, und diese wiederum ermöglicht eine geologische Interpretation (Abb. 3a, Teil des Shatput-Gneisdoms im Zentral-Pamir). Die Lutetium-Hafnium-Altersdaten, deren Bestimmung auf dem β -Zerfall von ^{176}Lu zu ^{176}Hf beruht, datieren das Wachstum von Granat während der prograden Metamorphose (Temperaturzunahme) bei $\sim 625^\circ\text{C}$. Schwarz markiert sind die Abkühl-Altersdaten nach dem Überschreiten des Temperaturmaximums ($\leq 700^\circ\text{C}$, aus der Thermobarometrie abgeleitet). Sie wurden mit Hilfe der folgenden Methoden bestimmt: ^{40}Ar - ^{39}Ar an Hornblende, Muskovit, Biotit und Feldspat; (U-Th-Sm)/He an Zirkon; Spaltspuren an Apatit. Die lineare Regression über diese Altersdaten ergibt die Abkühlrate im Temperaturbereich zwischen ~ 600 und 100°C ; sie ist das Resultat der Exhumierung („Heraushebung“) dieses Krustensegments aus ~ 30 km Tiefe entlang einer großen Abschiebung. Der

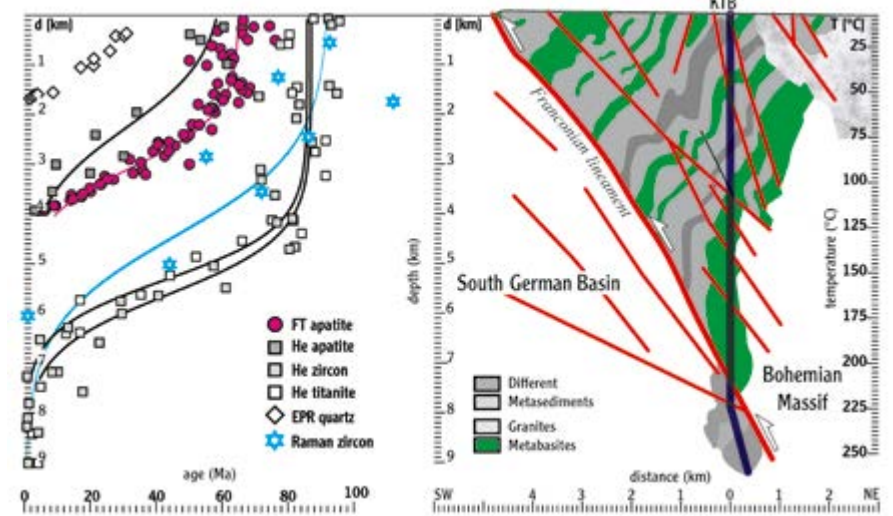


Abb. 2: Temperatur(Tiefen)-Altersbeziehungen aus Chronometern (links) in der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) (rechts) als Beispiel für deren Temperaturabhängigkeit. Rote Linien zeigen Störungen. [modifiziert nach Wauschkuhn et al. 2015, Geochimica et Cosmochimica Acta, 167]

graue Bereich in der Zone der niedrigen Temperaturen zeigt Temperatur-Zeit-Pfade, die sich aus den Altersdaten des Apatits und den assoziierten Spurenlängen ableiten lassen; das Krustensegment verharrte also ~ 10 Ma in der obersten Kruste, bevor es in das heutige Aufschlussniveau

exhumiert wurde. Die mit „i“ markierten U-Pb-Zirkondaten beschreiben einerseits Altersdaten von Graniten, die als Produkte lokaler Krustenaufschmelzung vor oder mit dem Erreichen des Temperaturmaximums intrudiert sind, andererseits die Daten spät intrudierter Gänge, die rasch

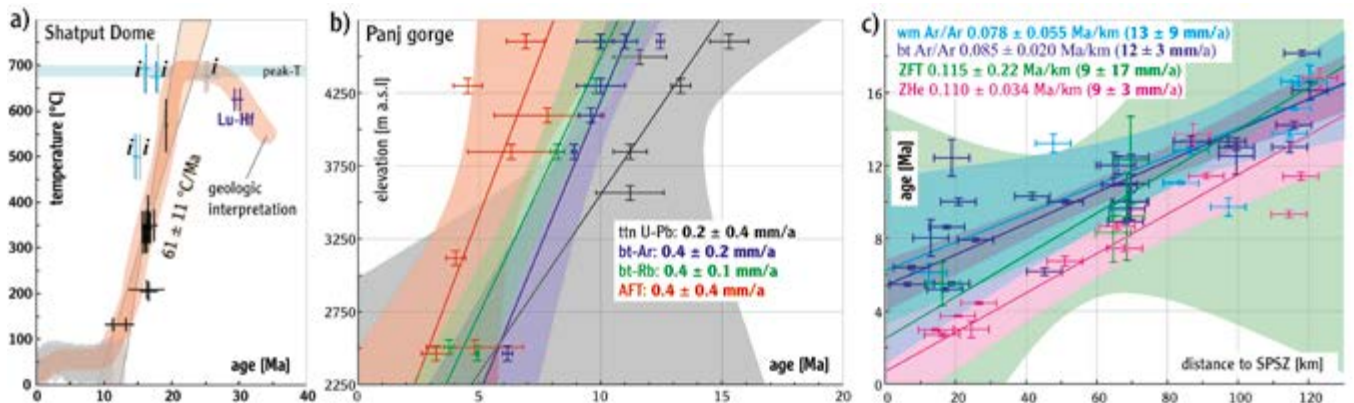


Abb. 3: Raten geologischer Prozesse, abgeleitet aus Chronometermessungen. a) Abkühlungsraten, b) Exhumierungsraten (vertikale Gesteinsbewegungen), c) Extensionsraten entlang einer Abschiebung (subhorizontale Gesteinsbewegung). Einhüllende markieren das 95%ige Vertrauensintervall. [modifiziert nach Stübner et al., 2013, Tectonics, 32]



Abb. 4: „Garagenfirmenatmosphäre“ im Ar-Ar-Labor. Linker Vordergrund: Probentransfersystem für hochpräzise thermische Entgasungsexperimente und bewegliches thermisches (CO₂-)Lasersystem, gekoppelt an ein Gasreinigungssystem und ein ARGUS Multikollektor-Gasmassenspektrometer. Hintergrund: Ar-F-Laserablationssystem, gekoppelt an ein Gasreinigungssystem und ein ARGUS VI Multikollektor-Gasmassenspektrometer mit Faraday- und Elektronenvervielfacher-Detektorsystem.

mit dem Krustensegment abkühlten (U-Pb-Rutilalter mit Schließungstemperaturen um -500 °C).

Vier unterschiedliche Thermochronometer belegen eine Exhumierungsrate von Gesteinen des Kerns des Shakh dara Gneisdoms im Süd-Pamir von ~0.4 mm/a über eine Dauer von ~10 Ma (Abb. 3b). Der zeitlich versetzte Durchlauf der beprobten Gesteine durch den Bereich der Schließungstemperaturen in unterschiedlichen Krustentiefen ist das Resultat der Heraushebung der Gesteine entlang der Süd-Pamir-Abschiebung am Südrand dieses Gneisdoms. Des Weiteren belegen vier unterschiedliche Thermochronometer (Abb. 3c) eine horizontale Extensionsrate von ~10 mm/a entlang der Süd-Pamir

Abschiebung. Sie reflektieren das Wandern des Liegendblocks der Abschiebung durch die Zone der Schließungstemperaturen der Chronometer und reflektieren damit auch die Dauer der tektonischen Bewegung (~16–2 Ma in Abb. 3c). Zusammen mit dem aus der Strukturgeologie herrührenden Wissen über die Deformationszonen und die Versenkungstiefen (nach Erkenntnissen aus der Thermobarometrie) erlauben die Thermochronometer die Rekonstruktion der Druck-Temperatur-Zeit-Deformationspfade, also der Raten und Dauern der Gebirgsbildungs- und -zerstörungsprozesse.

Wohin entwickelt sich unsere Chronologie? Die methodische Weiterentwicklung von Datierungsverfahren basiert zum

einen auf technischer Weiterentwicklung. Anlagen zur Analytik werden zusammen mit Spezialfirmen entwickelt, konstruiert und gebaut und sodann in einer „Garagenfirmenatmosphäre“ (Abb. 4) schrittweise für spezielle Anwendungen adaptiert, optimiert und weiterentwickelt.

In-situ-Datierungen von repräsentativen Deformationsstrukturen, die spezifische Abläufe bei der Gebirgsbildung beschreiben, sind ein Weg in die Zukunft. Kalium-haltige Minerale außerhalb eines mm-großen Scherbandes (lokalisierte Deformationsstruktur) einer Scherzone in den Alpen weisen auf ein Alter zwischen ~69 und 16 Ma hin, solche im Zentrum des Scherbands auf ~13–12 Ma, und ein post-tektonischer Phengit (nach der Bildung des Scherbandes gewachsen) auf ~12 Ma (Abb. 5). Diese ⁴⁰Ar-³⁹Ar-Altersdaten basieren auf Laserablations-Messungen an Punkten und entlang von Linien oder Rastern von wenigen 10 µm Durchmesser/Länge; die Aktivität der Deformationszone wurde damit auf eine Größenordnung von wenigen Ma eingengt.

Die Weiter- bzw. Neuentwicklung von geochronologischen Methoden ist ein weiterer Aspekt unseres Weges in die Zukunft. Die aus der Deformation von SiO₄-Tetraedern resultierende Verschiebung und Verbreiterung spezifischer Absorptionsbanden in den Ramanspektren von Zirkonen der KTB belegt eine Speicherung der durch Eigenbestrahlung (verursacht durch Uranzerfall) bedingten Schäden bis in ~3 km Tiefe, partielle

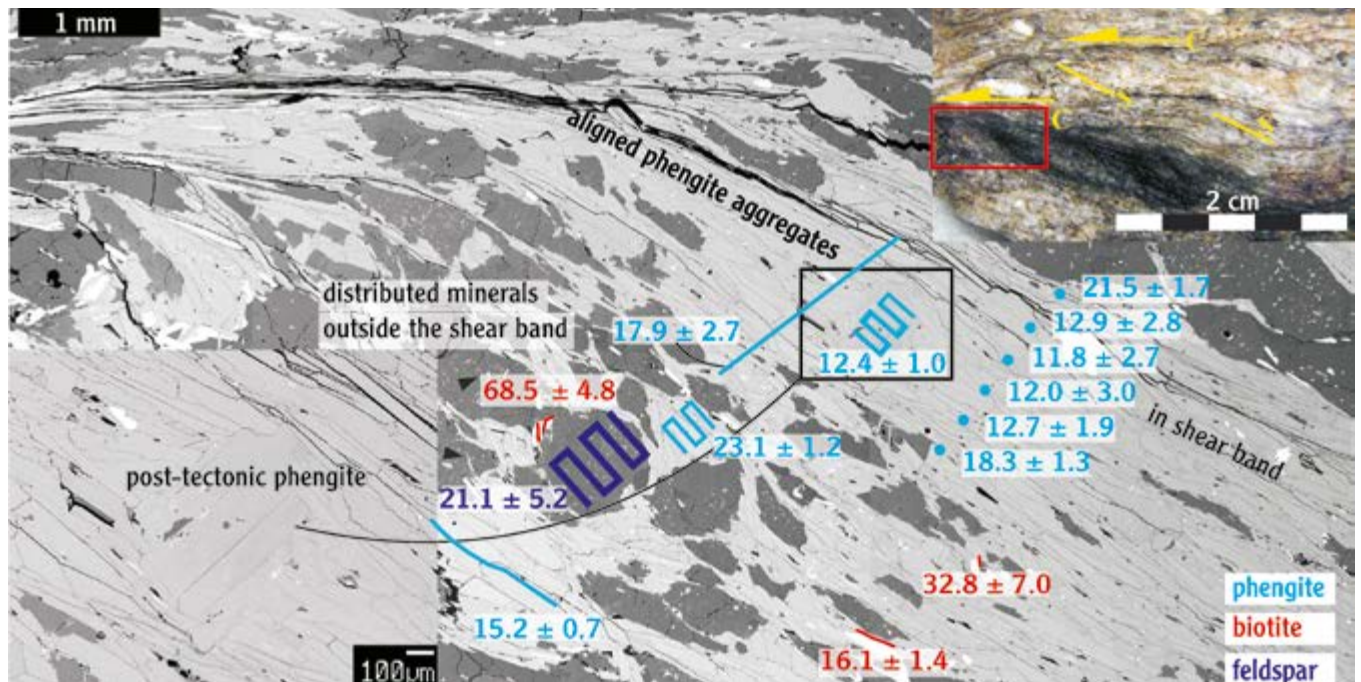


Abb. 5: Ar-F Laserablationsdatierung (in Ma) eines Scherbandes und seiner schwach deformierten Umgebung mit der ⁴⁰Ar-³⁹Ar-Methode [modifiziert nach Schneider et al. 2013, Earth and Planetary Science Letters, 369–370]

Schadensausheilung zwischen ~3 und 5 km und ein komplettes Ausheilen ab ~5 km Tiefe. Die partielle Ausheilzone für die Akkumulation von α -Partikel-Schäden liegt demnach bei ~90–145 °C mit einer Schließungstemperatur von ~120 °C für eine normale geologische Abkühlrate; sie überlappt mit der Ausheilzone für das Zirkon-(U-Th-Sm)/He-Chronometer. Daten zum Zirkon-Strahlungsschädigungsalter, berechnet aus dem Mittelwert der Verbreiterung von Ramanbanden und den U- und Th-Konzentrationen, überlappen sich mit den Altersdaten für Zirkon und Titanit (U-Th-Sm)/He in den oberen ~4 km der KTB (Abb. 2). Verbesserungen unserer Messprotokolle und der proben- und instrumentenspezifischen Ausgangswerte für die Raman-Bandenbreiten sollten es erlauben, die Strahlenschädigungsdatierung zu einer Standardmethode der Chronologie zu entwickeln.

Auch bei etablierten Methoden, wie der Apatit-Spaltspuren-Thermochronologie, ermöglichen Weiterentwicklungen das Erstellen genauerer geologischer Rekonstruktionen. Eine rigorose Analyse aller Einflussfaktoren – von bestrahlungsrelevanten Parametern bis hin zur personenbezogenen Messkalibration – erlaubten es, diese standardbasierte Methode zu einer „absoluten“ Datierungsmethode weiterzuentwickeln (Abb. 6a). Die Möglichkeit, die thermische Geschichte von geologischen Proben zu rekonstruieren, ist ein weiteres, für regionale Analysen nützlich Anwendungsfeld der Apatit-Spaltspurenanalyse; jedoch bedingt eine limitierte Anzahl von Spuren statistisch nur wenig abgesicherte thermische Entwicklungen. Die Bestrahlung von Proben mit Ionen bekannter Energie und Eindringgeometrie mittels

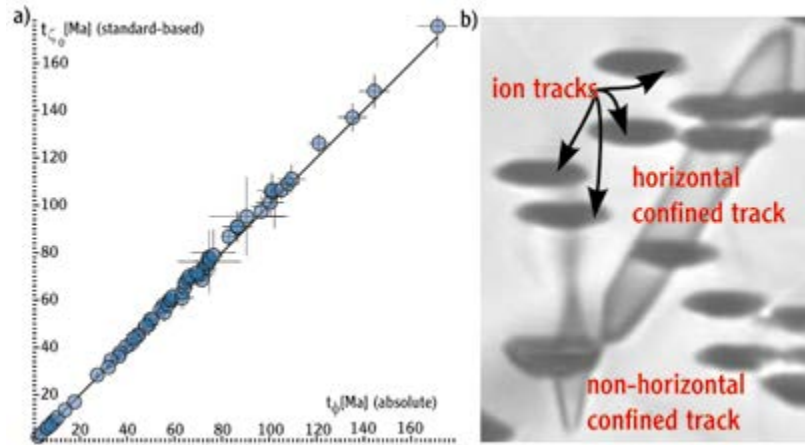


Abb. 6: a) Korrelation zwischen der standard-basierten und der absoluten Variante der Apatit-Spaltspuren-Datierungsmethode. b) Ionenspuren und horizontale und nicht-horizontale Spaltspuren, die nicht die Oberfläche des polierten Apatitkorns erreichen. Diese „confined“ Spuren sind essenziell, um die Temperatur-Zeit-Geschichte einer Probe zu rekonstruieren.

eines Linearbeschleunigers am GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) in Darmstadt und stufenweise Spurenätzungen (Abb. 6b) erlauben es, thermische Geschichten auch aus jungen Proben mit geringem U-Gehalt zu gewinnen.

Wo werden unsere Fortschritte in den nächsten zehn Jahren liegen? Gezielte Beprobung im Gelände, basierend auf multidisziplinären geologischen Vorarbeiten, sollte die Anzahl der zur Analyse notwendigen Proben in Zukunft reduzieren. Selektiveres und besser ortsaufgelöstes Messen sollte präzisere Antworten zu den geowissenschaftlichen Fragestellungen erlauben. Eine verbesserte statistische Bewertung der Datensätze sollte zu besser abgesicherten Altersdaten mit geringeren Fehlern führen. Methodische Untersuchungen zu den „etablierten“ Grundlagen einiger Verfahren werden einige der konventionellen Anwendungen in Frage stellen, aber schlussendlich zu

universell einsetzbaren und besser verstandenen Methoden führen. Das größte Fortschrittspotenzial erblicken wir jedoch in einem mikrostrukturell-petrochronologischen Ansatz: Dieser beinhaltet eine Multi-Methoden-Charakterisierung der zu datierenden Minerale. Diese wiederum umfasst z. B. die Bestimmung des Mineralchemismus, der chemischen Zonierung und eine Defektstrukturcharakterisierung vor der Datierung, um die sich ergebenden Altersdaten besser – d. h. realistischer – bewerten zu können. Dies erfordert eine breite Zusammenarbeit zwischen den Geo- und den Materialwissenschaften.

Danksagung: Unsere Grundlagenarbeiten der letzten 15 Jahre wurden durch DFG-Projekte unterstützt. Besonderen Dank schulden wir den technischen Mitarbeitern der Bergakademie, ohne die in den Labors immer wieder auftretende Probleme kaum zu lösen wären. Unsere Doktoranden lieferten uns den Ansporn, neue Wege zu gehen und: ein Füllhorn von Daten.

Hochtechnologiemetalle als industrielle Beiprodukte – Bedeutung von Geometallurgie und Rohstoffcharakterisierung

Max Frenzel¹, Joachim Krause¹, Kai Bachmann¹, Jens Gutzmer^{1,2}

Einleitung

Indium, ein silberfarbenes, weiches, dem Zinn sehr ähnliches Metall (Abb. 1a), hat eine ganz besondere Beziehung zu

¹ Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Halsbrücker Straße 34, 09599 Freiberg

² Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie, TU Bergakademie Freiberg, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg

Freiberg: nicht nur, dass es im Jahr 1863 von Reich und Richter an der Bergakademie entdeckt wurde[1]; auch das für die Arbeit der beiden Entdecker verwendete Probenmaterial entstammte dem lokalen Bergbau. Heutzutage kommt Indium große Bedeutung als einem der wichtigsten Hochtechnologiemetalle zu, ohne das der weltweit verbreitete Einsatz von Smartphones und Flachbildschirmen nicht möglich wäre (Abb. 1b). Gewonnen wird

es hauptsächlich als Beiprodukt aus Zink- und untergeordnet auch aus Kupfererzen [2]. D. h. es gibt keine Indiumbergwerke, sondern Indium wird bei der Verhüttung der Erze dieser beiden Hauptmetalle gewonnen. Da aber der Wert des in den Erzen enthaltenen Indiums oft sehr viel geringer ist als der der Hauptmetalle (< 10%), hat seine Konzentration keinen Einfluss darauf, welche Erze abgebaut werden. Das führt dazu, dass die weltweit zur

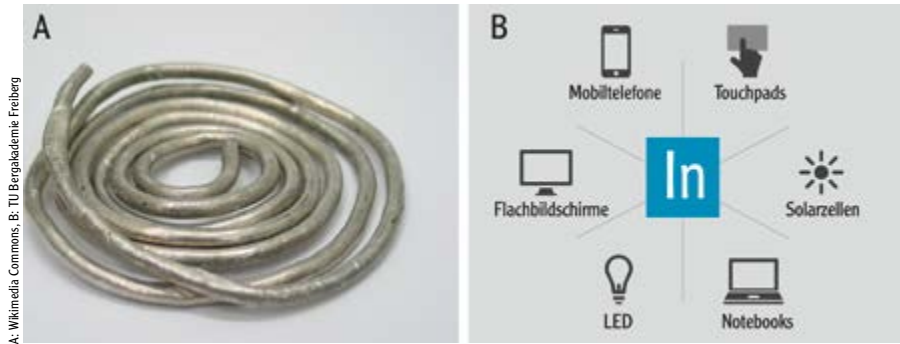


Abb. 1: Indium (A) und seine Anwendungen (B)

industriellen Verfügung stehende Menge an Indium letztendlich durch den Umfang der (Kupfer- und) Zinkproduktion begrenzt ist. Diese Limitation erzeugt ein großes potenzielles Versorgungsrisiko [3]. Indium ist damit ein typisches Beispiel eines Hochtechnologiemetalls, das ausschließlich als Beiprodukt gewonnen werden kann.

Am Beispiel der polymetallischen Lagerstätte Neves-Corvo in Portugal soll in diesem Beitrag dargestellt werden, welche Informationen zur Verfügung stehen müssen, um die Nutzung von Beiprodukten – wie eben von Indium – zu

ermöglichen. Die Lagerstätte Neves-Corvo (Abb. 2) beherbergt mit einem zzt. noch verbliebenen Gesamtinhalt von > 1.000 t Indium die größte bekannte Konzentration dieses Elements in einer abbauwürdigen Lagerstätte in Europa. Jedoch profitiert das Unternehmen Somincor, das die Lagerstätte Neves-Corvo abbaut, momentan nicht von diesem Reichtum: Die in Neves-Corvo produzierten Cu- und Zn-Konzentrate erreichen in der Regel nicht die von den Hütten für die Vergütung verlangten Indium-Mindestgehalte. Ziel der in diesem Artikel beschriebenen Arbeit ist es, auf geometallurgischen Untersuchungen

aufbauend Nutzungskonzepte zu entwickeln, die dem Unternehmen bei der vollen Ausschöpfung seines Indiumpotenzials helfen können. Die dazu durchgeführte Studie ist – unseres Wissens – die weltweit erste ausführliche geometallurgische Studie zur Konzentrationsverteilung und Gewinnbarkeit von Indium als Beiprodukt. Da diese Studie noch nicht abgeschlossen ist, werden im Folgenden nur vorläufige Ergebnisse präsentiert.

Geometallurgie – was ist das?

Die Geometallurgie ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld, das die verschiedenen Disziplinen entlang der Wertschöpfungskette mineralischer Ressourcen miteinander verbindet [4]. Das Ziel ist dabei, die Ressourcen- und Energieeffizienz bei der Nutzung primärer Rohstoffe zu optimieren. Dies wird auf Basis einer detaillierten Charakterisierung des Einflusses messbarer Eigenschaften der Rohmaterialien (chemische und mineralogische Zusammensetzung, Gefüge/Verwachsungen der Minerale etc.) auf ihre spätere Aufbereitung und Verhüttung erreicht.



Abb. 2: Die Übertageanlagen des Bergwerks Neves Corvo in Portugal: St. Barbara Schacht und Förderturm (l.), Aufbereitungsanlagen (hinterer Bildteil) und Fuhrpark



© Dirk Sandmann

Abb. 3: Rasterelektronenmikroskop FEI Quanta 650FEG-MLA – Geometallurgie-Labor der Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie, Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg

Da Mineralogie und Aufbereitungsverhalten der Erze in Bezug auf die Hauptprodukte für Neves-Corvo hinlänglich bekannt sind, stehen hier besonders folgende Fragen im Vordergrund:

- 1) In welchen Mineralen ist das Indium vorwiegend gebunden (in der Literatur oft als „Department“ bezeichnet)?
- 2) Sind dabei Regelmäßigkeiten festzustellen, die es erlauben, das Department in einer Erzprobe allein anhand der Ergebnisse einer geochemischen Analyse vorherzusagen?
- 3) Wie ist das Indium in der Lagerstätte räumlich verteilt?

Die Antwort zu Frage 1) ist wichtig, da das Department darüber entscheidet, wie viel des Indiums tatsächlich gewinnbar ist: Nur derjenige Teil, der zusammen mit den Hauptprodukten (Zn bzw. Cu) bei der Aufbereitung in die Erzkonzentrate gelangt, kann bei der Verhüttung derselben gewonnen werden. Dagegen ist jener Indiumanteil, der im Zuge der Aufbereitung im Abraum endet, aufgrund seines dort zu geringen Wertanteils nicht gewinnbar. Im Falle von Neves-Corvo sind die beiden wichtigsten Erzminerale Sphalerit (ZnS), das Hauptträgermineral für Zink, und Chalkopyrit (CuFeS₂), das Hauptträgermineral für Kupfer. Sie werden zu Zink- und Kupferkonzentraten angereichert. Als Gangminerale, also Bestandteile, die den nicht erwünschten Abraum bilden, treten vor allen Dingen Pyrit (FeS₂), Quarz (SiO₂), Calcit (CaCO₃) und diverse andere Silikat- und Karbonatminerale auf.

Die Antworten zu Fragen 2) und 3) sind besonders für die Modellierung der Lagerstätte mit Hinblick auf deren effektive Nutzung von Bedeutung. Erkannte Regelmäßigkeiten in der mineralogischen Verteilung, die eine Vorhersage

des Departments ermöglichen, könnten in die Abbaublock-Modelle der Lagerstätte Eingang finden und der Aufbereitungsplanung dienen. Die räumliche Verteilung entscheidet dagegen darüber, ob es sinnvoll sein könnte, die besonders indiumreichen Partien separat abzubauen und dadurch die von den Hütten gewünschte Anreicherung in den Konzentraten zu erzielen.

Methodik

Zur Beantwortung der im vorigen Abschnitt gestellten Fragen wird wie folgt vorgegangen: Zunächst werden über geochemische Analysen die Erzproben mit hohen Indiumgehalten ausgewählt. In ihnen wird mittels automatisierter Rasterelektronenmikroskopie (REM)-basierter Bildanalyse (MLA, Abb. 3) der Volumenanteil der enthaltenen Minerale (Modalmineralogie) bestimmt [5, 6]. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Auftreten und der Häufigkeit eigenständiger Indiumminerale wie Roquesit (CuInS₂) und Sakuraiit (CuInZn₂S₄). Schließlich werden mit Hilfe mikroanalytischer Verfahren (Elektronenstrahlmikrosonde) die Indiumkonzentrationen in den einzelnen Mineralen gemessen.

Aus diesen Daten kann dann das Department von Indium berechnet werden. Die Charakterisierung einer diversen Probenauswahl ermöglicht dabei die Identifizierung eventuell vorhandener Regelmäßigkeiten. Zur Analyse der räumlichen Verteilung wird der von den Bergwerksbetreibern selbst an Bohrkernen erhobene, analytische Datensatz verwendet.

Erste Ergebnisse

Die aus der modalmineralogischen Charakterisierung und den durchgeführten mikroanalytischen Messungen ermittelte Verteilung des Indiuminhalts über die verschiedenen Minerale ist für fünf ausgewählte Proben in Abb. 4 dargestellt. Daraus geht hervor, dass in diesen Fällen Chalkopyrit und Sphalerit in der Regel die bedeutendsten Trägerminerale für Indium sind und generell für mehr als 85% des Gesamtinhalts von Indium in den Erzen der Lagerstätte Neves-Corvo aufkommen. Ihr jeweiliger Anteil kann jedoch – je nach vorliegender Modalmineralogie – stark schwanken.

Roquesit – das einzige in den untersuchten Proben auftretende eigenständige Indiummineral – trägt nur in unbedeutendem Maße zum Department bei, ebenso wie Stannin, ein Zinn-Kupfer-Sulfid.

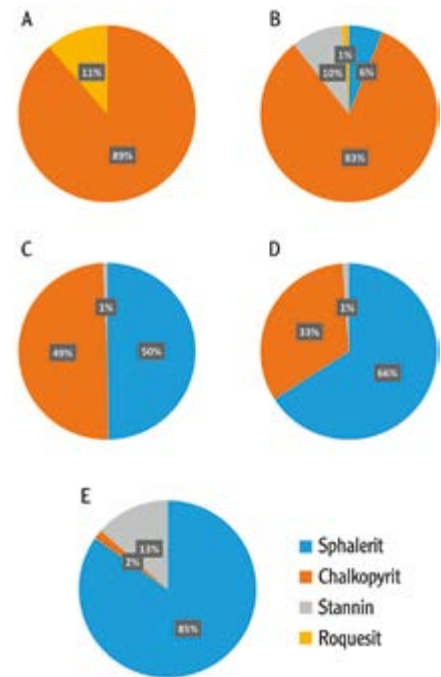


Abb. 4: Indium-Department in fünf ausgewählten Erzproben. A und B: Kupfererze, C und D: Kupfer-Zinkerze, E: Zinkerz

Tabelle 1: Indiumkonzentrationen in Sphalerit und Chalkopyrit

Probe	C _{sph} (ppm)	C _{cpy} (ppm)	Verteilungs-koeffizient K _{sph/cpy} (ppm/ppm)	Roquesit-Konzentration (ppm)
A	1300	300	4.3	50
B	2400	800	3.0	10
C	1200	420	2.9	0.1
D	280	140	2.0	–
E	210	80	2.6	–

Andere Minerale wie Pyrit, die Silikate und Karbonate enthalten keine messbaren Indiumgehalte.

Tabelle 1 zeigt die durchschnittlichen Indiumkonzentrationen in Sphalerit und Chalkopyrit für die in Abb. 4 dargestellten Proben sowie die in ihnen jeweils nachgewiesene Konzentration von Roquesit. Zwei wichtige Zusammenhänge fallen bei Betrachtung dieser Daten auf: Erstens ist die Indiumkonzentration in Sphalerit fast immer um einen Faktor zwei bis drei höher als in Chalkopyrit. Zweitens tritt Roquesit nur in Proben auf, in denen die Indiumkonzentration im Sphalerit 1.200 ppm überschreitet. Diese Regelmäßigkeit wird für die meisten der untersuchten Proben beobachtet.

Schließlich ist noch die Kenntnis der räumlichen Verteilung des Indiums wichtig: Abb. 5 zeigt ein Histogramm der in den Erzen auftretenden

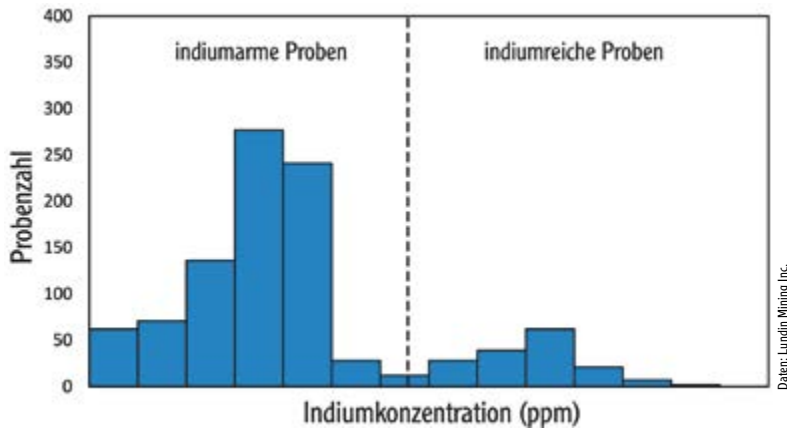


Abb. 5: Histogramm der Indiumkonzentrationen in Erzproben. Die Konzentrationsachse ist logarithmisch skaliert (Basis 2). Zur Wahrung des Betriebsgeheimnisses sind tatsächliche Konzentrationen nicht angegeben. Ungefähr 20% aller Proben enthalten > 90% allen Indiums.

Indiumkonzentrationen. Es ist klar zu erkennen, dass zwei Probengruppen unterscheidbar sind: eine mit niedrigen und eine mit hohen Indiumkonzentrationen.

Die Gründe für diese Verteilung werden momentan noch erforscht. Allerdings ist klar, dass die der indiumreichen Gruppe zugehörigen Lagerstättenpartien oftmals ausreichend große räumliche Kontinuität besitzen, so dass sie möglicherweise als separate Blöcke abgebaut werden können.

Bedeutung der Ergebnisse

Aus den im vorherigen Abschnitt präsentierten Ergebnissen resultieren klare Schlussfolgerungen für die spätere Nutzung der in Neves-Corvo vorhandenen Indiumpotenziale: Aus der klaren Dominanz von Sphalerit und Chalkopyrit als wichtigsten Indiumträgern geht hervor, dass ein großer Teil des in den Erzen

enthaltenen Indiums zusammen mit den bereits produzierten Hauptprodukten Zink und Kupfer in den entsprechenden Erzkonzentraten gewonnen werden kann. Die aufgedeckten Regelmäßigkeiten in der Verteilung des Indiums zwischen Sphalerit und Chalkopyrit könnten außerdem die Vorhersage der Verteilung des Indiums auf die aus dem Verschnitt verschiedener Abbaublöcke hervorgehenden Zink- und Kupferkonzentrate erlauben.

Wenn des Weiteren die indiumreichen Partien der Lagerstätte separat abgebaut und verarbeitet werden, was aufgrund der räumlichen Verteilung des Indiums denkbar wäre, ist es außerdem möglich, Konzentrate mit den von den Hüttenbetrieben für die Vergütung geforderten Mindestkonzentrationen zu erzeugen. Das Bergwerk könnte so, ohne signifikante zusätzliche Investitionen tätigen zu müssen, von seinem Potenzial profitieren.

Allgemeine Schlussfolgerungen

Das obige Beispiel zeigt sehr gut, wie geometallurgische Denkweisen und Methoden auf die Vorkommen diverser Hochtechnologiemetalle, die nur als Beiprodukte zu gewinnen sind, angewendet werden können. Für ähnliche Hochtechnologie-Elemente wie Gallium, Germanium, Selen und Tellur fehlen bisher analoge Arbeiten leider völlig. Es wäre wünschenswert, dass solche Studien an weiteren polymetallischen Lagerstätten durchgeführt werden. Auch für typische „Straflemente“ wie Cadmium oder Arsen könnte dies sinnvoll sein. Natürlich würde der Fokus bei letzteren eher auf der Vermeidung ihrer Anreicherung in den Konzentraten liegen. Die hier vorgestellte Arbeit könnte nichtsdestotrotz auch für solche Studien als Muster dienen.

Literatur

- 1 Reich F, Richter T, 1863. Über das Indium. Journal für Praktische Chemie 90, 172-176.
- 2 Tolcin AC, 2015. Indium. In USGS Mineral Commodity Summaries, January 2015. U.S. Geological Survey, Reston, Va. pp. 74-75.
- 3 Nassar NT, Graedel TE, Harper EM, 2015. By-product metals are technologically essential but have problematic supply. Science Advances 2015.
- 4 Gutzmer J, 2014. Geometallurgie - Warum Metallurgen mit Geowissenschaftlern kommunizieren sollten. Erzmetall 67, 5-9.
- 5 Bachmann K, Frenzel M, Gutzmer J, 2015. Advanced identification and discrimination of Indium-bearing minerals by automated mineralogy. 13th SGA Biennial Meeting 2015, Nancy, France (in press).
- 6 Frenzel M, Bachmann K, Krause J, Carvalho JRS, Relvas JMRS, Pacheco N, Gutzmer J, 2015. Mineralogical deportment of indium in the Neves-Corvo deposit - Implications for recovery and extraction. SEG 2015 Conference, Hobart, Australia (in press).

Neue Werkstoffe über additive Fertigung

Johannes Günther¹, Thomas Niendorf¹

Über die additive Fertigung, oftmals als 3D-Druck bezeichnet, lassen sich Bauteile nahezu beliebiger geometrischer Komplexität herstellen. Zudem lassen die Prozessrandbedingungen die direkte Einstellung der Mikrostruktur in den verwendeten metallischen Werkstoffen zu. Hieraus ergeben sich weitreichende Möglichkeiten bezüglich der Optimierung der Eigenschaften aktuell gefragter Hochleistungswerkstoffe.

Metall, Selektives Elektronenstrahlschmelzen, Selektives Laserstrahlschmelzen, Mikrostruktur, Mechanische Eigenschaften / Metal, Selective electron-beam melting, Selective laser melting, Microstructure, Mechanical properties

¹ Institut für Werkstofftechnik

Verfahren der additiven Fertigung (engl. *Additive Manufacturing* (AM)) werden umgangssprachlich oftmals auch als 3D-Druck oder immer noch als Rapid Prototyping bezeichnet. AM ist ein Oberbegriff für eine Reihe moderner Fertigungsverfahren, die in den verschiedensten Industrien Einzug halten [1]. Aktuell werden vielfach Titanlegierungen als Werkstoffe eingesetzt. Begründet durch ihre hohe spezifische Festigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit, gute Verträglichkeit mit Verbundwerkstoffen und ihre Biokompatibilität finden diese Legierungen

sowohl in der Luftfahrttechnik, so z. B. als hochbelastbare Strukturbauteile, als auch in der Medizintechnik, namentlich als Implantat, Verwendung [2-6]. Sowohl die Verfahren zur Generierung von Bauteilen aus Polymerwerkstoffen als auch die metallverarbeitenden Verfahren basieren dabei auf dem selben Grundprinzip: dem schichtweisen Aufbau der Strukturen auf der Basis von Pulvern oder auch Drähten. Beim selektiven Laserstrahlschmelzen (engl. *Selective Laser Melting* (SLM)) bzw. beim selektiven Elektronenstrahlschmelzen (engl. *Selective Electron Beam Melting*

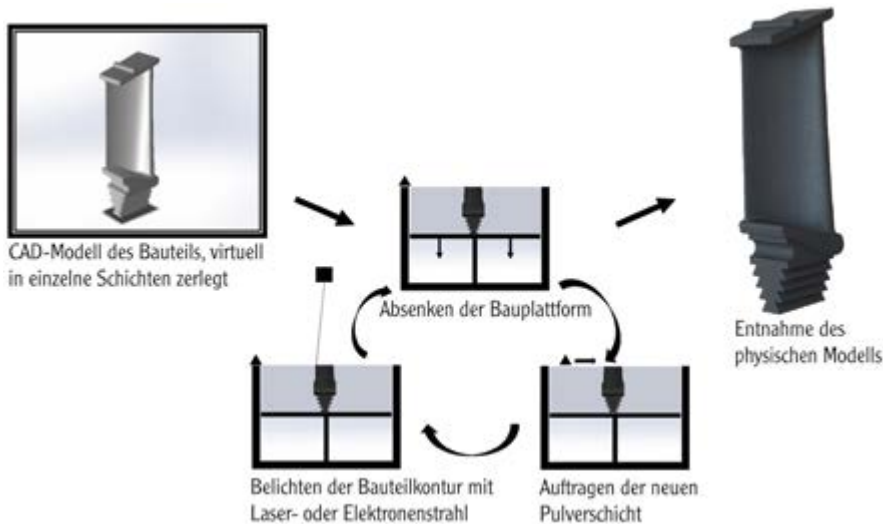


Abb. 1: Schematische Darstellung der Prozessabfolge beim selektiven Laser- und Elektronenstrahlschmelzen

(EBM)), die im Bereich der Metalle oftmals eingesetzt werden, erfolgt der Aufbau im Zuge einer zyklischen Abfolge des Auftragens dünner Pulverschichten und des lokalen Aufschmelzens der Bauteilkontur im jeweiligen Querschnitt, der durch ein dreidimensionales Computermodell vorgegeben wird (vgl. Abb. 1). Ein großer Vorteil dieses Prinzips ist die werkzeug- und formlose Fertigung physikalischer Strukturen direkt aus einem virtuellen Konstruktionsdatensatz heraus [7-10]. Dadurch können auf kosten- und zeiteffiziente Weise komplizierteste Bauteile mit zahlreichen geometrischen Freiheitsgraden gestaltet werden, die über eine umformende oder spanende Bearbeitung in konventionellen Prozessen nicht zu fertigen sind. Hergestellt werden Prototypen, individuelle Einzelstücke und Kleinserien, wobei die Teile direkt nach dem Prozess zumeist mechanische Eigenschaften, vergleichbar mit denen gegossener Werkstücke, aufweisen. Für die Fertigung hochbelasteter Komponenten kann auf eine Reihe von Nachbehandlungsverfahren zurückgegriffen werden, wie sie bereits für konventionell verarbeitete Werkstoffe seit langer Zeit eingesetzt werden. Das Portfolio prozessierbarer Werkstoffe wird ständig erweitert und umfasst - neben den bereits erwähnten Titanlegierungen - Aluminiumlegierungen, Edel-, Werkzeug- und Sonderstähle sowie hochtemperaturbeständige Nickelbasislegierungen [11-16].

Das selektive Laser- und das Elektronenstrahlschmelzen sind artverwandte Verfahren; die Verwendung unterschiedlicher Energiequellen - Laser- bzw. Elektronenstrahl - bedingt jedoch im Detail Unterschiede in der Prozessführung. Hieraus resultieren bei jedem Verfahren

Vor- und Nachteile [17]. Während bei den laserbasierten Anlagen unter einer Schutzgasatmosphäre gearbeitet wird, verläuft der elektronenstrahlbasierte Prozess im Vakuum. Dies erweitert die Auswahl an verarbeitbaren Materialien, da hierdurch die unerwünschte Aufnahme von leichten Elementen nahezu gänzlich vermieden werden kann. Gerade in intermetallischen Verbindungen, so z. B. den Titanaluminiden, kann hierüber eine ungewollte Versprödung vermieden werden [18,19]. Durch die im Vergleich zum trägeren Laserstrahl schnelle Ablenkbarkeit des Elektronenstrahls über elektromagnetische Spulen ist eine Erwärmung des gesamten Bauraumes möglich, was die Abkühlgeschwindigkeiten stark beeinflusst. Die damit deutlich verringerten Eigenspannungen im Bauteil schlagen sich in verbesserten mechanischen Eigenschaften nieder [20-23]. Bei Anwendung des selektiven Laserstrahlschmelzens wird dagegen die Oberflächenrauheit verbessert [24, 25]. Der interessante Weg der Verarbeitung von Mischpulvern wird mit beiden Verfahren gangbar sein; die Untersuchungen hierzu stehen jedoch erst in den Anfängen, so dass eine abschließende Beurteilung hinsichtlich der jeweiligen verfahrensspezifischen Vorteile noch nicht möglich ist.

Sämtliche additiven Fertigungsverfahren versprechen enorme Möglichkeiten zur kostengünstigen Umsetzung neuer Ansätze im Leichtbau. Dies kann prinzipiell durch eine topologische Optimierung der Bauteile mittels computergestützter Simulationsmethoden realisiert werden, da eine konstruktiv nahezu unbegrenzte Gestaltungsfreiheit gegeben ist. Zudem ist eine Funktionalisierung zur Erreichung des Minimalgewichts von Bauteilen

wegweisend. Dies bedeutet, dass mehrere funktionsbildende Elemente direkt über die Formgebung im Bauteil vorgesehen werden können, was wiederum positive Auswirkungen auf Nachbearbeitung und fügetechnischen Aufwand hat [26, 27].

Hinsichtlich ihrer Beschaffenheit können Bauteile weiterhin durch eine sog. multifunktionale Gradierung sehr individuell für verschiedenste Belastungsszenarien ausgelegt werden. Diese beinhaltet nicht nur eine Geometrieoptimierung, sondern kann auch eine örtliche Variation der Mikrostruktur sowie der chemischen Zusammensetzung der Materialien umfassen. Dies resultiert in lokal deutlich variierenden mechanischen Kennwerten, so dass Festigkeits- und Deformationseigenschaften optimal an wirkende Lasten angepasst sind. Diese gezielten Adaptionen können nicht nur das statische Verformungsverhalten beeinflussen, sondern werden sich auch in verbesserten Ermüdungseigenschaften manifestieren [28-33].

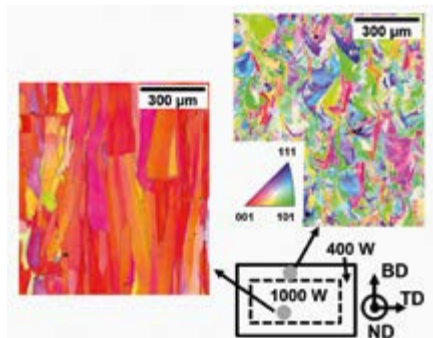


Abb. 2: Über das selektive Laserschmelzen eingeprägte variierende Mikrostrukturen: austenitischer Stahl [32]

Abb. 2 [32] zeigt deutlich, wie durch die Regelung der Laserleistung und damit des Energieeintrags beim SLM die Mikrostruktur direkt beeinflusst werden kann. Die Gefüge können dabei in weiten Bereichen von relativ feinkristallinen bis hin zu stängelförmigen, grobkörnigen Strukturen ausgebildet werden. Dies ist für sämtliche Werkstoffklassen von hohem Interesse. So sind die stängelförmig-groben Strukturen vor allem im Bereich von Hochtemperaturwerkstoffen vielversprechend. Da diese weniger Korngrenzen aufweisen, ist der Schädigungseintrag bei sehr hohen Temperaturen wesentlich geringer [34]. Ein derartiges Mikrostrukturdesign ist ebenso über den EBM-Prozess möglich. Abb. 3 [33,35] zeigt eine entsprechende Anlage sowie ausgewählte Musterbauteile.

Ein Ziel grundlagenwissenschaftlicher Forschung ist die Entwicklung neuer Werkstoffe, die speziell auf die Verfahrensrandbedingungen der AM-Verfahren zugeschnitten sind. Gerade die rasche Erstarrung nach dem lokalen Aufschmelzen ist ein einzigartiger Aspekt, der die robuste Verarbeitung neuer Hochleistungswerkstoffe vorantreiben wird. Hierüber lassen sich z. B. neue Legierungssysteme erschmelzen, die über konventionelle Verfahren bisher nicht prozessierbar waren. So konnte erstmalig eine Eisenbasis-Silber-Legierung über SLM erzeugt werden (Abb. 4) [36], die als aussichtsreicher Kandidat zur Herstellung bioresorbierbarer Implantate weitere Forschung initiieren wird. Die Möglichkeit zur Herstellung zellulärer Strukturen, wie sie in Abb. 5 dargestellt sind, ist dabei natürlich im Hinblick auf die Schnittstellen zwischen Knochen und dem Implantat von besonderem Interesse.

Quellen

- 1 A. Gebhardt, RTeJournal (2004).
- 2 O. L. A. Harrysson, O. Cansizoglu, D. J. Marcellin-Little, D. R. Cormier, H. A. West, Mater. Sci. Eng. C 28 (2008) 366-373.
- 3 L. E. Murr, K. N. Amato, S. J. Li, Y. X. Tian, X. Y. Cheng, S. M. Gaytan, E. Martinez, P. W. Shindo, F. Medina, R. B. Wicker, J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 4 (2011) 1396-1411.
- 4 G. Lütjering, J. C. Williams, Titanium, 2nd ed, Springer, Berlin; New York, 2007.
- 5 X. Li, C. Wang, W. Zhang, Y. Li, Mater. Lett. 63 (2009) 403-405.
- 6 L. E. Murr, S. A. Quinones, S. M. Gaytan, M. I. Lopez, A. Rodela, E. Y. Martinez, D. H. Hernandez, E. Martinez, F. Medina, R. B. Wicker, J. Mech. Behav. Biomed. Mater. 2 (2009) 20-32.
- 7 I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer, London, New York, 2010.
- 8 P. Fastermann, 3D-Drucken: wie die generative Fertigungstechnik funktioniert, Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- 9 E. Uhlmann, P. Elsner, I. Ederer, RTeJournal (2004).
- 10 U. Lindhe, H.-J. Hesse, RTeJournal (2004).
- 11 L. E. Murr, Addit. Manuf. 5 (2015) 40-53.
- 12 E. Brandl, U. Heckenberger, V. Holzinger, D. Buchbinder, Mater. Des. 34 (2012) 159-169.
- 13 H. E. Helmer, C. Körner, R. F. Singer, J. Mater. Res. 29 (2014) 1987-1996.
- 14 K. Guan, Z. Wang, M. Gao, X. Li, X. Zeng, Mater. Des. 50 (2013) 581-586.
- 15 S. Leuders, M. Thöne, A. Riemer, T. Niendorf, T. Tröster, H.A. Richard, H. J. Maier, Int. J. Fatigue 48 (2013) 300-307.
- 16 T. Niendorf, F. Brenne, Mater. Charact. 85 (2013) 57-63.
- 17 L. E. Murr, S.M. Gaytan, D. A. Ramirez, E. Martinez, J. Hernandez, K. N. Amato, P.W. Shindo, F. R. Medina, R. B. Wicker, J. Mater. Sci. Technol. 28 (2012) 1-14.
- 18 A. Strondl, O. Lyckfeldt, H. Brodin, U. Ackelid, JOM 67 (2015) 549-554.
- 19 L. C. Ardila, F. Garcíandia, J. B. González-Díaz,

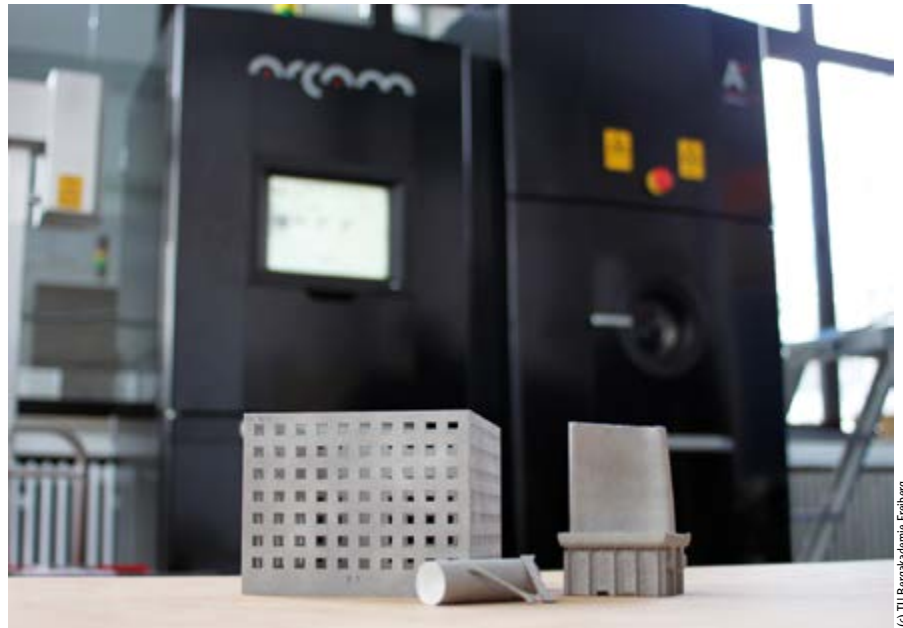


Abb. 3: Die Anlage zum Elektronenstrahlschmelzen in Freiberg; im Vordergrund sind einfache Musterbauteile abgebildet [33,35]

© TU Bergakademie Freiberg

- P. Álvarez, A. Echeverria, M. M. Petite, R. Deffley, J. Ochoa, Phys. Procedia 56 (2014) 99-107.
- 20 L. E. Murr, S. M. Gaytan, A. Ceylan, E. Martinez, J. L. Martinez, D. H. Hernandez, B. I. Machado, D. A. Ramirez, F. Medina, S. Collins, Acta Mater. 58 (2010) 1887-1894.
- 21 H. Weiwei, J. Wenpeng, L. Haiyan, T. Huiping, K. Xinting, H. Yu, Rare Met. Mater. Eng. 40 (2011) 2072-2075.
- 22 L. M. Sochalski-Kolbus, E. A. Payzant, P. A. Cornwell, T. R. Watkins, S. S. Babu, R. R. Dehoff, M. Lorenz, O. Ovchinnikova, C. Duty, Metall. Mater. Trans. A 46 (2015) 1419-1432.
- 23 C. Jang, P.-Y. Cho, M. Kim, S.-J. Oh, J.-S. Yang, Mater. Des. 31 (2010) 1862-1870.
- 24 G. Strano, L. Hao, R. M. Everson, K. E. Evans, J. Mater. Process. Technol. 213 (2013) 589-597.
- 25 A. B. Spierings, N. Herres, G. Levy, Rapid Prototyp. J. 17 (2011) 195-202.
- 26 B. Klein, Leichtbau-Konstruktion, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013.
- 27 K. Ehrlenspiel, A. Kiewert, U. Lindemann, Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2005.
- 28 M. Merklein, M. Geiger, J. Mater. Process. Technol. 125-126 (2002) 532-536.
- 29 L. Thijs, K. Kempen, J.-P. Kruth, J. Van Humbeeck, Acta Mater. 61 (2013) 1809-1819.
- 30 R. Pippan, K. Flechsig, F. O. Riemelmoser, Mater. Sci. Eng. A 283 (2000) 225-233.
- 31 T. Niendorf, S. Leuders, A. Riemer, F. Brenne, T. Tröster, H.A. Richard, D. Schwarze, Adv. Eng. Mater. 16 (2014) 857-861.
- 32 T. Niendorf, S. Leuders, A. Riemer, H.A. Richard, T. Tröster, D. Schwarze, Metall. Mater. Trans. B 44 (2013) 794-796.
- 33 J. Günther, T. Niendorf, GIT Labor-Fachzeitschrift, Ausgabe 7/2015
- 34 R. Bürgel, H. J. Maier, T. Niendorf, Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik, 4., überarb. Aufl, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2011.
- 35 TU Bergakademie Freiberg, <http://tu-freiberg.de/presse/wichtigster-deutscher-nachwuchsforscherpreis-geht-an-freiburger-wissenschaftler> (Foto: K. Werneburg).

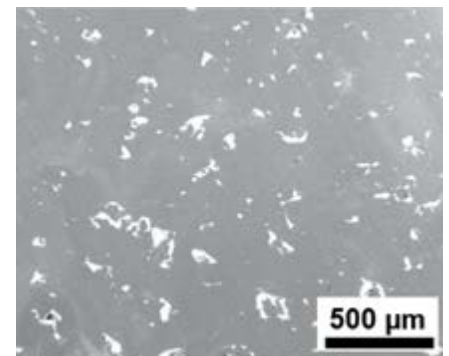


Abb. 4: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von einer über das selektive Laserschmelzen hergestellten Eisenbasis-Silber-Legierung [36]

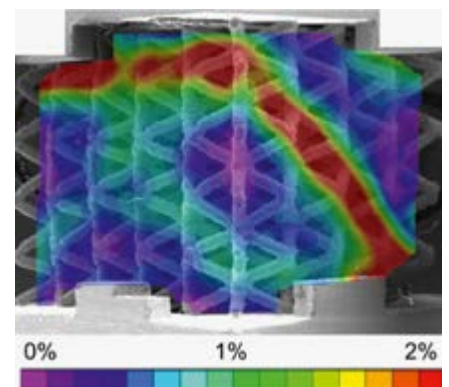


Abb. 5: Auswertung lokaler Verformungen in einer über das selektive Laserschmelzen hergestellten filigranen Gitterstruktur. Die über die digitale Bildkorrelation errechneten Dehnungen sind farblich kodiert. [37]

- 36 T. Niendorf, F. Brenne, P. Hoyer, D. Schwarze, M. Schaper, R. Grothe, M. Wiesener, G. Grundmeier, H.J. Maier, Metall. Mater. Trans. A 46 (2015) 2829-2833.
- 37 B. Gorny, T. Niendorf, J. Lackmann, M. Thöne, T. Tröster, H. J. Maier, Mater. Sci. Eng. A528 (2011) 7962-7967.

Anwendung schädigungsmechanischer Materialmodelle

Meinhard Kuna¹

Einleitung

Die Gewährleistung der technischen Sicherheit, ausreichender Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Konstruktionen, Werkstoffen und Bauteilen erfordert moderne wissenschaftliche Konzepte zur Bewertung und Vermeidung von Bruch- und Schädigungsprozessen. In der klassischen Festigkeitslehre geht man davon aus, dass die Konstruktion frei von jeglichen Defekten ist. Wie Schadensfälle aber zeigen, stoßen die konventionellen Festigkeits-hypothesen und Werkstoffkennwerte (Festigkeit, Streckgrenze) jedoch an Grenzen, weil reale Werkstoffe und Bauteile in der Praxis stets Defekte enthalten, die entweder bei der Herstellung oder als Folge von Betriebsbelastungen entstehen.

Um diese Schwierigkeiten zu überwinden, hat sich seit ca. 50 Jahren die Schädigungsmechanik (englisch: *continuum damage mechanics*) als moderne Disziplin der Festigkeitslehre und Materialtheorie herausgebildet [1,2]. Hier arbeitet man mit den gleichen Berechnungsmethoden wie in der klassischen Festigkeitslehre, jedoch wird im Unterschied dazu bei der Formulierung des Materialgesetzes angenommen, dass der Werkstoff mikroskopisch kleine, kontinuierlich verteilte Defekte besitzt, z. B. Mikrorisse oder Mikroporen. Diese Defekte werden aber nicht diskret – einzeln – abgebildet wie in der Bruchmechanik, sondern fließen nur als gemittelte Defektdichte pro Volumen – in quasi homogenisierter Form – in das Materialgesetz ein. Die Defektdichte liefert dann ein Maß für den Schädigungszustand D des Werkstoffs und wird im Materialgesetz als interne Variable behandelt. Infolge einer Beanspruchung vergrößert sich die Schädigung, bis ein kritischer Grenzwert D_c erreicht wird, was auf makroskopischer Ebene dem Versagen des Materials entspricht. Ein schädigungsmechanisches Materialgesetz beschreibt demnach sowohl die Verformungs- als auch die Versagenseigenschaften des Werkstoffs in lokal konkreter Form an jedem Materialpunkt der Struktur und impliziert somit ein lokales Festigkeitskriterium:

$$D \leq D_c \quad \in [0,1]$$

Die Schädigungsmechanik eignet sich deshalb besonders für die Modellierung mikromechanischer Versagensprozesse in einem Werkstoff, die vorrangig an Stellen hoher Beanspruchungen (Kerben, Rissspitzen) auftreten.

In Verbindung mit leistungsfähiger Berechnungssoftware wie der Finite Elemente Methode (FEM) hat sich die Schädigungsmechanik zu einem wichtigen Werkzeug in Forschung und Anwendung entwickelt. Im Folgenden werden einige Beispiele aus der Arbeit des Lehrstuhls Technische Mechanik – Festkörpermechanik vorgestellt.

Duktile Schädigung von Gusseisen

Duktiler Gusseisen mit Kugelgraphit wird aufgrund seiner guten Festigkeitseigenschaften und seiner ebenfalls guten gießtechnischen Verarbeitbarkeit für viele Anwendungen vorteilhaft genutzt (Windkraftanlagen, CASTOR-Behälter, Kurbelwellen, etc.). Die in das Material eingeschlossenen Graphitteilchen (ca. 12 Vol%) verkörpern aufgrund ihrer geringen Festigkeit

mikromechanische Defekte, von deren Größe, Verteilung und Form die makroskopischen mechanischen Eigenschaften wesentlich abhängen, siehe *Abb. 1*.

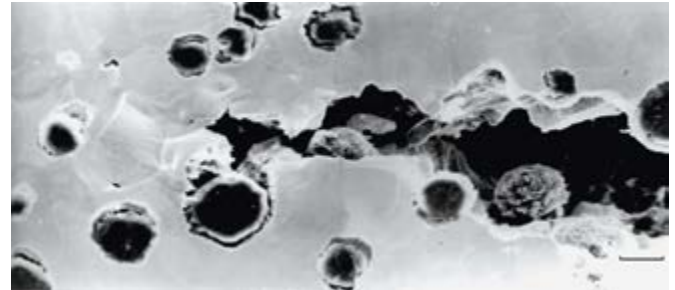


Abb. 1: REM-Aufnahme der Schädigungsstrukturen im Gefüge von duktilem Gusseisen an einer Rissspitze

Zur Modellierung der Schädigung in duktilen metallischen Werkstoffen hat sich das Gurson-Tvergaard-Needleman (GTN) Modell [3,4] etabliert. Es handelt sich um eine Erweiterung der v.-Mises-Plastizität unter Berücksichtigung der Schädigung durch Mikroporen, deren Volumenanteil als Schädigungsmaß dient. Das Modell beschreibt die Bildung, das Wachstum und die Koaleszenz der Mikroporen im Gefolge einer plastischen Verformung und bei einem gegebenen Spannungszustand. Dieser Zusammenhang wird im Rahmen der druckabhängigen Plastizitätstheorie durch ein entsprechendes Dissipationspotenzial Φ formuliert, das neben der v.-Mises-Vergleichsspannung σ_V auch die Mittelspannung σ_h und die Schädigungsvariable f enthält. $\sigma_M(\epsilon_M^p)$ beschreibt die Verfestigung des reinen Matrixmaterials; und q_1, q_2 sind Modellparameter.

$$\Phi = \frac{\sigma_V^2}{\sigma_M^2} + 2q_1 f \cosh\left(\frac{3q_2 \sigma_h}{2 \sigma_M}\right) - 1 - (q_1 f)^2$$

Der Porenvolumenanteil f wächst infolge der plastischen Verformung bei mehrachsiger Belastung, bis eine kritische Grenze f_c dieser Schädigungsvariablen erreicht ist, ab der das Volumenelement keine Last mehr übertragen kann. Dafür werden die entsprechenden Gesetze zur Neubildung, zum Wachstum und zur Koaleszenz der Mikroporen ergänzt. Mit diesem Modell wurde das Bruchverhalten von duktilem Gusseisen GJS 400 simuliert. *Abb. 2* zeigt einen kreisförmigen Ausschnitt rings um eine Rissspitze, an dessen Außenrand eine steigende Belastung in Form des K_I -kontrollierten Rissnahfeldes angelegt wird. Der größte Bereich des FEM-Modells wird durch das GTN-Modell mit den für GJS 400 typischen Daten beschrieben. Zusätzlich wird direkt um die Rissspitze herum das Gefüge mit seinen einzelnen diskreten Poren (Graphitteilchen) abgebildet, wobei charakteristische Mikrostrukturparameter wie Teilchengröße R_0 und Teilchenabstand X_0 in die Simulation einfließen. In der FEM-Simulation wird diese Struktur nun monoton belastet, indem der Spannungsintensitätsfaktor K_I bzw. das J-Integral sukzessiv erhöht werden. Als Folge davon bildet sich zunächst eine plastische Zone an der Rissspitze aus, wobei es gleichzeitig zu einem Wachstum der Mikroporen f im homogenisierten Bereich kommt. Die diskreten Mikroporen erfahren eine extreme

¹ Professur Technische Mechanik und Festkörpermechanik

Aufweitung, und die Verbindungsstege schnüren sich ein und versagen schließlich durch plastischen Kollaps. Dieser Prozess führt zur duktilen Ausbreitung des Risses um die Länge Δa , was Abb. 3 illustriert. Trägt man das normierte Risswachstum Δa gegenüber der äußeren Rissbeanspruchung K_I bzw. dem J-Integral auf, so erhält man die Risswiderstandskurve des Werkstoffs.

In Abb. 4 sind die Ergebnisse von verschiedenen Varianten der schädigungsmechanischen Simulation experimentellen Daten von GJS 400 gegenübergestellt, und man erkennt eine gute gegenseitige Übereinstimmung. Auf diese Weise ermöglicht die Schädigungsmechanik eine quantitative Vorhersage des Bruchverhaltens von Gusseisen – allein unter Verwendung der mikrostrukturellen Gefügeparameter und der Parameter der plastischen Verformungseigenschaften des Matrixmaterials. Somit sind Möglichkeiten zur Optimierung des Gefüges und zur Einstellung der Bruchzähigkeitswerte gegeben. Weitere Informationen findet man in den Publikationen [5, 6].

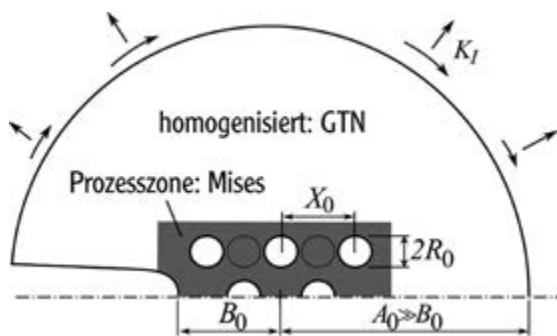


Abb. 2: Riss mit GTN-Modell und diskret aufgelöster Prozesszone

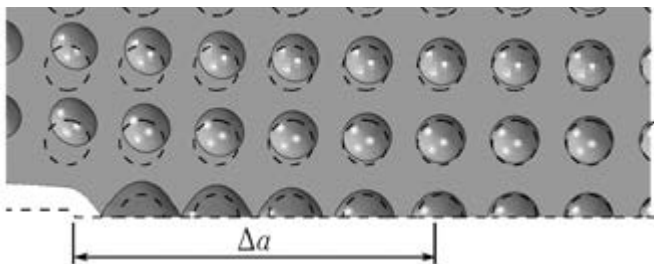


Abb. 3: Simulation des duktilen Risswachstums durch Vereinigung der Mikroporen

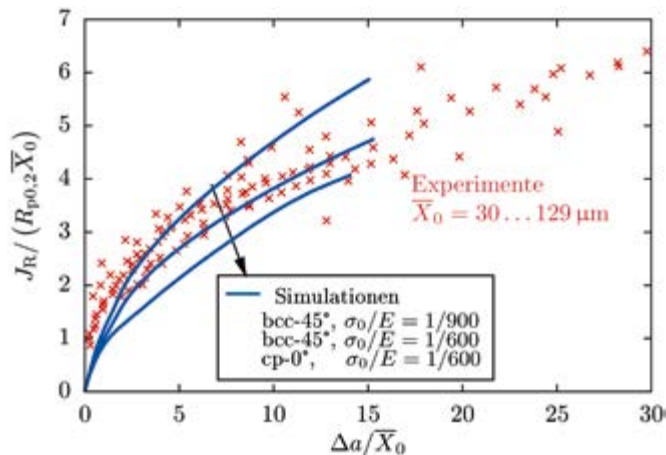


Abb. 4: Vergleich der simulierten Risswiderstandskurven mit Daten aus Bruchexperimenten (IWT Freiberg) [6]

Spröde Schädigung keramischer Schaumstrukturen

Offenporige keramische Schäume werden als Filterwerkstoffe in der Metallurgie, für Leichtbaustrukturen oder als Gerüst für Composite eingesetzt. Sie besitzen eine relativ hohe Festigkeit und Steifigkeit, bezogen auf ihr spezifisches Gewicht. Motiviert durch die beiden Sonderforschungsbereiche SFB799 und SFB920 wurden systematisch numerische Untersuchungen zum Festigkeitsverhalten keramischer Schaumstrukturen durchgeführt. Das Ziel bestand wiederum darin, Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur der Schäume (Zellgröße, Topologie, relative Dichte, Stegform u. a.) und den Kenngrößen der mechanischen Eigenschaften, wie dem effektiven Elastizitätsmodul und den Festigkeitsparametern, herzustellen. Da gesinterte keramische Werkstoffe eine Vielzahl von Mikrodefekten in Form von Mikrorissen verschiedener Größe besitzen, unterliegt ihr Versagen einer starken statistischen Streuung. Die Versagenswahrscheinlichkeit einfacher Werkstoffproben aus solchen Keramiken kann recht gut durch eine Weibull-Verteilung beschrieben werden [7]. Die Frage stellt sich nun: Wie gewinnt man daraus eine probabilistische Aussage über die Bruchfestigkeit der entsprechenden Schaumstruktur? Um sie zu beantworten, muss man die lokale Spannungsverteilung in der Mikrostruktur des Schaums mit der äußeren Beanspruchung, dargestellt durch den an einem Volumenelement anliegenden makroskopischen Spannungszustand, in Korrelation setzen.

Als Lösung bieten sich die Modelle der Schädigungsmechanik für sprödes Versagen von Strukturen an (s. [8]). Zuerst wird eine idealisierte Struktur offenporiger Schäume in Form von periodisch angeordneten Kelvin-Zellen (Tetraikaedraeder) mit geraden zylinderförmigen Stegen modelliert (s. Abb. 5a). Aufgrund von Symmetrie- und Periodizitätseigenschaften genügt die Betrachtung des rot markierten Ausschnitts – eines sogenannten Repräsentativen Volumen-Elements RVE. An dieses RVE wird ein makroskopischer Spannungszustand (Tensor σ_{ij}) angelegt und unter Berücksichtigung entsprechender Randbedingungen mit der FEM berechnet. Abb. 5b zeigt das FE-Netz mit Isolines maximaler Hauptspannung bei horizontaler Zugbelastung [9].

Als Ergebnis erhält man die lokalen Spannungen $\tilde{\sigma}_{ij}$ in jedem Volumenelement V_i der Mikrostruktur. Unter Hinzuziehung der Schädigungsmechanik daraus ein probabilistisches Maß für die Beanspruchung der Mikrostruktur (des RVE). Dazu wird aus den Spannungen in jedem Volumenelement des RVE eine versagensrelevante äquivalente Spannung $\tilde{\sigma}_{eq}$ gebildet und durch Summation über das RVE die sogenannte Weibull-Spannung σ_w wie folgt berechnet:

$$\sigma_w = \left[\sum_{i=1}^n (\tilde{\sigma}'_{eq})^m \frac{V_i}{V_0} \right]^{1/m}, \quad \tilde{\sigma}'_{eq} = \left[\left(\frac{\tilde{\sigma}_1 + |\tilde{\sigma}_1|}{2} \right)^m + \left(\frac{\tilde{\sigma}_2 + |\tilde{\sigma}_2|}{2} \right)^m + \left(\frac{\tilde{\sigma}_3 + |\tilde{\sigma}_3|}{2} \right)^m \right]^{1/m}$$

Die äquivalente Spannung für Sprödbbruch berechnet sich aus den drei Hauptspannungen $\tilde{\sigma}_{1,2,3}$. Dabei bezeichnet m den Weibull-Modul, σ_u die Referenz-Spannung und V_0 ein Referenzvolumen – Parameter, die vom keramischen Grundwerkstoff abhängen. Schließlich ergibt sich für die Versagenswahrscheinlichkeit der gesamten Kelvin-Zelle eine typische Weibull-Verteilung als Funktion von σ_w . Im nächsten Schritt werden nun systematisch alle möglichen makroskopischen Spannungszustände σ_{ij} numerisch getestet und anhand der ermittelten Weibull-Spannung so skaliert, dass sich vergleichbare kritische Zustände (gleiche Versagenswahrscheinlichkeiten) einstellen.

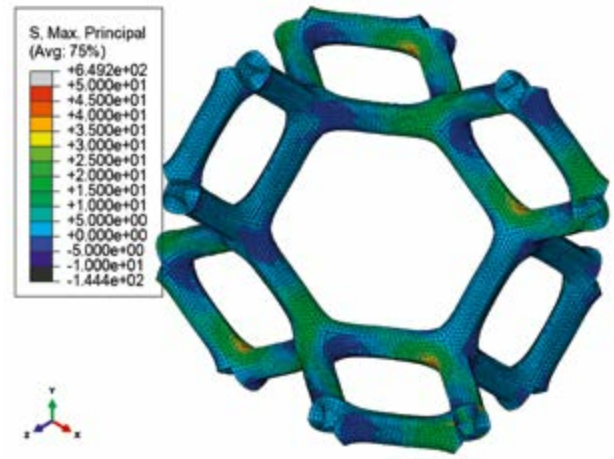
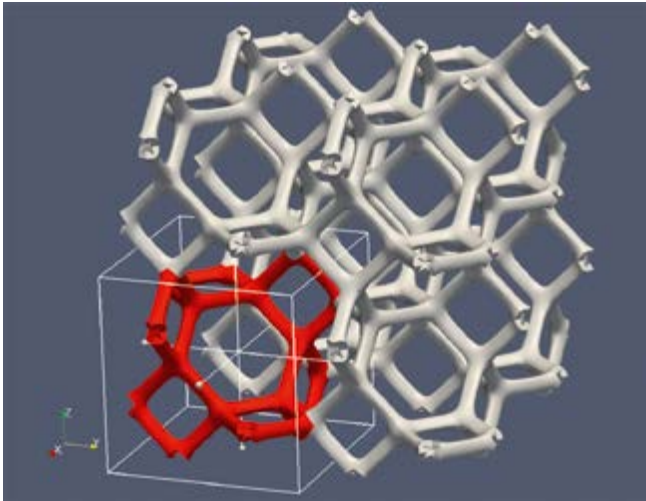


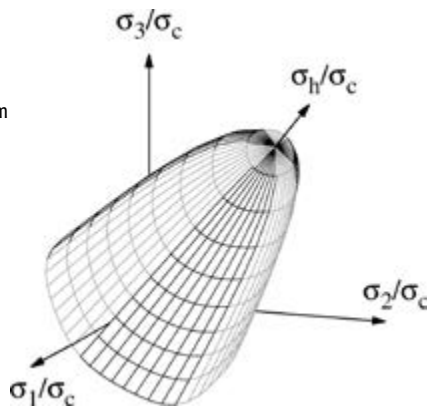
Abb. 5: a) Idealierte Schaumstruktur aus periodisch angeordneten Kelvin-Zellen und b) FEM-Modell eines repräsentativen Volumenelements aus Hexaederelementen

$$P(\sigma_x) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_c}\right)^m\right\}$$

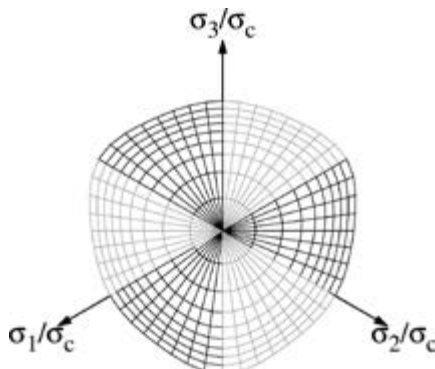
Das Resultat kann als eine Grenzfläche im Raum der Makrospannungen dargestellt werden, innerhalb derer sichere Belastungszustände bestehen, während auf der Fläche der kritische Zustand erreicht wird. *Abb. 6* zeigt ein Beispiel für einen Schaum mit 2% relativer Dichte. Auf diese Weise konnte in [10] ein Versagenskriterium für den Spröbruch eines typischen Volumenelements des Schaums gewonnen werden. Dieses Kriterium steht für technische Anwendungen bereit, wenn es darum geht, die Festigkeit von Bauteilen aus keramischen Schäumen zu beurteilen, sobald man die Spannungen in jedem Bereich berechnet hat.

Abb. 6: Isoflächen gleicher Versagenswahrscheinlichkeit von 63% im Spannungsraum

a) Hauptachsendarstellung



b) Deviator- π -Ebene



Elektromechanische Ermüdung von Piezoaktuatoren

Piezoelektrische Stapelaktuatoren aus Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) finden vielfältige Anwendungen in Mikropositioniergeräten, Einspritzsystemen oder adaptiven mechanischen Strukturen, da sie über eine kurze Reaktionszeit, hohe Genauigkeit sowie große Stellkraft verfügen. Allerdings können extreme lokale Beanspruchungen, wie z. B. starke elektrische Felder oder hohe Spannungskonzentrationen, zum Versagen dieser Bauelemente führen. Aufgrund der geringen Festigkeit der Funktionskeramiken sind Bruchvorgänge und Ermüdung die wesentlichen Versagensformen und müssen eingehender untersucht werden. Insbesondere verursachen zyklische, rein elektrische Betriebsbelastungen in Verbindung mit dem ferroelektrischen Materialverhalten sukzessive Schädigungsprozesse, die die Lebensdauer der Stapelaktuatoren beeinträchtigen.

Zur Beschreibung des gekoppelten elektromechanischen Verhaltens von piezo- und ferroelektrischen Keramiken wurde am IMFD ein Materialmodell entwickelt und als UMAT-Routine in das Finite-Element-Programm Abaqus implementiert [12]. Damit können die ferroelektrischen Polarisations- und Dehnungshysteresen in polykristallinen Keramiken als Ergebnis mikromechanischer Domänenprozesse unter beliebiger elektrischer und mechanischer Beanspruchung modelliert und die sich einstellenden Spannungs- und Potenzialfelder berechnet werden.

Kohäsivzonenmodelle beschreiben die mechanische Wechselwirkung zwischen zwei Grenzflächen (z. B. Rissufer) bei einem Trennvorgang in Form eines Gesetzes, das die Abhängigkeit der Normalspannung t vom Abstand δ (Separation) wiedergibt. *Abb. 7* zeigt dies in normierter Darstellung $\tau = t/t_0$ über $\lambda = \delta/\delta_0$, wobei t_0 die Kohäsivfestigkeit (Maximum) und δ_0 die entsprechende Separation bedeuten. Ab dem Maximum kommt es zur Entfestigung des Materials, was mit der Entwicklung der Schädigungsvariablen D verbunden ist. Zyklische Kohäsivzonenmodelle ermöglichen die Modellierung des Materialversagens infolge wechselnder Belastungsszenarien. Sie bestehen aus Entwicklungsgleichungen für die Schädigungsvariable, so dass auch bei unterkritischen Ent- und Wiederbelastungsphasen das Materialversagen voranschreitet (*siehe Abb. 7*) und [11]. Die Schädigungsentwicklung wird als Funktion der Separation wie folgt ausgedrückt:

$$\dot{D} = (1-D) \left(\frac{\lambda}{1 - \log(1-D)} \right)' \langle \dot{\lambda} \rangle$$

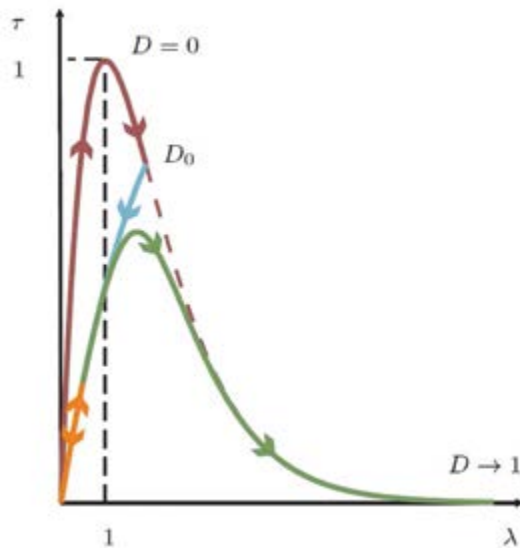


Abb. 7: Spannungs-Separations-Kurve des zyklischen Kohäsivgesetzes: monotone Belastung (rot), Entlastung $\dot{D}=0$ (blau), Wiederbelastung $\dot{D}>0$ (grün), Dauerfestigkeitsgrenze (gelb)

Mit diesen zwei Modellen wurde ein PZT-Stapelaktuator berechnet. Abb. 8 zeigt das FEM-Netz mit den Randbedingungen. Die erste kritische Belastung tritt unmittelbar nach der

Herstellung des Aktuators beim elektrischen Polungsvorgang auf, da hierbei ein starkes elektrisches Feld angelegt wird. Die Polarisationsprozesse konzentrieren sich rings um den Bereich der Elektrodenspitze (Abb. 9) und die induzierten inelastischen Verzerrungen erzeugen nach Entlastung Zug-Eigenspannungen im passiven Bereich. Im Betrieb unterliegt der Aktuator einer elektrischen Wechselspannung, die zu zyklischen lokalen Umpolungsprozessen und mechanischen Wechselverformungen führt. Die deutlichsten Separationen und die stark geschädigten Bereiche liegen in einem kleinen Abstand vor der Elektrodenspitze. Das Ligament vor der Elektrode wurde mit den Kohäsivelementen ausgestattet. Abb. 10 zeigt die Größe der Schädigungsvariablen (Materialtrennung) nach 90 elektrischen Zyklen. In Abb. 11 wird der weitere Verlauf der Schädigung mit den Lastzyklen in den drei typischen Bereichen A, B und C dargestellt. Man sieht, dass sich eine fortschreitende Schädigung im Ligament ausbreitet, die schließlich zur Rissbildung und zum Funktionsausfall des Aktuators führt.

Diese numerischen Untersuchungen dienen dem besseren Verständnis der Materialschädigung in Ferroelektrika infolge komplexer elektromechanischer Beanspruchungen und ermöglichen die Optimierung des Aktuator designs [12].

Mein Dank gilt allen Mitarbeitern (siehe Publikationsliste), die an der Erarbeitung dieser Forschungsergebnisse beteiligt sind.

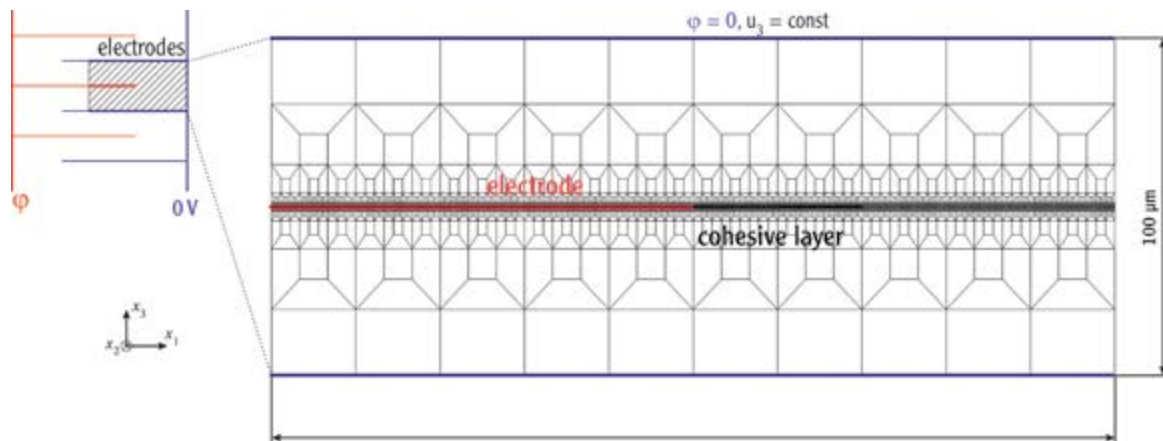


Abb. 8: Piezoelektrischer Aktuator und FEM-Modell eines repräsentativen Ausschnitts mit Kohäsivelementen auf dem Ligament vor der Elektrode aktiv/Druck, passiv/Zug

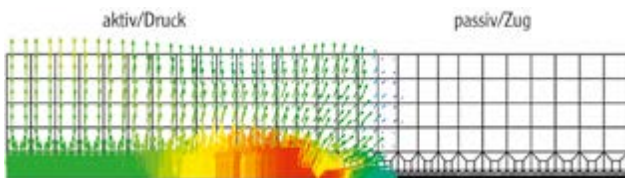


Abb. 9: Polarisationsvektoren beim Polungsvorgang

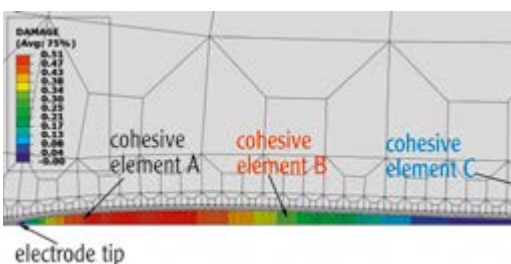


Abb. 10: Akkumulierte Schädigung auf dem Ligament vor der Elektrode nach 90 Lastzyklen

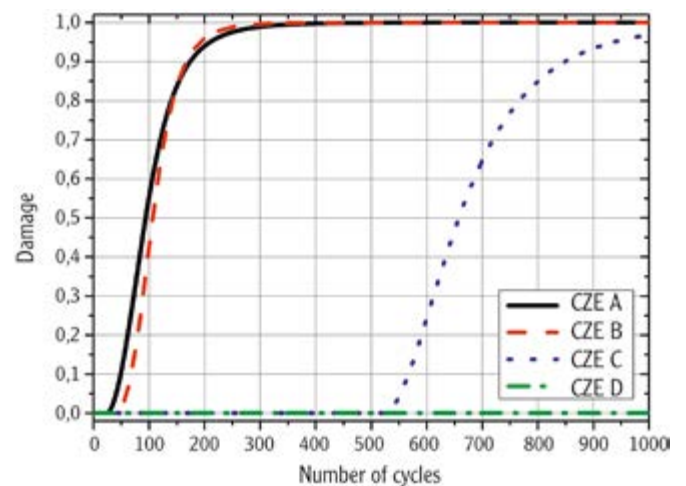


Abb. 11: Entwicklung der Schädigung in charakteristischen Bereichen mit zunehmender Lastzyklenzahl

Literatur

- 1 J. Lemaitre, A course on damage mechanics, Springer, Dordrecht 1996.
- 2 S. Murakami, Continuum Damage Mechanics, Springer, Dordrecht 2012.
- 3 L. Gurson, Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth, J. Eng. Mater-T. ASME. 99 (1977) 2-15.
- 4 V. Tvergaard und A. Needleman, Analysis of the cup-cone fracture in a round tensile bar, Acta. Metall. Mater. 32 (1984) 157-169.
- 5 Hütter, G., Zybelle, L., Mühlich, U., Kuna, M., Ductile crack propagation by plastic collapse of the intervoid ligaments. Int. J. Fract. 176 (2012) 81-96.
- 6 Hütter, G., Zybelle, L., Kuna, M., Micromechanisms of fracture in nodular cast iron: From experimental findings towards modeling strategies - A review, Eng. Fract. Mech. 144 (2015) 118-141.
- 7 Danzer, R., Supancic, P., Pascual, J., Lube, T., 2007. Fracture statistics of ceramics - Weibull statistics and deviations from Weibull statistics. Engineering Fracture Mechanics 74, 2919-2932.
- 8 Beremin, F. M., 1983. A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel. Metallurgical Transactions A 14A, 2277-2287.
- 9 Storm, J., Abendroth, M., Zhang, D., Kuna, M., 2013. Geometry Dependent Effective Elastic Properties of Open-Cell Foams Based on Kelvin Cell Models. Advanced Engineering Materials 15, 1292-1298.
- 10 Zhang, D., Abendroth, M., Kuna, M., Storm, J.: Multi-axial brittle failure criterion using Weibull stress for open Kelvin cell foams, International Journal of Solids and Structures (2015) in press.
- 11 Roth S, Hütter G, Kuna M., Simulation of fatigue crack growth with a cyclic cohesive zone model. Int J Fracture 188 (2014):23-45.
- 12 Kozinov, S., Kuna, M., Roth, St., A cohesive zone model for the electromechanical damage of piezoelectric/ferroelectric materials, Smart Mater. Struct. 23 (2014) 055024.

Ermüdungsverhalten einer Nickelbasis-Superlegierung bei Hochtemperatur unter biaxialer Belastung

Dirk Kulawinski¹ und Horst Biermann¹

Das Ermüdungsverhalten der geschmiedeten Nickelbasis-Superlegierung Waspaloy wurde unter isothermer und thermo-mechanischer niederzyklischer Beanspruchung im Temperaturbereich 400–650 °C sowohl für den einachsigen als auch für den biaxial-planaren Spannungszustand untersucht. Bei den mehrachsigen Versuchen ging es um den Einfluss des Spannungszustands auf das Ermüdungsverhalten für drei verschiedene Dehnungsverhältnisse. Die ermittelten Ermüdungslebensdauern unter einachsiger bzw. biaxial-isothermer Beanspruchung stimmen mit den aus der Literatur bekannten Daten überein. Bezüglich der thermo-mechanischen In-Phase- sowie der Out-of-Phase-Belastung kann eine konservative Lebensdauerbeschreibung mit Lebensdauern unter isothermen Bedingungen bei der Obertemperatur im Belastungszyklus angegeben werden. Im Weiteren wurde das Versagensverhalten bei Rissinitiierung und initiiertem Risswachstum mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops charakterisiert. Dabei wurde ein Rissmechanismenwechsel von einem hauptsächlich transkristallinen Rissverlauf bei 400 °C ausgehend – hin zu einem vor allem interkristallinen Rissfortschritt bei 650 °C festgestellt. Eine ganzheitliche Lebensdauerbeschreibung, beruhend auf isothermen und anisothermen Ermüdungsversuchen, gelingt mit Hilfe eines neuen Lebensdauermodells, das auf dem Spannungs-Dehnungs-Ansatz basiert.

Nickelbasis-Superlegierung, biaxial-planare Belastung unter Verwendung kreuzförmiger Proben, Hochtemperatur-Ermüdungsverhalten, thermo-mechanische Ermüdung, Lebensdauermodell / Nickel base superalloy, Biaxial-planar loading by using cruciform specimens, high-temperature fatigue behavior, thermo-mechanical fatigue, lifetime model

Einleitung

Typischerweise werden Nickelbasis-Superlegierungen als Turbinenschaufel- und -scheibenwerkstoff in Gasturbinen eingesetzt, wo die Komponenten hohen Temperaturen und Spannungen ausgesetzt sind. Infolge der gleichzeitigen Belastung durch Gas- und durch Zentripetalkräfte unterliegen Turbinenschaufeln und -scheiben während des Betriebes mehrachsigen Beanspruchungen. Zusätzlich führt das Anfahren und Abschalten der Turbine zu einem Temperaturwechsel, der aufgrund des dann hohen Temperaturgradienten im Bauteil thermische Spannungen hervorruft, die sich mit den äußeren Beanspruchungen überlagern. Die Überlagerung beider Beanspruchungsarten führt im Betrieb zu einer sog. thermo-mechanischen Ermüdung, die für die Turbinenkomponenten versagensrelevant ist. Gegenwärtig erfolgt der Festigkeitsnachweis von Turbinenbauteilen infolge nur begrenzt verfügbarer Ermüdungsdaten für isotherme und anisotherme mehrachsige Belastungsszenarien auf der Basis von unter einachsigen Bedingungen generierten Materialdaten. Der in solchen Bauteilen aber vorherrschende mehrachsige Spannungszustand wird mit Hilfe von Vergleichshypothesen, wie der Gestaltänderungsenergie-Hypothese nach von Mises, auf einen fiktiven einachsigen Spannungszustand zurückgeführt. Dabei

verbleibt natürlich eine Kluft zwischen der Realität und dem modellmäßig unterstellten einachsigen Spannungszustand, die in einzelnen Lastfällen kritische Konsequenzen für die Sicherheitsreserven haben kann. Diese Ungenauigkeiten können anhand von mehrachsigen Hochtemperaturermüdungsversuchen reduziert werden. Deswegen wurde ein biaxial-planarer Versuchsstand aufgebaut, mit dem sowohl isotherme als auch thermo-mechanische Ermüdungsversuche durchgeführt werden können. Ziel der Arbeit war es, den Einfluss von biaxialen Spannungszuständen auf das Ermüdungsverhalten zu untersuchen und eine geeignete Lebensdauer vorhersage für die isotherme und thermo-mechanisch verursachte Ermüdung für sämtliche in Betracht gezogenen Spannungszustände zu geben. Dafür wurde ein neues Lebensdauermodell auf Basis des Spannungs-Dehnungs-Ansatzes entwickelt [1, 2].

Werkstoff

Die untersuchte Nickelbasis-Superlegierung ist die Schmiedelegerung Waspaloy, die für Turbinenscheiben verwendet wird – mit der chemischen Zusammensetzung entsprechend *Tabelle 1*.

Im Ausgangszustand wurde Waspaloy einer Wärmebehandlung, bestehend aus Lösungsglühen bei 1040 °C für zwei Stunden und einer mehrstufigen

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der geschmiedeten Nickelbasis-Superlegierung Waspaloy in Gewichtsprozent

Ni	Cr	Co	Mo	Ti	Al	Zr	Si	C	Mn	B, S	P
Rest	18,5	11,6	5,1	3,0	1,8	0,12	0,6	0,02	0,04	<0,01	0,02

1 Institut für Werkstofftechnik

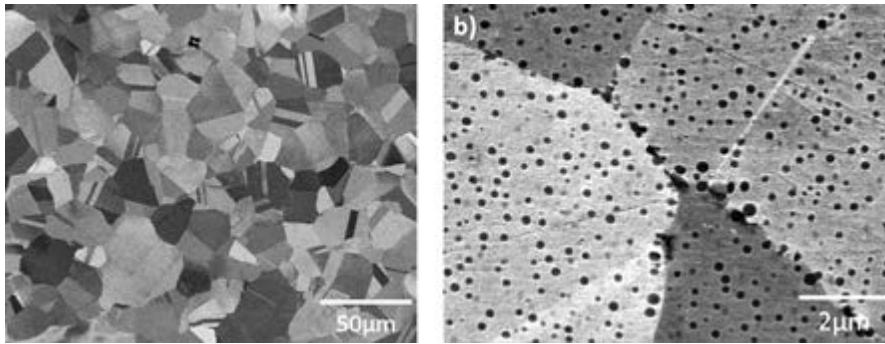


Abb. 1: a) Rasterelektronenmikroskopische Übersichtsaufnahme der Mikrostruktur von Waspaloy sowie b) Detailaufnahme der charakteristischen zweiphasigen γ/γ' -Mikrostruktur (Rückstreuungskontrast)

Warmauslagerung bei 850 °C für vier Stunden sowie für 16 Stunden bei 760 °C, unterzogen. Diese Wärmebehandlung führt zu der für die Nickelbasis-Superlegierung typischen zweiphasigen Mikrostruktur, bestehend aus γ -Mischkristallen und der γ' -Ausscheidungsphase (s. Abb. 1), wobei γ' sich als sphärische Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 200 nm ausscheidet und einen Volumenanteil von 20% einnimmt, Abb. 1b.

Die Körner, Abb. 1a, haben keine Vorzugsorientierung und einen Durchmesser zwischen 10–30 μm (ASTM 10 bis 12), wobei die mittlere Korngröße 15 μm beträgt.

Experimentelle Details

Die einachsigen isothermen und thermo-mechanischen Ermüdungsversuche wurden an einer servohydraulischen Prüfmaschine (MTS Landmark 100) mit einer Belastbarkeit von 100 kN durchgeführt, die mit einem Induktionsgenerator (Hüttinger) zur Probenheizung ausgestattet ist. Für die Temperaturmessung wurde ein Thermoelement vom Typ K verwendet, das als zusammengeschweißtes Band in der Mitte des Messbereichs um die Probe gelegt wird.

Die isotherme und thermo-mechanische Ermüdungsprüfung unter biaxial-planarer Beanspruchung wurde an der servohydraulischen Prüfmaschine von Instron mit vier Aktuatoren und einer Belastbarkeit von 250 kN durchgeführt (s. Abb. 2a). Jeweils zwei gegenüberliegende Aktuatoren sind zu einer Achse verknüpft, so dass sich die beiden Achsen im Zentrum unter 90° schneiden. Diese Maschine ist ebenfalls mit einem Induktionsgenerator ausgestattet, durch den die kreuzförmige Probengeometrie induktiv erwärmt werden kann. Dazu wird ein Induktor einseitig vor der Probe platziert. Auf der gegenüberliegenden Seite der Probe werden im Messbereich das Thermoelement vom Typ K und das

biaxial-orthogonale Extensometer befestigt (s. Abb. 2c). Der Messbereich der kreuzförmigen Probe hat eine reduzierte Dicke von 1,6 mm und einen Durchmesser von 15 mm entsprechend der technischen Zeichnung in Abb. 2b.

Mit beiden servohydraulischen Prüfständen können sowohl die isothermen als auch die thermo-mechanischen Versuche nach dem „code of practice“ der thermo-mechanischen Ermüdung durchgeführt werden. Im Fall der isothermen LCF-(low cycle fatigue)-Versuche wird die Beanspruchung bis zur Gesamtdehnung mit einer Dehnrage von 10^{-3} s^{-1} geregelt. Bei den thermo-mechanischen TMF-(thermo-mechanical fatigue)-Versuchen ist von der Gesamtdehnung die thermische Dehnung zu subtrahieren, um die Ermüdungsversuche mechanisch dehnungsgeregelt durchzuführen. In thermo-mechanischen Ermüdungsversuchen richtet sich die Prüffrequenz nach der Aufheiz- und Abkühlrate, die für die einachsigen Versuche 4 K/s und für den biaxialen Versuch 2 K/s

betrug. Für die biaxiale Beanspruchungen wurden proportionale Belastungen zwischen den Achsen 1 und 2 eingestellt, die mit dem Dehnungsverhältnis $\phi = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}$ beschrieben werden können.

Grundsätzlich werden TMF-Versuche über den Signalverlauf von Temperatur und mechanischer Dehnung charakterisiert. Ein gleichphasiger Verlauf von Temperatur und mechanischer Dehnung wird als In-Phase-(IP-)Beanspruchung bezeichnet, liegt hingegen ein Phasenversatz von 180° vor, wird von einer Out-of-Phase-(OP-)Beanspruchung gesprochen.

Ergebnisse

In Abb. 3 werden die Lebensdauern der Proben bei biaxial-planaren und bei einachsigen isothermen Ermüdungsversuchen für 400 °C und 650 °C mit entsprechenden Daten aus der Literatur verglichen. Auf Basis der Literaturdaten wurde eine Dehnungswöhlerlinie approximiert und das für Ermüdungsversuche typische Streuband von 2 eingezeichnet. Aus Abb. 3 ist ersichtlich, dass sowohl die ermittelten Lebensdauern unter biaxial-planarer als auch unter einachsiger Beanspruchung in das Streuband von 2 fallen. Demzufolge ist die Gestaltänderungsenergie-Hypothese nach von Mises geeignet, eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Spannungszuständen sicherzustellen. Nach der Literatur [3–12] sind in einschlägigen Studien bezüglich der Korngröße von Waspaloy (15–124 μm) unterschiedliche Probenkörper bei Dehnraten von 10^{-2} bis 5×10^{-5} bis untersucht worden. Danach haben sowohl die Korngröße als auch die

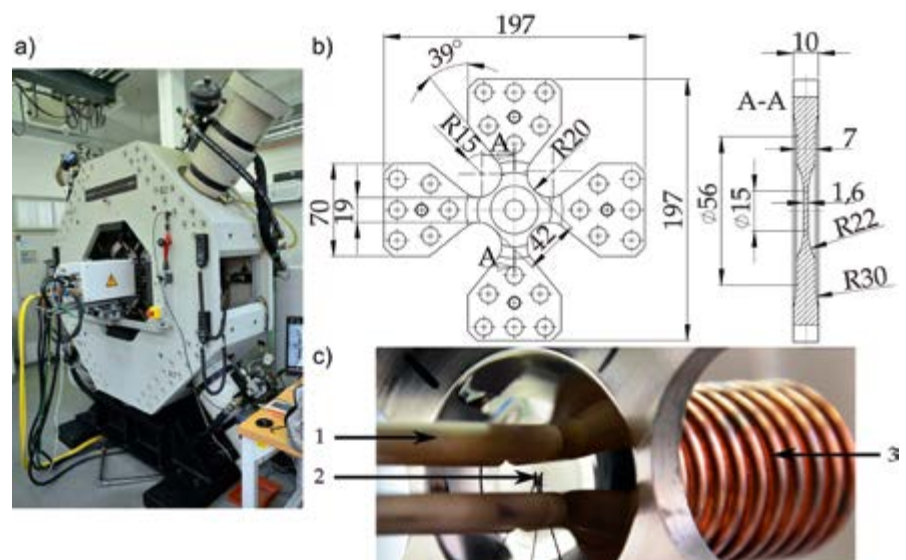


Abb. 2: a) Servohydraulische biaxial-planare Prüfmaschine mit b) der kreuzförmigen Probengeometrie (technische Zeichnung) sowie c) Versuchsaufbau für die isothermen und thermo-mechanischen Ermüdungsversuche mit biaxial-orthogonalem Extensometer (1), Thermoelement (2) und Induktor (3)

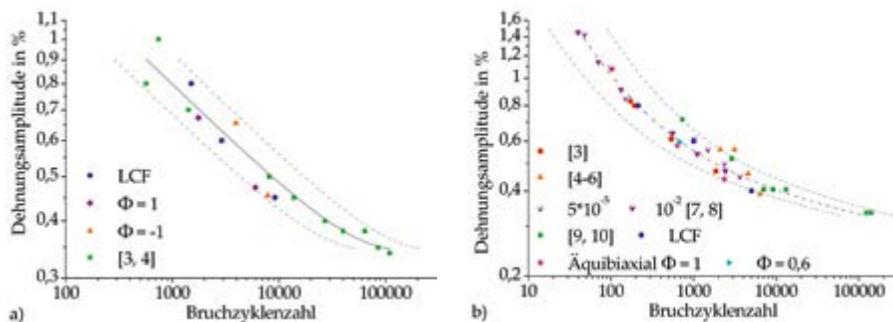


Abb. 3: Dehnungswöhlerlinien für die isothermen Ermüdungsversuche bei a) 400 °C und b) 650 °C

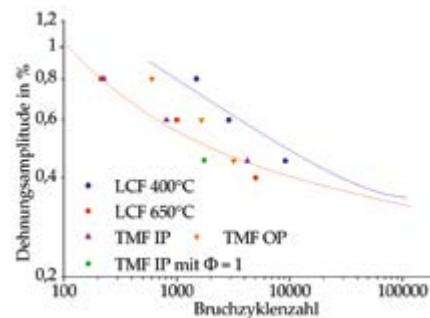


Abb. 4: Dehnungswöhlerlinie der thermo-mechanischen Ermüdungsversuche im Vergleich zu den rein isothermen Lebensdauern

Dehnrates im Temperaturbereich bis 650 °C keinen signifikanten Einfluss auf die Ermüdungslebensdauer von Waspaloy.

Erwartungsgemäß führen die isothermen Versuche bei 650 °C gegenüber denen bei 400 °C zu einer Lebensdauerverkürzung, die vor allem auf die dann stärkere Oxidation zurückzuführen ist.

Die Lebensdauern der Proben in TMF-Versuchen unter IP- bzw. OP-Belastung werden in Abb. 4 miteinander verglichen und den Daten aus den LCF-Versuchen bei 400 °C und 650 °C gegenübergestellt. Der Vergleich der Resultate aus den TMF-Beanspruchungen untereinander zeigt, dass die Lebensdauern für kleine Dehnungssamplituden übereinstimmen. Mit zunehmenden mechanischen Dehnungssamplituden sind die Lebensdauern unter IP-Belastung allerdings erheblich kürzer als die unter einer OP-Belastung.

Für den IP-Belastungsfall sind die Lebensdauern nahezu deckungsgleich mit den Messdaten aus den LCF-Versuchen bei 650 °C. Daher ist eine konservative Lebensdauerbeschreibung in Fällen der TMF-Beanspruchung möglich. Hinsichtlich des biaxial-planaren TMF-IP-Versuchs mit dem Dehnungsverhältnis von $\Phi = 1$ ordnet sich die Lebensdauer in das Streuband von 2 der einachsigen TMF-IP-Versuche ein. Daher ist davon auszugehen, dass der Versuchsstand für die thermo-mechanische

Ermüdungsprüfung geeignet und die Gestaltänderungsenergie-Hypothese nach von Mises anwendbar ist.

In mikrostrukturellen Untersuchungen an ermüdeten Proben wurde das Risswachstumsverhalten analysiert. Dabei konnte ein Rissmechanismenwechsel von einem hauptsächlich transkristallinen Risswachstum bei 400 °C zu einem interkristallinen Rissfortschritt bei 650 °C festgestellt werden (s. Abb. 5). Die Ursache für dieses Verhalten ist die stärkere Oxidation der Korngrenzen bei 650 °C, die zu einer Versprödung des Materials führt, wodurch sich dessen Lebensdauer erheblich reduziert. Die Lebensdauerreduktion unter TMF-IP-Belastung gegenüber der OP-Belastung bei hohen mechanischen Dehnungssamplituden ist auf einen ebensolchen Rissmechanismenwechsel zurückzuführen.

Eine gesamtheitliche Lebensdauerbeschreibung auf Basis sowohl der einachsigen als auch der biaxialen isothermen und thermo-mechanischen Ermüdungsversuche gelingt mit dem neuen Lebensdauermodell [1, 2] nach dem Spannungs-Dehnungs-Ansatz entsprechend Gleichung (1):

$$W = \Delta\sigma \Delta\epsilon_{pl} \frac{\sigma_{max} \epsilon_{max}}{R_m A_{Br}} e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (1)$$

Bei diesem Ansatz wird die plastische Energiedichte mit den Maximalwerten

der Spannung σ und der Dehnung ϵ , die auf die Zugfestigkeit (R_m) bzw. Bruchdehnung (A_{Br}) normiert sind, sowie mit einem Arrhenius-Term für den Rissmechanismenwechsel multipliziert. Die Aktivierungsenergie Q wurde in der Studie von Lerch [13] mit 32.660 J/mol angegeben. Die Gegenüberstellung von vorhergesagter und realer Lebensdauer in Abb. 6 zeigt eine sehr gute Lebensdauerbeschreibung durch alle durchgeführten Versuche innerhalb eines Streubandes von 2.

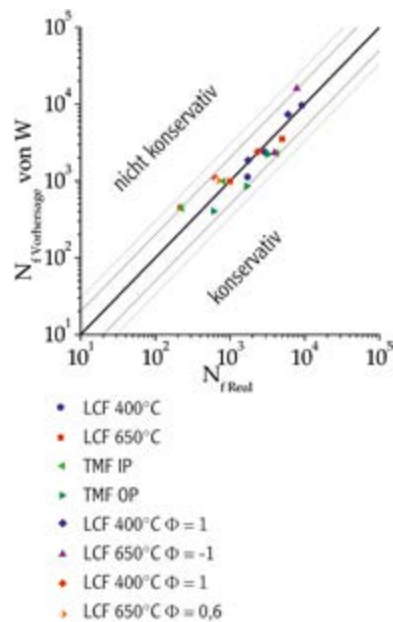


Abb. 6: Gegenüberstellung der Lebensdauer vorher-sage nach dem Lebensdauermodell mit den real gemessenen Lebensdauern

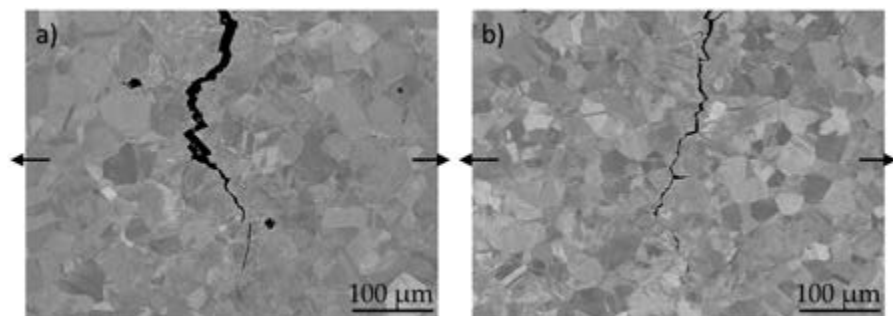


Abb. 5: REM-Aufnahme des Risspfades für isotherme Ermüdungsversuche von Waspaloy bei a) 400 °C und b) 650 °C

Zusammenfassung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sowohl die einachsigen als auch die biaxial gemessenen Lebensdauern sehr gut mit den in der Literatur publizierten Werten übereinstimmen. Deswegen ist die Gestaltänderungsenergie-Hypothese nach von Mises geeignet, für proportionale Beanspruchungen den biaxialen Spannungszustand in einen einachsigen zu übersetzen.

Darüber hinaus konnte anhand der biaxialen Lebensdauerwerte nachgewiesen werden, dass der aufgebaute Versuchsstand für das Studium der isothermen und der thermo-mechanischen Ermüdung geeignet ist. Die bei 650 °C und unter TMF-IP-Belastung verkürzten Lebensdauern können auf die stärkere Oxidation der Korngrenzen und auf den damit einhergehenden Rissmechanismenwechsel zurückgeführt werden. Das vorgeschlagene Lebensdauermodell liefert für Waspaloy eine gute Lebensdauerbeschreibung.

Literatur

- 1 D. Kulawinski, Dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2015.
- 2 D. Kulawinski et al., Int. J. Fat., 81, 2015, 21-36.
- 3 R. L. Dreshfield, TMS Superalloys, (1992), 317-326.
- 4 R. L. Dreshfield, J. Mat. Eng. Perf., 2 (1993) 4, 517-522.
- 5 M. Clavel and A. Pineau, Mat. Sci. Eng., 55 (1982) 2, 157-171.
- 6 S. Y. Zamrik et al., Technical report, Pennsylvania State University, Eng. Sci. Mech. Dep., 1986.
- 7 S. Y. Zamrik and F. Zahiri, J. Eng. Mat. Tech., 109 (1987), 203-208.
- 8 S. Y. Zamrik and R. N. Pangborn, Nuc. Eng. Des., 116 (1986) 3, 407-413.
- 9 J. Bressers et al., Technical report, Com. Eu. Com., 1981.
- 10 wie [9], 1982.
- 11 B. A. Cowles et al., Technical report, Pratt & Whitney Aircraft Group, 1978.
- 12 B. A. Cowles et al., Technical report, Pratt & Whitney Aircraft Group, 1980.
- 13 B. A. Lerch. Technical report, National Aeronautics and Space Administration, 1982.

Werkstofftechnologien für effiziente Elektroantriebe Entwicklungen am Institut für Metallformung

Rudolf Kawalla¹, Jens Grigoleit¹, Anett Stöcker¹

Elektromotoren und Generatoren spielen sowohl bei der Erzeugung als auch bei der Nutzung elektrischer Energie eine zentrale Rolle. Die Stromerzeugung basiert mit Ausnahme der Photovoltaik und der Brennstoffzellentechnik fast ausschließlich auf dem Einsatz von Generatoren. Auf der Nutzerseite sind elektrische Antriebe für mehr als die Hälfte des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich, wobei ihr Anteil am gewerblichen Stromverbrauch sogar bei mehr als zwei Dritteln liegt.

Verbesserungen der Effizienz elektrischer Maschinen haben deshalb erhebliche Bedeutung für Entwicklung des Gesamtbedarfs an Energieträgern und die Einhaltung der Erfordernisse des Klimaschutzes in unserer Gesellschaft. Eine Wirkungsgradsteigerung bei den elektrischen Antrieben von nur 1 % ermöglicht bereits eine Senkung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland um 1.500 GWh/a und vermeidet so bis zu 850.000 t/a CO₂-Ausstoß. Nachdem die Potenziale im Bereich der konstruktiven Optimierung elektrischer Maschinen bereits in den letzten Jahrzehnten weitgehend ausgeschöpft wurden, gelten Verbesserungen des Eigenschaftsprofils der eingesetzten Materialien heute als ein Entwicklungsbereich, in dem noch wesentliche Verbesserungen zu realisieren sind.

¹ Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. mult. Rudolf Kawalla
Dr. Jens Grigoleit
Dipl.-Ing. Anett Stöcker
Kontakt: TU Bergakademie Freiberg
Institut für Metallformung
Bernhard-von-Cotta-Straße 5, 09599 Freiberg
office@imf.tu-freiberg.de; 03731 39-3550
www.imf.tu-freiberg.de
www.verlustarme-elektrobleche.de

Die seit Dezember 2014 von der DFG finanzierte hochschulübergreifende Forschergruppe „Verlustarme Elektrobleche für energieeffiziente Antriebe“ befasst sich insbesondere mit der Entwicklung von verbesserten Elektroblechen, die dazu beitragen, Ummagnetisierungs- und Wirbelstromverluste innerhalb der Maschinen zu reduzieren, um so deren Gesamtwirkungsgrad zu erhöhen. Insbesondere bei hohen Drehzahlen und im Teillastbereich treten die genannten Verlustarten bisher immer noch in zu hohen Größenordnungen auf. Das gilt insbesondere für die Antriebe zur Elektromobilität sowie für weitere Anwendungen mit beabsichtigt hoher Leistungsdichte, d. h. großer Antriebsleistung bei möglichst kompakter Bauart der Elektromaschine.

Die ausgeprägte Komplexität der Aufgabenstellung ergibt sich daraus, dass die auftretenden Verluste nicht nur von den eingesetzten Werkstoffen, sondern auch von der Bauweise und den Betriebsbedingungen der elektrischen Maschine abhängen, und dass sich die Auswahl geeigneter Werkstoffe, die praktizierten Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse sowie die Auslegung der Maschine gegenseitig beeinflussen und somit simultan zu optimieren sind.

Dies erfordert nicht nur eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen der Werkstofftechnologie, der Produktionstechnik und der Elektrotechnik, sondern auch die Verknüpfung verschiedener aus der jeweiligen Fachperspektive entwickelter Theorien und Modellansätze. Unter der Federführung von Prof. Rudolf Kawalla

und des Instituts für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg sind deshalb auch drei Institute der RWTH Aachen – Institut für bildsame Formgebung (ibf), Institut für Metallkunde und Metallphysik (IMM), Institut für Elektrische Maschinen (IEM) – und ein Institut der TU München – Umformtechnik und Gießereiwesen (utg) – in die Forschergruppe eingebunden. Unterstützt wird die Gruppe durch die ThyssenKrupp Steel Europe AG, von der kostenlos Material für die Untersuchungen bereitgestellt wurde.

Entlang einer alle relevanten Wertschöpfungsstufen umfassenden experimentellen Prozesskette soll eine ganzheitliche Modellierung aller wesentlichen Werkstoff-, Prozess- und Gestaltungsfaktoren gelingen, die zukünftig den Einsatz maßgeschneiderter Elektrobleche und Antriebsmaschinen für bestimmte Anwendungen ermöglicht und so zu einer effizienzoptimalen Energienutzung beiträgt.

Hauptzielsetzung der ersten, dreijährigen Projektperiode ist es, alle relevanten Einflussfaktoren, die Glieder der Prozesskette betreffen und sich auf das Verlustverhalten der Elektrobleche auswirken, am Beispiel der Herstellung und Verarbeitung von Elektroblechen aus der Legierung FeSi2.4 ganzheitlich zu analysieren und im Zuge einer durchgängigen Prozess- und Eigenschaftsmodellierung zu beschreiben. Anhand einer parallel dazu aufzubauenden experimentellen Prozesskette kann dieses Modell validiert und weiterentwickelt werden. In einer sich anschließenden zweiten Projektperiode ist dann die Erweiterung und



Abb. 1: Struktur und Aufgabenteilung innerhalb der Forschergruppe „Verlustarme Elektrobleche“

Verallgemeinerung des Modellansatzes auf weitere Legierungen sowie zusätzliche Verarbeitungsmöglichkeiten vorgesehen. Abschließend soll die erarbeitete Methodik an einem ausgewählten E-Antrieb unter Ausnutzung der im Projekt entwickelten verbesserten Blechgüten experimentell verifiziert werden.

Mit der Umsetzung der beschriebenen Aufgabenstellung sollen die wissenschaftlich-theoretischen Grundlagen zur Erklärung des Verhaltens und der Eigenschaften von Elektroblechwerkstoffen wesentlich erweitert werden. Insbesondere sollen genauere Aussagen zur Abhängigkeit der elektromagnetischen von den mikrostrukturellen Eigenschaften des Blechmaterials - und daraus abgeleitet - zu den Parametern der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse ermöglicht werden.

Zur Finanzierung der Forschergruppe wurde seitens der DFG für den ersten Projektzeitraum ein Fördervolumen von mehr als 1,5 Mio. EUR bewilligt. Gegenwärtig

sind an den fünf beteiligten Instituten insgesamt 18 Wissenschaftler/innen an den Forschungsarbeiten beteiligt. Sie arbeiten trotz der räumlichen Distanz zwischen den drei Standorten Freiberg, Aachen und München eng miteinander zusammen: Unter anderem finden im zweiwöchentlichen Rhythmus Jour-Fixe-Webkonferenzen sowie gemeinsame Doktorandenseminare und regelmäßige Projekttreffen statt.

Forschung zu elektromagnetischen Werkstoffen

Die Erweiterung der technologischen Grenzen in Bezug auf die Herstellung und Verarbeitung von Elektroblechen mit verbesserten Eigenschaften sowie die Entwicklung entsprechender industrietauglicher Prozessketten ist seit vielen Jahren einer der Schwerpunkte der Forschung am Institut für Metallformung (IMF).

Wesentliche Ansätze für die Herstellung verlustarmer Elektrobleche sind der Einsatz von Eisen-Silizium-Legierungen

mit hohem Siliziumgehalt von bis zu max. 6,5 Gew.-% Si, die Reduzierung der Dicken der eingesetzten Bleche sowie die Einstellung günstiger Mikrostruktureigenschaften in Bezug auf Korngröße und Textur. Da die Verbesserung der elektromagnetischen Eigenschaften in der Regel mit einer Verschlechterung der Herstellbar- und der Verarbeitbarkeit verbunden ist, sind die geforderten Entwicklungen, werkstofftechnologisch gesehen, sehr anspruchsvoll.

Bei der Forschung am IMF stehen insbesondere Technologien des Warm- und Kaltwalzens schwer verarbeitbarer Elektrostähle sowie die gezielte Einstellung bestimmter elektromagnetischer und mechanischer Eigenschaftsprofile im Vordergrund. Modernste Umformsimulationssysteme, eine institutseigene Konti-Warmwalzstraße, ein Kaltwalzgerüst sowie ein Magnetmessplatz schaffen weltweit einmalige Forschungsmöglichkeiten für die Wissenschaftler/innen am IMF. Auch zukunftsweisende energie- und prozessstufenparende Verfahren, bei denen das Vormaterial unmittelbar aus der Gießhitze warmumgeformt wird, können experimentell abgebildet und erforscht werden. Die erfolgreiche Einwerbung von Forschungsdrittmitteln bei der DFG bzw. bei Industriepartnern belegt das hohe Niveau und das entsprechende Renommee der Freiburger Elektroblechforschung. Die Erweiterung des Blickwinkels auf die gesamte Prozesskette im Rahmen der DFG-Forschergruppe ist ein entscheidender Entwicklungsschritt, durch den gewährleistet wird, dass die eigenschaftsverbesserten Elektrobleche in optimaler Weise weiterverarbeitet und in elektrischen Maschinen zur Anwendung gebracht werden.

Anwendungsnahe Forschung als Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz

Ambitionierte Erwartungen an die Funktionalität und Automatisierungsauffinität industrieller Erzeugnisse sowie das in den letzten Jahrzehnten in der Bevölkerung gewachsene Umwelt- und Nachhaltigkeitsbewusstsein generieren veränderte Anforderungen an die Auslegung und Leistungsfähigkeit elektrischer Antriebe. So ist bspw. der Einsatz elektrischer oder hybrid angetriebener Fahrzeuge ein wesentlicher Ansatz dafür, mobilitätsinduzierte Emissionen von Treibhausgasen und Feinstaub zu reduzieren und die Abhängigkeit von Treibstoffen fossiler Provenienz zu vermindern. Elektrische Antriebe

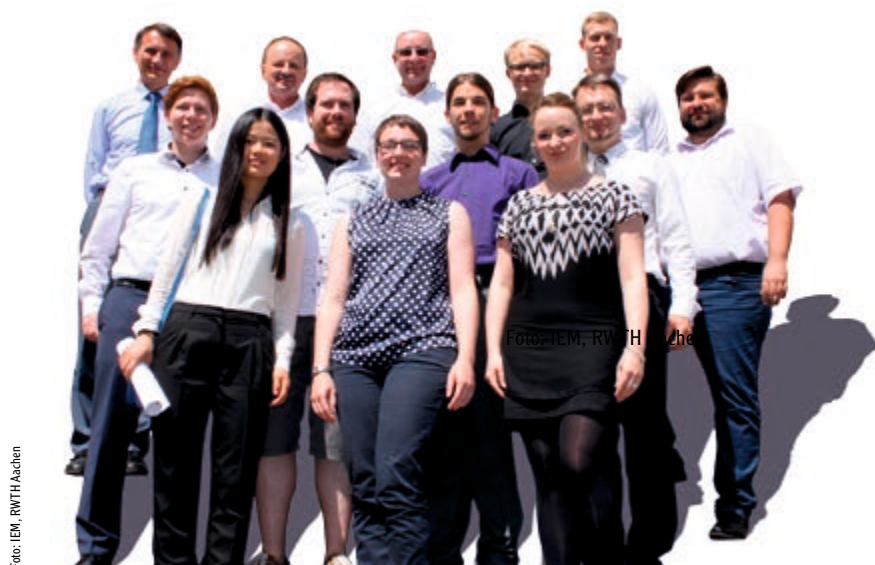


Abb. 2: Mitglieder der Forschergruppe bei einem Projekttreffen im Juli 2015

Foto: IEM, RWTH Aachen

sollten möglichst kompakt und effizient gestaltet sein, um - bei Fahrzeugen - hohe Reichweiten zu ermöglichen. Andererseits erhöhen auch neue gesetzliche Vorgaben, wie die EU-Ökodesign-Richtlinie, mit der sich die Anforderungen an die Energieeffizienz elektrischer Antriebe in den nächsten Jahren erheblich verschärfen, den Druck in die Richtung, bei der Entwicklung elektrischer Antriebe neue Wege zu gehen. Die Forschergruppe „Verlustarme Elektrobleche“ ist entschlossen, in diesem Zusammenhang einen wertvollen Beitrag zu leisten, der sich gut in das Gesamtkonzept der TU Bergakademie Freiberg als Ressourcenuniversität einordnet.

Abb. 3: Warmwalzversuch an der Konti-Warmwalzstraße des Instituts für Metallformung



Foto: Stephan Reicheit, IMF

Homogenisierung im Höchstleistungsrechner

Oliver Rheinbach¹

Während heutige PCs oder Mobiltelefone meist zwei bis sechzehn Prozessorkerne (Cores) haben, werden für zukünftige Höchstleistungsrechner an der Spitze der Welt mehrere hundert Millionen bis Milliarden Prozessorkerne erwartet. Heutige und zukünftige Superrechner sind damit vor allem hochparallele Rechner, deren Leistung auf der großen Anzahl von Recheneinheiten beruht. Rangieren heutige Höchstleistungsrechner im Bereich von Petaflops (10^{15} Gleitkommaoperationen pro Sekunde), sollen zukünftige Rechner dann die tausendfache Rechenleistung bieten. Zu beachten ist, dass Supercomputer nicht nur über hohe Rechenleistung dank vieler Prozessoren verfügen, sondern zudem ebenfalls ausgefeilte schnelle Netzwerke aufweisen, um zwischen den Prozessoren schnell Daten austauschen zu können. Ohne diese schnellen und teuren Kommunikationsverbindungen wären Supercomputer für viele Problemklassen nutzlos. Dies gilt etwa für Lösungsverfahren, die einen gewissen globalen Kommunikationsaustausch zwischen allen Prozessoren voraussetzen, wie es für zahlreiche Anwendungen der Fall ist, die durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden. Darunter fallen auch implizite, elliptische Probleme aus der Kontinuumsmechanik, die das Thema dieses Artikels sind.

¹ Prof. Dr. Oliver Rheinbach, Institut für Numerische Mathematik und Optimierung

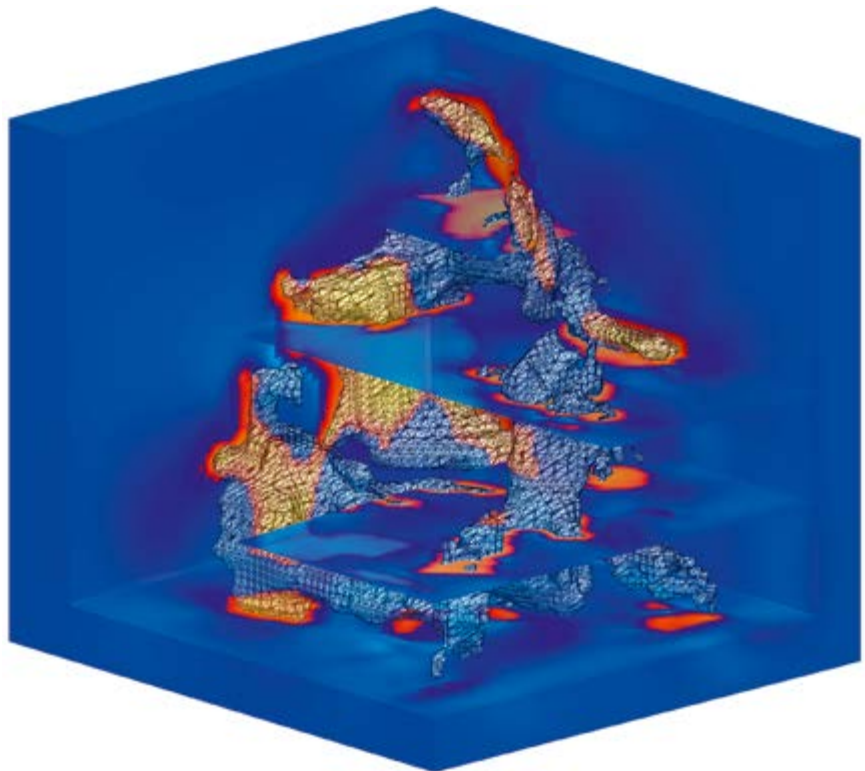


Abb. 1: Spannungsverteilung in einem repräsentativen Volumenelement (RVE) eines Mehrphasenstahls mit Mikrostruktur

Weltweit wird der Aufbau von Infrastruktur im Bereich der Höchstleistungsrechner von immer mehr Ländern als strategische Aufgabe angesehen, je mehr sich die Simulation als zusätzliche Säule zur Erkenntnisgewinnung - neben Theorie und Experiment - durchsetzt. Höchstleistungsrechner der Zukunft mit

aus heutiger Sicht extremen Leistungsdaten werden allerdings nicht vornehmlich gebaut werden um aktuelle Aufgaben schneller zu lösen, sondern sie sollen auch neue Entdeckungen ermöglichen, die sonst außer Reichweite lägen. Supercomputer ergänzen oder ersetzen hier also das Labor zu (hoffentlich) geringeren

Kosten. Da Superrechner heute im Wesentlichen aus Standardkomponenten bestehen (meist aus einer großen Anzahl von x86- oder PowerPC-Chips, teilweise ergänzt durch Beschleuniger), sind sie in Relation zu anderen Gerätschaften an Großforschungseinrichtungen vergleichsweise kostengünstig. Ein Platz unter den zehn schnellsten Rechnern der Welt kostet seit Jahren unverändert ca. 100 Millionen Euro (allerdings ohne Betriebskosten). Viele Länder sehen sich in der Lage, eine solche Summe in nationalen Initiativen für das Höchstleistungsrechnen bereitzustellen. Saudi-Arabien hat umgerechnet 70 Millionen Euro für die Anschaffung von Shaheen II an der König-Abdullah-Universität (KAUST) investiert und steigt damit auf Platz 7 der aktuellen Top-500-Liste (06/2015) in die Phalanx der Betreiber von Höchstleistungsrechnern ein.

Südkorea nennt für sein Supercomputing-Programm eine Summe von 200 Millionen US-Dollar. Noch wird jedoch geheim gehalten, wie die Summe investiert werden soll.² Wie China bereits angekündigt hat, möchte auch Südkorea längerfristig Supercomputer aus eigenen Komponenten bauen anstatt diese von US-Herstellern zu beziehen.

Die obersten zehn Plätze der Top-500-Liste (www.top500.org) werden traditionell von Rechnern an US-amerikanischen Großforschungseinrichtungen dominiert. China hat durch eine strategische Investition von ca. 100 Millionen Euro in Tianhe-2 ein Ausrufezeichen gesetzt und verfügt aktuell immer noch über den schnellsten Rechner der Welt (allerdings mit einer Beschleunigerarchitektur). In Deutschland stellt das Gauss Centre for Supercomputing e. V. (GCS) seit 2007 Rechnerinfrastruktur zur Verfügung, die regelmäßig die Spitze in Europa markiert. Das GCS ist ein Zusammenschluss des Jülich Supercomputing Centre (JSC) in Jülich, mit dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) in München und dem Höchstleistungsrechenzentrum (HLRS) Stuttgart. Deutschland ist zur Zeit mit dem JUQUEEN-Supercomputer in Jülich auf Platz 9 der genannten Liste vertreten und hat durch den Einstieg von Shaheen II gegenüber der letzten Liste einen Platz eingebüßt.

Die ersten zehn Plätze der aktuellen Top 500 (06/2015) sind (Name, Hersteller/Architektur, Anzahl Prozessorkerne,

Rechenleistung, Energieverbrauch, Insitution):

- **Platz 1:** Tianhe-2, NUDT/Intel Xeon (12 Cores) 2,2 Ghz + Xeon Phi (57 Cores) 1,1 Ghz, 3.120.000 Prozessorkerne, 33,9 Petaflops (Rmax), 17,8 MW, Universität für Verteidigungstechnologie in Guangzhou, China
- **Platz 2:** Titan, Cray/AMD Opteron (16 Cores) 2,2 Ghz, 560.640 Prozessorkerne, 17,6 Petaflops (Rmax), 8,2 MW, Oak Ridge National Laboratory, USA
- **Platz 3:** Sequoia, IBM/BlueGene/Q PowerBQC (16 Cores) 1,6 Ghz, 1.572.864 Prozessorkerne, 17,2 Petaflops (Rmax), 7,9 MW, Lawrence Livermore National Laboratory, USA
- **Platz 4:** K Computer, Fujitsu/Sparc64 (8 Cores) 2,0 Ghz, 705.024 Prozessorkerne, 11,3 Petaflops (Rmax), 12,7 MW, Riken, Japan
- **Platz 5:** Mira, IBM/BlueGene/Q, PowerBQC (16 Cores) 1,6 Ghz, 786.432 Prozessorkerne, 8,6 Petaflops (Rmax), 3,9 MW, Argonne National Laboratory, USA
- **Platz 6:** Piz Daint, Cray/Intel Xeon (8 Cores) 2,6 Ghz, 115.984 Prozessorkerne, 6,3 Petaflops (Rmax), 2,3 MW, Centro Svizzero di Calcolo Scientifico, Schweiz
- **Platz 7:** Shaheen II, Cray/Intel Xeon (16 Cores) 2,3 Ghz, 196.608 Prozessorkerne, 5,5 Petaflops (Rmax), KAUST, 2,8 MW, Saudi Arabien
- **Platz 8:** Stampede, Dell/Intel Xeon (8 Cores) 2,7 Ghz, 462.462 Prozessorkerne, 5,2 Petaflops (Rmax), 4,5 MW, Texas Advanced Computing Center, USA
- **Platz 9:** JUQUEEN, IBM/BlueGene/Q (16 Cores) 1,6 Ghz, 458.752 Prozessorkerne, 5,0 Petaflops (Rmax), 2,3 MW, Forschungszentrum Jülich, Deutschland
- **Platz 10:** Vulcan, IBM/BlueGene/Q (16 Cores) 1,6 Ghz, 393.216 Prozessorkerne, 4,3 Petaflops (Rmax), 1,9 MW, Lawrence Livermore National Laboratory, USA

Die effektive und effiziente Nutzung von Superrechnern („Skalierbarkeit“) erfordert allerdings Know-how aus den rechnergestützten Wissenschaften (Computational Sciences). Die Herausforderungen steigen dabei mit der Anzahl der Prozessorkerne. Parallel skalierbar werden dabei Verfahren genannt, die auch eine große Anzahl von Prozessorkernen effizient nutzen können. Für einige Klassen von Problemen wird die Übertragung auf die zukünftigen (aus heutiger Sicht gigantischen) Rechnerressourcen im Sinne der Skalierbarkeit bis zur gesamten Maschine voraussichtlich wenig Schwierigkeiten bereiten. Für andere wichtige Klassen von

Problemen, die heute routinemäßig auf Parallelrechnern unter Verwendung von tausenden von Prozessorkernen gelöst werden, ist die Verallgemeinerung auf Milliarden von Prozessorkernen eine erhebliche Herausforderung. Weltweit wird daher an neuen Programmiermodellen, Standards, Software und neuen Algorithmen für das extreme Hochleistungsrechnen der Zukunft gearbeitet. Manche Ansätze sind dabei evolutionär, d. h. sie versuchen, bestehende Technologien schrittweise weiterzuentwickeln, andere Ansätze sind revolutionär, versuchen also einen radikalen Neuanfang. Es ist möglich, dass heutzutage weitverbreitete Verfahren verändert werden müssen, oder schließlich durch neue Algorithmen ersetzt werden.

In Deutschland wird im DFG-Schwerpunktprogramm 1648 „Software for Exascale Computing“ (SPPEXA) bereits heute Know-how in Form von Software und Algorithmen für die Höchstleistungsrechner von übermorgen entwickelt. Dabei werden sowohl evolutionäre als auch revolutionäre Ansätze verfolgt. Die deutsche Forschungslandschaft setzt dabei gezielt auf den Ausbau der traditionell besonderen Stärken im Bereich Algorithmen und Algorithmenentwicklung sowie in den rechnergestützten Wissenschaften. Ein besonderes Ziel ist dabei die Synergiebildung zwischen Angewandter Mathematik, Informatik und den Computational Sciences bzw. dem Computational Science and Engineering (CSE).

Das Projekt EXASTEEL im SPPEXA ist ein gemeinsames Projekt des Lehrstuhls für Mechanik der TU Dresden (Prof. D. Balzani), des Lehrstuhls für Numerische Mathematik und Numerische Simulation der Universität zu Köln (Prof. A. Klawonn), des Instituts für Mechanik der Universität Duisburg-Essen (Prof. J. Schröder) und des Lehrstuhls für Hochleistungsrechnen in der Kontinuumsmechanik (Prof. O. Rheinbach) der TU Bergakademie Freiberg.

EXASTEEL behandelt die Kombination des im Ingenieurwesen etablierten FE-Homogenisierungsverfahrens [9,8,7] für mikroheterogene Materialien mit effizienten parallelen, nichtlinearen FETI-DP-Lösungsverfahren (*Finite Element Tearing and Interconnecting*) für heterogene Probleme [3,5; siehe 6,10,1,2 für die klassischen, linearen Varianten].

Die Referenzanwendung von EXASTEEL ist die Simulation moderner Mehrphasenstähle mit Mikrostruktur (s. Abb. 1). Die bereits entwickelten und

2 Jysoo Lee: Computational Science Activities in Korea, Vortrag auf der 23. Internationalen Tagung zu Gebietszerlegungsverfahren, <http://dd23.kaist.ac.kr>

noch zu entwickelnden Verfahren und die zugehörige Software haben jedoch einen wesentlich breiteren Anwendungsbereich. Die Mikrostruktur von Stahl, die für die besonderen makroskopischen Eigenschaften dieses klassischen und immer noch modernen Materials verantwortlich ist, ist um den Faktor 10^4 bis 10^6 mal kleiner als das makroskopische Bauteil. Die vollständige Auflösung eines makroskopischen Stahlbauteils bis hinunter zur Mikrostruktur ist dabei weder möglich noch erwünscht.

In FE^2 -Simulationen wird die Mikrostruktur durch Verwendung eines repräsentativen Volumenelementes (RVE) berücksichtigt, das die Mikrostruktur voll auflöst. Dieses muss so gewählt werden, dass es stellvertretend für die gesamte Mikrostruktur stehen kann. Im FE^2 -Homogenisierungsverfahren wird dann in jedem Gauß-Integrationspunkt des makroskopischen Finite-Elemente-Problems ein Finite-Elemente-Problem auf der Mikroskala eines RVE gelöst. Der Transfer von Größen von der Makroskala zur Mikroskala und zurück ersetzt dabei ein makroskopisches Materialmodell. Die Anzahl der RVE entspricht also der Anzahl der makroskopischen Gaußpunkte.

Es ist klar, dass die Verfahren und Implementierungen aus EXASTEEL sich bereits heute auf den größten existierenden Superrechnern bewähren müssen. Die hier präsentierten parallelen Ergebnisse wurden gemeinsam mit A. Klawonn und M. Lanser (Universität zu Köln) erzielt. Skalierbarkeit von Implementierungen paralleler Verfahren wird in der Praxis oft durch die parallele Effizienz gemessen. Kann ein gegebenes Problem in einer bestimmten Zeit gelöst werden, so sollte ein doppelt so großes Problem ebenfalls in dieser Zeit gelöst werden können, wenn doppelt so viele Prozessorkerne zur verwendet werden. Dies würde einer parallelen Effizienz von 100 % entsprechen.

Die Kombination des FE^2 -Homogenisierungsverfahrens mit effizienten nichtlinearen FETI-DP-Lösern wird nun mit FE^2TI (*Finite Element² Tearing and Interconnecting*) abgekürzt. Die Skalierbarkeit des FE^2TI -Homogenisierungsverfahrens auf dem gesamten JUQUEEN-Supercomputer mit 458.752 Prozessorkernen konnte bereits Anfang 2015 gezeigt werden [4]. Dabei wurden bis zu 1,8 Millionen Ausführungsstränge (*Threads*) verwendet. Die FE^2TI -Implementierung wurde daraufhin in den HiQ-Club des Jülich

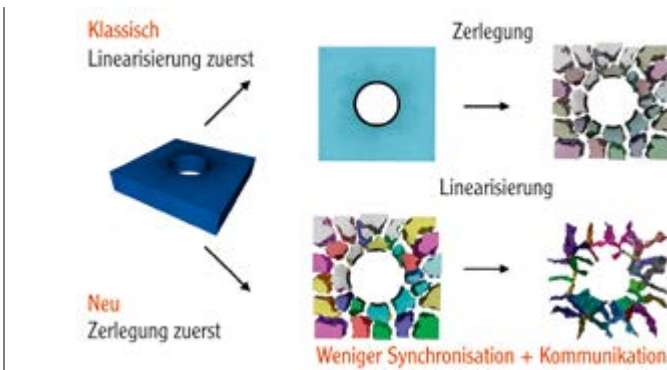


Abb. 2: Im neuen Paradigma wird das nichtlineare Problem direkt und nicht erst nach der Newton-Linearisierung in parallele Teilprobleme zerlegt.

Tabelle 1: FE^2TI -Homogenisierung auf dem Mira-Supercomputer am Argonne National Laboratory, USA.

Die angegebene Laufzeit entspricht einem Lastschritt mit insgesamt $3 \cdot 4 = 12$ Newtonschritten.

Mira ist aktuell der fünftschnellste Rechner der Welt gemäß Top-500-Liste.

FE ² TI-Homogenisierung in 3D auf dem Mira-BlueGene/Q-Supercomputer					
Prozessorkerne	MPI-Prozesse	Anzahl RVEs	Anzahl Unbekannte	Zeit in s	Parallele Effizienz
8.192	16.384	16	$2,0 \times 10^8$	914	100 %
16.384	32.768	32	$4,0 \times 10^8$	933	98 %
32.768	65.536	64	$8,0 \times 10^8$	932	98 %
65.536	131.072	128	$1,6 \times 10^9$	929	98 %
131.072	262.144	256	$3,2 \times 10^9$	935	98 %
262.144	524.288	512	$6,4 \times 10^9$	938	97 %
393.216	786.432	768	$9,6 \times 10^9$	941	97 %
524.288	1.048.576	1.024	$1,3 \times 10^{10}$	949	96 %
786.432	1.572.864	1.536	$1,9 \times 10^{10}$	944	97 %

Tabelle 2: Anzahl der GMRES-Iterationen und Rechenzeit für einen Newtonschritt in einem hybriden FETI-DP/BoomerAMG-Verfahren für heterogene Hyperelastizität in 2D (zweiter Newtonschritt der Phase 2 im irNL2-Verfahren aus [5]) auf dem Mira-Supercomputer am Argonne National Laboratory, USA. Die GMRES-Iteration wird gestoppt, wenn die Norm des Residuums um den Faktor 10^{10} reduziert worden ist.

Nichtlineares FETI-DP auf dem Mira-BlueGene/Q-Supercomputer (ANL)				
Prozessorkerne	Anzahl Unbekannte	GMRES pro Newton	Zeit pro Newton in s	Parallele Effizienz
64	$5,1 \times 10^6$	38	74,7	100 %
256	$2,1 \times 10^7$	45	79,5	94 %
1.024	$8,4 \times 10^7$	46	82,0	91 %
4.096	$3,3 \times 10^8$	38	82,8	90 %
16.384	$1,3 \times 10^9$	38	83,8	89 %
65.536	$5,3 \times 10^9$	37	86,4	86 %
262.144	$2,1 \times 10^{10}$	36	84,8	88 %
786.432	$6,3 \times 10^{10}$	36	99,4	75 %

Supercomputing Centre (JSC) aufgenommen.³ [Für weitere Details, auch zur verwendeten Software, s. 4,5].

Darüber hinausgehende Skalierbarkeit für die FE^2TI -Implementierung wurde anschließend auf dem vollständigen Mira-Supercomputer mit 786.432 Prozessorkernen unter Verwendung von 1,8 Millionen MPI-Prozessen erreicht. Die Ergebnisse

sind in *Tabelle 1* sowie *Abb. 3* dargestellt. Sie zeigen eine parallele Effizienz von 97 % bei der Skalierung von 8.192 Prozessorkernen bis hin zur vollen Mira-Maschine mit 786.432 Prozessorkernen. Hier wird die Laufzeit für einen Lastschritt angegeben, dieser umfasst drei makroskopische Newtonschritte. In jedem dieser drei Schritte sind vier Newtonschritte auf den RVE notwendig. Der letzte solche Newtonschritt auf den RVE muss dann für neun rechte Seiten gelöst werden [8,9].

³ http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Expertise/High-Q-Club/FE2TI/_node.html

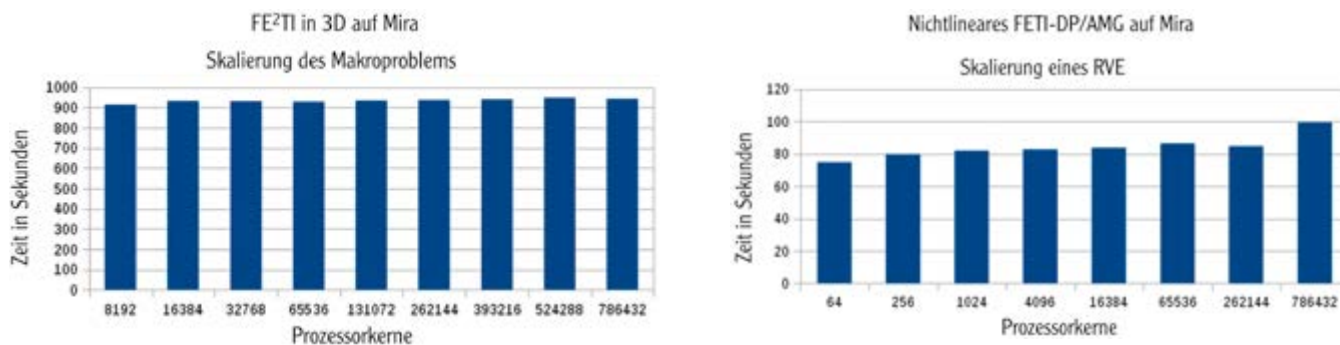


Abb. 3: Skalierbarkeit bis zum gesamten Mira-Supercomputer mit 786.432 Prozessorkernen. Daten aus Tabellen 1 und 2.

Auch auf den größten aktuellen Rechnern mit ca. 10^6 Prozessorkernen bleiben bei Verwendung von tausend RVE zur Lösung der nichtlinearen Probleme auf den RVE z. Z. nur wenige tausend Prozessorkerne pro RVE. Die nichtlinearen Lösungsverfahren für die RVE-Probleme, die in EXASTEEL ebenfalls entwickelt werden, skalieren jedoch bereits heute nicht nur bis zu wenigen tausenden Prozessorkernen, sondern bis zu den vollen aktuellen Supercomputern mit 10^6 Prozessorkernen (s. Tabelle 2, Abb. 3 und [5]). Es könnten also bereits heute in einer FE²-Simulation bis zu 10^6 Prozessorkerne pro RVE eingesetzt werden, wenn diese zur Verfügung ständen.

Diese nichtlinearen Lösungsverfahren erreichen die Skalierbarkeit auch durch ein neues Paradigma, nämlich die direkte Zerlegung des nichtlinearen Problems in parallele, nichtlineare Teilprobleme [5]. Klassischerweise (Newton-Krylov-Ansätze) erfolgt die Zerlegung in parallele Teilprobleme erst nach der Linearisierung. Dies ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Der neue Ansatz verringert die Anzahl der Synchronisationspunkte im parallelen Iterationsverfahren und reduziert die Kommunikation. Die Kombination von FE²-Verfahren mit den nichtlinearen FETI-DP/AMG-Verfahren [5] soll dann in

Zukunft Skalierbarkeit bis hin zu den vollen zukünftigen Superrechnern mit 10^9 Prozessorkernen ermöglichen.

The authors gratefully acknowledge the Gauss Centre for Supercomputing (GCS) for providing computing time through the John von Neumann Institute for Computing (NIC) on the GCS share of the supercomputer JUQUEEN at Jülich Supercomputing Centre (JSC). This research also gratefully acknowledges the use of Mira, of the Argonne Leadership Computing Facility, which is a DOE Office of Science User Facility supported under Contract DE-AC02-06CH11357. The author gratefully acknowledges support by the German Research Foundation (DFG) through the Priority Programme 1648 "Software for Exascale Computing" (SPPEXA) under RH 122/2-1.

Literatur

- 1 Ch. Farhat, M. Lesoinne, K. Pierson. A scalable dual-primal domain decomposition method. Numer. Lin. Alg. Appl., 7:687-714, 2000.
- 2 Charbel Farhat, Michel Lesoinne, Patrick LeTallec, Kendall Pierson, Daniel Rixen. FETI-DP: A dual-primal unified FETI method - part I: A faster alternative to the two-level FETI method. Internat. J. Numer. Methods Engrg., 50:1523-1544, 2001.
- 3 Axel Klawonn, Martin Lanser, Oliver Rheinbach. A nonlinear FETI-DP method with an inexact coarse problem. 2014. Accepted to the proceedings of the 22nd International Conference on Domain Decomposition Methods, Sept. 16-20, 2013, Università della Svizzera italiana, Lugano, Switzerland. Preprint: <http://www.mathe.tu-freiberg.de/files/personal/253/rheinbach-plenarytalk-dd22.pdf>.

- 4 Axel Klawonn, Martin Lanser, Oliver Rheinbach. Exasteel - computational scale bridging using a fe²ti approach with ex_ni/fe². Technical Report FZJ-JSC-IB-2015-01, Jülich Supercomputing Center, Germany, 2015. In: JUQUEEN Extreme Scaling Workshop 2015. Dirk Brömmel and Wolfgang Frings, and Brian J. N. Wylie (eds.).
- 5 Axel Klawonn, Martin Lanser, Oliver Rheinbach. Towards extremely scalable nonlinear domain decomposition methods for elliptic partial differential equations. 2015. Submitted to SIAM J. Sci. Comput., Preprint No. 2014-13 of the Fakultät für Mathematik und Informatik, Technische Universität Bergakademie Freiberg; <http://tu-freiberg.de/fakult1/forschung/preprints>.
- 6 Axel Klawonn, Oliver Rheinbach. Highly scalable parallel domain decomposition methods with an application to biomechanics. ZAMM Z. Angew. Math. Mech., 90(1):5-32, 2010.
- 7 V. Kouznetsova, W.A.M. Brekelmans, and F.P.T. Baaijens. An approach to micro-macro modeling of heterogeneous materials. Computational Mechanics, 27:37-48, 2001.
- 8 C. Miehe, J. Schröder, J. Schotte. Computational homogenization analysis in finite plasticity. simulation of texture development in polycrystalline materials. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 171:387-418, 1999.
- 9 R. J. M. Smit, W. A. M. Brekelmans, H. E. H. Meijer. Prediction of the mechanical behavior of nonlinear heterogeneous systems by multi-level finite element modeling. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 155:181-192, 1998.
- 10 Andrea Toselli, Olof Widlund. Domain Decomposition Methods - Algorithms and Theory, volume 34 of Springer Series in Computational Mathematics. Springer, 2004.

Molekulare Elektronik: Elektronik für das Post-Silicium-Zeitalter?

Torsten Hahn¹ und Jens Kortus¹

Das Zusammenleben in der heutigen Gesellschaft ist geprägt von elektronischen Geräten, die uns den ständigen Austausch von oder den Zugriff auf Informationen ermöglichen. Elektronische Helfer in der Medizin, in der Industrie, im Verkehr oder im Haushalt sind inzwischen un-

verzichtbar. Ein wesentlicher Grund für den Siegeszug der Elektronik resultiert aus der Möglichkeit, die elektronischen Bauelemente stetig zu verkleinern und so immer mehr davon auf kleinstem Raum zu integrieren. Am 19. April 1965 veröffentlichte Gordon E. Moore in der Zeitschrift

„Electronics“ die nach ihm benannte Regel, dass die Anzahl der Transistoren, integriert auf einem Chip, ein exponentielles Wachstum zeigt. Populär geworden ist die Variante von „Moore's Law“, nach der sich die Performance von Chips alle 18 Monate verdoppelt. Allerdings zeigten die jüngsten Strukturverkleinerungen, wie der Übergang von 22 auf 14 Nanometer, dass Intel inzwischen langsamer vorangekommen ist.

¹ Institut für Theoretische Physik, TU Bergakademie Freiberg. Kontakt: torsten.hahn@physik.tu-freiberg.de

Die letzten beiden Übergänge deuten darauf hin, dass Strukturverkleinerungen immer schwieriger zu erreichen sind und jetzt nur eher alle 2,5 Jahre stattfinden. Eine weitere Verkleinerung wird in den kommenden Jahren angestrebt, und erste Test-Chips mit 7-Nanometer-Transistoren wurden durch IBM zusammen mit dem Halbleiter-Forschungszentrum der Universität Albany vorgestellt.

Allerdings wird eine weitergehende Miniaturisierung immer schwieriger. Einerseits steigen die diesbezüglichen Kosten sehr schnell, andererseits fallen die dabei auftretenden physikalischen Grenzen weitaus stärker ins Gewicht. Im Sub-Nanometer-Bereich spielen quantenmechanische Effekte eine immer größere Rolle. Ein Beispiel dafür ist der Tunneleffekt, der es Elektronen ermöglicht, sich durch einen Isolator zu bewegen. Als Folge entstehen starke Leckströme, und die Realisierung von Kondensatoren wird schwierig.

Die Idee der molekularen Elektronik besteht darin, quantenmechanische Effekte zu nutzen und mittels einzelner Moleküle die gewünschte elektronische Funktionalität zu erreichen. Die Entwicklung dieses Gebiets steht noch ziemlich am Anfang, auch wenn schon einige erfolgreiche Anwendungen – wie OLED-Displays und organische Solarzellen – existieren. Ein großer Vorteil organischer Elektronik ist die oft relativ preiswerte Herstellung, da sich, auf das Phänomen der Selbstorganisation bauend, gezielt Schichten herstellen lassen und vielfältige Möglichkeiten zur Einstellung ihrer Funktionalität durch chemische Veränderung der Moleküle existieren. Die Integration von komplexen Funktionseinheiten, wie in einem Halbleiter-Mikroprozessor erforderlich, ist allerdings schwierig, da für die derzeitigen Anwendungen im Allgemeinen Schichten von Molekülen oder sogar Volumenmaterial genutzt werden.

Das Institut für Theoretische Physik an der TU Bergakademie Freiberg beschäftigt sich mit der Frage, ob einzelne Moleküle als Schalter, Dioden oder Transistoren genutzt werden können. Dabei sind viele grundlegende Fragen neu zu durchdenken und zu beantworten, da hierbei statt der klassischen Physik die Quantenmechanik die entscheidende Rolle spielt. Was versteht man unter dem elektrischen Widerstand eines Moleküls? Die klassische Vorstellung des elektrischen Widerstands ist verbunden mit der von Streuprozessen der Ladungsträger, beispielsweise an

Gitterschwingungen. Im Gegensatz dazu entspricht der Transport von Ladungen durch ein Molekül aus quantenmechanischer Sicht einem Tunnelprozess durch die molekularen Energieniveaus hindurch. Das Molekül selbst besitzt dabei keinen elektrischen Widerstand; dieser resultiert allein aus der Anbindung des Moleküls an die Kontakte. Das verdeutlicht auch, dass nicht nur die Moleküle selbst, sondern auch die Eigenschaften der metallischen Kontakte und deren Wechselwirkung mit den Molekülen wesentlich für eine korrekte Beschreibung der elektrischen Eigenschaften sind.

Die Dichtefunktionaltheorie liefert eine Näherungslösung dieses quantenmechanischen Problems. Mit der uns an der TU Bergakademie Freiberg und am ZIH Dresden zur Verfügung stehenden Rechentechnik sind wir in der Lage, die räumliche Anordnung und die elektronische Struktur von Systemen mit bis zu einigen hundert Atomen mit hoher Genauigkeit vorherzusagen. Allerdings ist der Rechenaufwand dafür sehr groß und erfordert moderne Hochleistungsrechner mit tausenden von Rechenkernen.

Im Folgenden diskutieren wir das Wirkprinzip einer molekularen Diode, die mit einem zusätzlichen Gate auch Transistoreigenschaften besitzt. Basierend auf unseren theoretischen Modellen finden wir im Vergleich mit aus der Literatur bekannten molekularen Systemen ein deutlich besseres Schaltverhalten unserer molekularen Diode. Insbesondere sollte die Schaltgeschwindigkeit deutlich höher sein im Vergleich zu allen bekannten molekularen Schaltern, die auf einer Geometrieänderung des Moleküls beruhen. In unserem Fall basiert das Schaltverhalten auf einem Ladungstransferprozess, der zu einem molekularen p/n-Übergang führt.

Eine der ersten theoretischen Beschreibungen einer molekularen Diode wurde durch Ratner und Mitarbeiter bereits 1974 gegeben [1]. Dabei zeigte sich in vielen nachfolgenden Arbeiten, dass es einige prinzipielle Probleme bei der Ersetzung von klassischen Halbleiterdioden durch molekulare Schalter gibt [2-4]. Eine besondere Herausforderung ist, dass auch bei der Verwendung von stark asymmetrischen Molekülen stets relativ symmetrische Strom-Spannungsverläufe auftreten. Bisherige Versuche, molekulare Dioden oder Transistoren herzustellen, führten stets zu relativ schlechten Gleichrichtungs- und Schaltverhältnissen.

Bereits Ratner [1] schlug vor, zum

Ladungstransfer Moleküle zu nutzen, deren Untereinheiten unterschiedliche Ladungen tragen. Des Weiteren zeigte seine theoretische Arbeit aber auch, dass eine starke Kopplung zwischen den Teilmolekülen den gewünschten Diodeneffekt komplett unterdrücken kann. In einer aktuellen Arbeit hat Tsuji [5] diese Idee aufgegriffen und ein Gleichrichtungsverhältnis R – definiert durch das Verhältnis des Stroms in Durchlass- und Sperrrichtung bei gleichem Betrag der Spannung – von 2...3 erzielt.

In der vorliegenden Arbeit stellen wir die Ergebnisse aus theoretischen Rechnungen für das Ladungstransfersalz Picene/ F_4 TCNQ vor. Diese Verbindung wurde 2014 erstmals synthetisiert. Bei der Untersuchung ihrer Eigenschaften wurden solche Energieniveaus im Material gefunden, die auf den Ladungstransfer zurückgeführt werden konnten [6]. Die untersuchten Materialien wurden aus den Molekülen Picene und fluoriniertes TCNQ als molekulare Kristalle oder Dünnschichten im Molverhältnis 1:1 über Verdampfung synthetisiert. Charakteristischer Hauptbestandteil der Kristalle ist eine gestapelte Struktur von Picene und F_4 TCNQ mit ebener Ausrichtung der Moleküle zueinander. Dabei überträgt das Picene-Molekül eine Ladung von ungefähr 0,15 Elementarladungen auf das F_4 TCNQ-Molekül. Diese Anordnung bezeichnen wir im weiteren Text als Dimerstruktur. Die jeweiligen molekularen Strukturen sind in *Abb. 1* dargestellt:

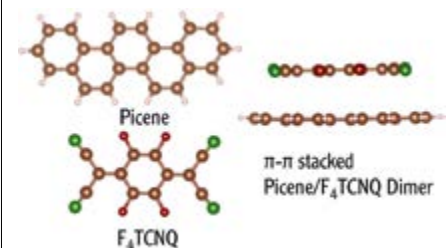


Abb. 1: links Molekülstruktur von Picene und fluoriniertes TCNQ, rechts Stapelung der Moleküle übereinander

Die Schichtstruktur von Picene/ F_4 TCNQ mit der schwachen π - π -Kopplung zwischen den Molekülen entspricht recht gut den von Ratner vorgeschlagenen Bedingungen für die Realisierung einer molekularen Diode.

Unsere Dichtefunktionalrechnungen zeigen, dass die elektronische Struktur von Picene/ F_4 TCNQ von Hybridorbitalen bestimmt wird, die zwischen den Energieniveaus des π -konjugierten Donors Picene

und des F_4TCNQ -Akzeptors liegen. Das höchste besetzte Molekülorbital sowie das darunter befindliche Orbital von Picene/ F_4TCNQ werden durch die Zustände einzelner Picene- und F_4TCNQ -Moleküle definiert. Durch diese Hybridisierung wird der Ladungstransfer von ca. 0,15 Elementarladungen von Picene zu F_4TCNQ ermöglicht [6].

Die Berechnung von Strom-Spannungsverläufen erfordert die Kopplung unseres molekularen Systems mit metallischen Kontakten. Durch das Anlegen einer Spannung an diese Kontakte verschieben sich die chemischen Potentiale der Kontakte, und Elektronen können vom Kontakt mit dem höheren Potenzial durch das Molekül hindurch in den Kontakt mit dem kleineren Potenzial tunneln. Infolge der Spannungsdifferenz entsteht also ein Nichtgleichgewicht zwischen den Kontakten, der zum Stromfluss durch das Molekül führt.

Die Transporteigenschaften wurden, basierend auf den Ergebnissen der berechneten elektronischen Struktur, über den Ansatz der Greenschen-Nichtgleichgewichts-Funktion (NEGF) ermittelt. Dazu wurde unser Picene/ F_4TCNQ -Dimer zwischen zwei (111)-orientierte Goldflächen, die in unserem Modell als Kontakte dienen, gelegt. Die hierzu berechneten Strom-Spannungsverläufe – ohne angelegte äußere Spannung (schwarze Linie) – sind in *Abb. 2* dargestellt. Die Strom-Spannungskurve (schwarze Linie) zeigt das typische Verhalten eines molekularen Schalters. Aufgrund der schwachen Bindung des Picene/ F_4TCNQ -Dimers zu den (111)-Goldflächen spiegeln sich die energetischen Lagen der molekularen Orbitale in den Transporteigenschaften wider.

Vereinfacht lässt sich dieses Phänomen wie folgt beschreiben: Je mehr die Spannung steigt, desto mehr Orbitale beteiligen sich am Transport, und die Stromstärke nimmt dadurch zu. Peaks oder negative differentielle Widerstände treten auf, sobald Niveaus zur Leitung bei niedrigen Spannungen beitragen und nicht für den Fall hoher Spannungen auftreten, wie dies z. B. durch das Absenken der Bindungsenergie zwischen Molekülorbital und dem Kontakt passieren kann. Dieses Szenario ist für Picene/ F_4TCNQ bei 0,25 V zu beobachten. Um den Beitrag der einzelnen Orbitale zum Ladungstransport deutlicher zu demonstrieren, zeigt der untere Graph in *Abb. 2* die Transmissionsfunktion $T(E)$, die ein Maß für die Wahrscheinlichkeit des Tunnelns eines Elektrons durch das System bei einer festen Energie ist. Die Transmissionsfunktion des Dimers (durchgezogene Linie) zeigt ein hervorstechendes Merkmal bei 0,2 eV über der Fermi-Energie (E_F), das dem tiefsten unbesetzten Molekülorbital des Dimers zugeordnet werden kann. Merkmale unterhalb von E_F werden den besetzten Dimerorbitalen zugeordnet. Die Haupteffekte einer angelegten Spannung sind:

- Anheben der Transmissionsspektren des Picene/ F_4TCNQ -Materials als Funktion der Spannung,
- Verstärken bzw. Dämpfen der Transmissionseigenschaften durch die induzierte Änderung der Molekül-Kontakt-Wechselwirkung und
- Erweiterung des Energiebereichs, in dem Transmissionspeaks die Stromstärke beeinflussen.

Sobald eine positive Spannung am Picene/ F_4TCNQ anliegt, ändert sich das Transmissionsspektrum. Für negative

Spannungen stammen die Transmissionspeaks von besetzten Orbitalen. Für positive Spannungen sind die unbesetzten Orbitale entscheidend. In der Nähe der Fermi-Energie finden wir allerdings nur wenige unbesetzte Zustände, die auch energetisch relativ weit voneinander entfernt liegen. Liegen diese Orbitale außerhalb des genutzten Spannungsbereichs von 1 V, dann tragen sie in diesem Bereich nicht zum Ladungstransport bei. Im Fall hoher Spannungen > 1 V sind allerdings zusätzliche Orbitale am Transport beteiligt und führen selbst zu einem Stromanstieg.

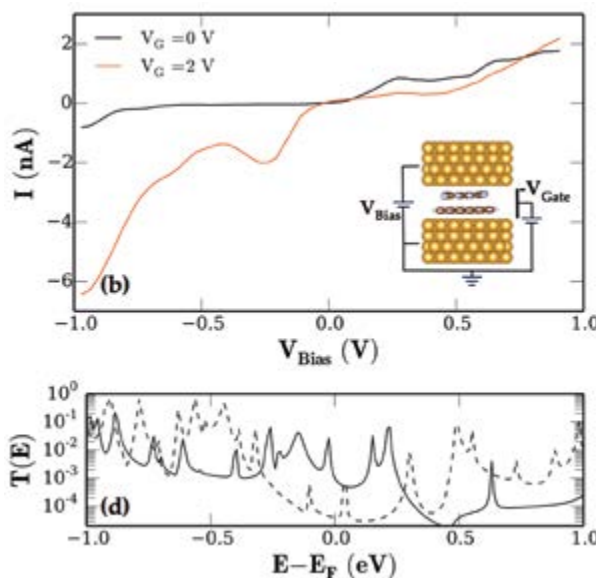
Im Vergleich zu den Ergebnissen von Tsujii [5] liegt das Gleichrichtungsverhältnis im System Picene/ F_4TCNQ bei einer Spannung von $\pm 0,3$ V mit $R=20$ um eine Größenordnung höher. Auch die Ergebnisse von Batra et al. [7] werden von unserem System übertroffen.

Zusätzlich zum Gleichrichtungsverhältnis untersuchen wir die Schalteigenschaften des Systems Picene/ F_4TCNQ . Dazu bestimmen wir die Abhängigkeit der Strom-Spannungskurve von externen Gate-Spannungen, die elektrische Felder senkrecht zur Transportrichtung erzeugen. Das zusätzliche elektrische Feld ist Ursache für zwei weitere, wichtige Effekte. Erstens verschiebt die Gate-Spannung die Energieniveaus des Dimers relativ zum Spannungsfenster, innerhalb dessen die Orbitale zum Transport beitragen können, und zweitens verursacht die Gate-Spannung Änderungen der elektronischen Struktur unseres molekularen Dimers. In unserem Fall ist wegen des asymmetrischen Charakters der molekularen Orbitale in der Nähe der Fermi-Energie ihr Einfluss auf die Strom-Spannungskennlinie besonders groß.

Für positive Spannungen sehen wir in *Abb. 2* eine nur geringe Abnahme des Stroms (rote Linie) im Vergleich zum Ladungstransport ohne Gate-Spannung (schwarze Linie). Im Gegensatz dazu zeigen sich aber große Änderungen im Fall negativer Spannungen. Für eine Gate-Spannung von 4 V erreichen wir ein Maximum des Gleichrichtungsverhaltens von $R \sim 500$.

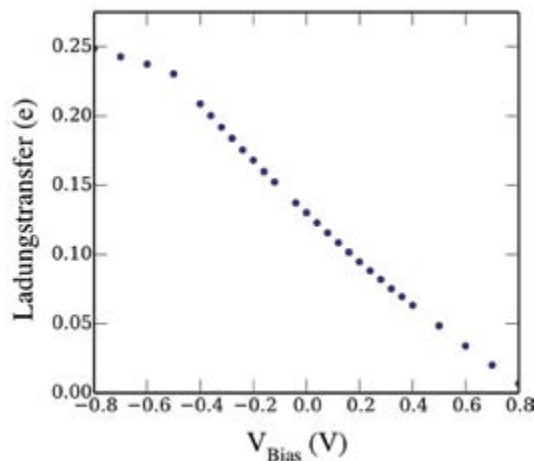
Das Diodenverhalten von Picene/ F_4TCNQ -Material hat, wie bereits diskutiert, eine Ursache in den energetisch dicht beieinanderliegenden besetzten Orbitalen und den weit von einander entfernten unbesetzten Molekülorbitalen. Allerdings ist dieser Effekt nicht ausreichend, um die große Asymmetrie der Strom-Spannungskennlinie und damit

Abb. 2:
Oben: Berechnete Strom-Spannungs-Kennlinie für das System Picene/ F_4TCNQ mit Gold-Kontakten. Die schwarze Kurve zeigt die Kennlinie ohne, die rote mit angelegter Gate-Spannung.



Unten: Vergleich der Transmissionsspektren für verschiedene Werte von V_{Bias} (durchgezogene Linie $V_{Bias} = 0V$, unterbrochene Linie $V_{Bias} = -0,75V$).

Abb. 3: Berechneter Ladungstransfer in Abhängigkeit von der angelegten Spannung für das Picene/ F_4 TCNQ-Dimer. Bei angelegter negativer Spannung wird der intrinsische Ladungstransfer erhöht, bei positiver Spannung erniedrigt. Das Verhalten des Moleküls gleicht damit dem einer klassischen Halbleiterdiode.



das große Gleichrichtungsverhältnis bei einer Gate-Spannung zu erklären.

Hier spielt der Ladungstransfer in unserem Dimer eine entscheidende Rolle. Um diesen Effekt zu verstehen, haben wir den Ladungstransfer in unserem Picene/ F_4 TCNQ-System als Funktion des elektrischen Feldes in Transportrichtung genauer untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Hybridorbitale durch das elektrische Feld stark beeinflusst werden. Abb. 3 zeigt die Abhängigkeit des Ladungstransfers von der angelegten Spannung. Die Größe des Ladungstransfers beeinflusst die energetischen Lagen der Orbitale, sodass bei negativen Spannungen die Anzahl der Niveaus, die zum Transport beitragen, zusätzlich vergrößert wird.

Abb. 3 zeigt deutlich, dass der Ladungstransfer nicht symmetrisch in Bezug auf die angelegte Spannung ist. Damit lässt sich das Wirkungsprinzip unserer molekularen Diode auch auf andere Weise

veranschaulichen: Durch den Ladungstransfer selbst – ohne äußere Spannung – entsteht ein molekularer pn-Übergang, bei dem Picene und F_4 TCNQ als Donator und Akzeptor im molekularen Dimer wirken. Dies entspricht einem inneren elektrischen Feld, das für positive Spannungen (Sperrrichtung) erst bei ca. 0,8 V verschwindet und Ursache für den geringen Strom ist. Für negative Spannungen findet der Ladungstransport in Richtung des inneren Feldes statt, so dass in diesem Fall ein stärkerer Strom fließen kann.

Unsere molekulare Diode besteht aus zwei einfachen organischen Molekülen, Picene und fluoriniertem TCNQ. Im Vergleich mit anderen, in der Literatur beschriebenen Systemen zeigt dieses System ein sehr gutes Gleichrichtungsverhalten. Weiterhin haben wir zeigen können, dass sich dieses System durch ein zusätzliches elektrisches Feld schalten lässt und Transistoreigenschaften besitzt [8].

Dieses Beispiel zeigt die prinzipielle Möglichkeit, einfache elektrische Bauelemente durch organische Moleküle zu realisieren. Allerdings sind bis zu möglichen Anwendungen noch viele Herausforderungen zu bewältigen. Nur durch eine intensive Zusammenarbeit von Chemikern, Physikern und Ingenieuren wird es gelingen, auf diesen theoretischen Konzepten basierende, reale Bauteile zu realisieren.

Wir danken der sächsischen Exzellenzinitiative „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering (ADDE)“ für finanzielle Unterstützung und dem ZIH Dresden für die Bereitstellung von Rechenzeit.

Literatur

- 1 Aviram, A. and Ratner, M. A.: Molecular rectifiers, Chem. Phys. Lett. 29, 277283 (1974).
- 2 Mujica, V., Ratner, M. A. and Nitzan, A.: Molecular rectification: why is it so rare?, Chem. Phys. 281, 147150 (2002).
- 3 Metzger, R. M.: Unimolecular electronics, J. Mater. Chem. 18, 4364 (2008).
- 4 Zhou, K.-G. et al.: Can azulene-like molecules function as substitution-free molecular rectifiers?, Phys. Chem. Chem. Phys. 13, 1588290 (2011).
- 5 Tsuji, Y., Staykov, A. and Yoshizawa, K.: Molecular Rectifier Based on Stacked Charge Transfer Complex, J. Phys. Chem. C 116, 25752580 (2012).
- 6 Mahns, B. et al.: Crystal Growth, Structure, and Transport Properties of the Charge-Transfer Salt Picene/2,3,5,6-Tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane, Cryst. Growth and Design 7 14, 1338-1346 (2014).
- 7 Batra, A. et al.: Tuning rectification in single-molecular diodes, Nano Lett. 13, 62337 (2013).
- 8 Hahn, T., Liebing, S., and Kortus J.: A gate controlled molecular switch based on picene- F_4 TCNQ charge-transfer material, Nanoscale 6 (2014) 14508-14513.

C_3N_4 – graphitische und diamantartige Kohlenstoff(IV)nitride

Edwin Kroke ⁽¹⁾

Einleitung

Die Bedeutung von Hartstoffen und ultraharten Materialien kann kaum überschätzt werden. Fast alle Gegenstände, die uns umgeben, haben bei ihrer Erzeugung Fertigungsstufen absolviert, in denen zerkleinert, geschnitten, gedreht, gebohrt, poliert oder anderweitig mit harten Werkzeugen umgegangen wurde. Dabei bevorzugt man auch bei der Verarbeitung von relativ weichen Materialien wie Lebensmitteln, Papier- und Pappenprodukten oder Textilien möglichst harte Werkzeuge mit wenig Verschleiß und möglichst langen

Standzeiten. Bekanntlich ist einkristalliner Diamant eines der härtesten Materialien, weshalb dieser für viele der genannten Bearbeitungsverfahren seit langem auch eingesetzt wird. Allerdings besitzt Diamant neben seinem hohen Preis zwei weitere Nachteile: Er verbrennt an Luft bereits ab ca. 600 °C – einer Temperatur, die z. B. bei der Metallzerspannung oft erreicht wird – und er löst sich bei der Bearbeitung von Eisenlegierungen unter Bildung von Carbiden auf, weshalb zumeist umweltschädliche Kühl- und Schmierstoffe eingesetzt werden müssen. Aus diesen

Gründen ist man permanent bestrebt, neue und leistungsfähigere Hartstoffe zu entwickeln, deren Einsatz natürlich auch zur Energieeinsparung und zum Umwelt- und Ressourcenschutz beitragen kann.

Gesättigte C_3N_4 -Phasen – ultraharte Kohlenstoffnitride?

Diamant ist sehr hart. Die Kohlenstoffatome sind durch sehr stabile, kurze und gerichtete kovalente Bindungen über sp^3 -Hybridorbitale verknüpft. Das meist als zweithärtestes Material zitierte kubische Bornitrid c-BN ist aus den beiden Nachbar-elementen des Kohlenstoffs aufgebaut, wobei seine Kristallstruktur der des Diamanten entspricht (Abb. 1). Auch ternäre Materialien aus den drei Elementen B, C und N mit sp^3 -hybridisierten Atomen, d. h. diamantartige Feststoffe, sind extrem

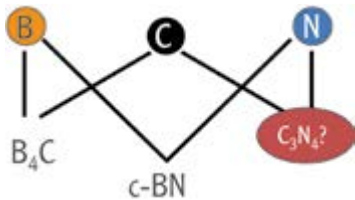


Abb. 1: Die einfachsten binären Verbindungen der drei im Periodensystem benachbarten Elemente Bor, Kohlenstoff und Stickstoff. Alle drei Kombinationen beruhen auf stabilen, kurzen und gerichteten kovalenten Bindungen, die bei einer dichten Packung der Atome zu extrem harten und inkompressiblen Feststoffen führen.

hart. Borcarbid, B_4C , eine weitere binäre Nichtmetallverbindung, soll oberhalb von $1000\text{ }^\circ\text{C}$ sogar härter als Diamant sein. Siliciumnitrid, Si_3N_4 , die binäre Verbindung aus dem im Periodensystem direkt unterhalb des Kohlenstoffs stehenden Element Silicium und Stickstoff, wird als gesinterter Feststoff in Form von Hochleistungskeramiken, z. B. für Bohrer oder Wendeschneidplatten, genutzt.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob binäre Verbindungen aus Kohlenstoff und Stickstoff – möglicherweise in einer Struktur, die der des Siliciumnitrids entspricht – existieren und welche Eigenschaften solche Substanzen besitzen. Dieser Frage ist M. L. Cohen Ende der 1980er-Jahre nachgegangen [1]. Er hat eine semi-empirische Gleichung (Gleichung (1)) zur Abschätzung des Bulk-Moduls von diamantartigen Feststoffen entwickelt.

$$B[\text{GPa}] = \frac{N_c}{4} \cdot \frac{0.624 - 0.07 \cdot I}{d[\text{nm}]^{3.5}} \quad (1)$$

Dabei gilt: N_c = mittlere Koordinationszahl (für hypothetisches $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ $N_c = 3,43$ und für Diamant $N_c = 4$); I = Ionizitätsparameter ($0 < I < 1$); d = Bindungslänge ($d(\beta\text{-C}_3\text{N}_4) = 0,147\text{ nm}$, $d(\text{Diamant}) = 0,154\text{ nm}$).

Je höher der Bulk-Modul B , umso inkompressibler ist ein Feststoff. Mit der Packungsdichte steigt B ; daher führen hohe Werte für die Koordinationszahlen N_c der Atome und kurze Bindungslängen d zu besonders harten Materialien. Ebenfalls günstig sind möglichst kovalente, d. h. gerichtete, nicht-ionische Bindungen ($I = 0$). Bei der Anwendung von Cohens Gleichung auf ein Kohlenstoff(IV)nitrid $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ mit einer zu $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ analogen Struktur ergeben sich – je nach angenommener Ionizität – Werte für B , die im Bereich von 410 bis 440 GPa liegen. Da der Bulk-Modul für Diamant mit 435 GPa ebenfalls in diesem Bereich und der für

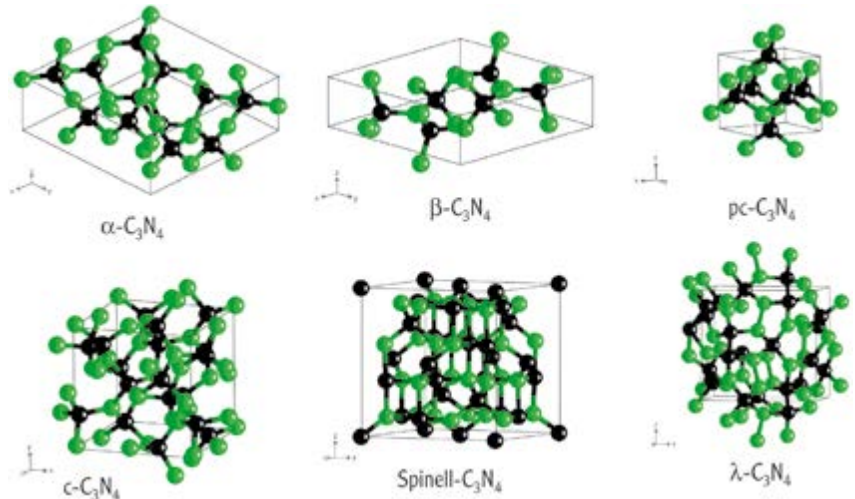


Abb. 2: Hypothetische diamantartige Kohlenstoff(IV)nitride, d.h. gesättigte C_3N_4 -Phasen, in denen eine sehr dichte Atompäckung vorliegt. Dabei entsprechen α - und $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ den analogen Siliciumnitrid-Phasen, die sehr gut untersucht sind und in Form von gesinterten $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ -Hochleistungskeramiken als extrem leistungsfähige Hartstoffe für Werkzeuge und Maschinenkomponenten eingesetzt werden. Mit Ausnahme der $\lambda\text{-C}_3\text{N}_4$ -Phase beruhen alle gezeigten Strukturen auf einer alternierenden Anordnung von C- und N-Atomen, besitzen also ausschließlich C-N-, aber keine N-N- oder C-C-Bindungen.

c-BN mit 367 GPa bereits deutlich unter dem für $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ berechneten Wert liegt, vermutete man, dass $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ und ähnliche Kohlenstoff(IV)nitride härter als Diamant sein könnten. Diese Prognose ist zwar nicht völlig korrekt, da es sich bei der Härte von Werkstoffen um den Widerstand gegen eine plastische Verformung handelt, während B rein auf die Elastizität bezogen ist. Dennoch haben Physiker, Materialwissenschaftler, Ingenieure und Chemiker, angeregt durch die Arbeiten von Cohen, versucht, das vorhergesagte Kohlenstoff(IV)nitrid zu erzeugen. Dabei wurden auch weiterführende theoretische Arbeiten betrieben und andere Strukturen für C_3N_4 -Phasen vorgeschlagen. In Abb. 2 sind die wichtigsten Vertreter dieser hypothetischen Kohlenstoff(IV)nitride dargestellt [2].

Ab 1990 wurden zahlreiche Versuche unternommen, deren Ziel darin bestand, durch physikalische und chemische Gasphasenabscheidung (PVD und CVD) und diverse weitere Synthesemethoden ultraharte C_3N_4 -Phasen darzustellen. Im Widerspruch zu Erfolgsberichten in mehreren Publikationen ist keine der genannten Phasen bislang eindeutig identifiziert worden – u. a., deshalb, weil sich die Untersuchungen oft auf extrem kleine Substanzmengen, wie z. B. nanometergroße Kristallite in dünnen Schichten, beziehen. Meist wurde keine ausreichende Charakterisierung der Produkte vorgenommen, um sicher zu sein, welche Phasen wirklich vorliegen. Zudem konnten die in den Erfolgsberichten dargestellten

Ergebnisse i.d.R. nicht reproduziert werden. Bis heute steht die Herstellung und umfassende Charakterisierung einer diamantartigen Kohlenstoff(IV)nitrid-Phase noch aus. Dennoch haben die genannten Synthesversuche viele interessante Ergebnisse zu Tage gefördert.

Beispielsweise zeigen C/N-Schichten, die durch Laser-Ablation erzeugt wurden, Thermolumineszenz mit zwei Intensitätsmaxima bei 150 und $290\text{ }^\circ\text{C}$ [3]. Die Autoren schlagen das Material zur Anwendung in Thermolumineszenz-Dosimetern vor. Via eine PVD-Methode (Ionenstrahlspütern) wurden auch CN_x -Schichten erzeugt, die erfolgreich als Funktions-Schicht (ITO/a- CN_x /Al) in Dünnschicht-Schottky-Solarzellen zum Einsatz kamen [4]. Ein Vergleich zwischen amorphen CN_x -Schichten, die einen Stickstoffgehalt von 23% besaßen, und amorphem Kohlenstoff zeigte, dass in diesen die Feldemission von Elektronen bei niedrigeren Feldstärken einsetzt und höhere Stromdichten erreicht [5]. Andere stickstoffreiche Kohlenstoffnitrid-Schichten wurden für den Einsatz in mikroelektromechanischen (MEM) Gasdetektoren vorgeschlagen [6]. Untersuchungen der optischen Eigenschaften von C/N-Schichten zeigten, dass diese entsprechend der theoretisch vorhergesagten großen Bandlücke hochtransparent sind, wenn keine Defekte oder weitere Phasen zugegen sind [7]. Viele Kohlenstoffnitrid-Schichten zeichnen sich durch gute Korrosionsbeständigkeit, sehr niedrige Reibungskoeffizienten und exzellente Verschleißfestigkeit aus [8].

Die mechanisch-tribologischen Eigenschaften und die Härte wurden in Abhängigkeit von mehreren Parametern, wie Elementzusammensetzung, Schichtdicke und Abscheidungsbedingungen, untersucht. In einigen Studien wurden sehr hohe Härtewerte von z. T. bis >40 GPa gemessen [2a]. Es wurde darauf hingewiesen, dass das beobachtete H/E-Verhältnis (Härte:E-Modul), ein Maß für die Verschleißresistenz eines Materials, in bestimmten Fällen mit $H/E = 0,18$ andere Werkstoffe übertrifft. So werden für Saphir, Wolfram, Quarz und Diamant Werte von $H/E = 0,06$; $0,08$; $0,12$ bzw. $0,1$ gemessen [9]. Diese Beobachtungen könnten mit der Bildung von C/N-Netzwerken zu erklären sein, die Fulleren- oder Nanoröhren-ähnliche Strukturen enthalten (s. u.). In der Tat wurde bereits mehrfach über die erfolgreiche Abscheidung von CN_x -Nanoröhren und -fasern berichtet [2].

CN_x -Polymere mit relativ geringem Stickstoffgehalt ($x < 0,5$), die sich mittels PVD- und CVD-Verfahren leicht herstellen lassen, ähneln in ihren Eigenschaften DLC-Schichten (diamantartige C-Schichten). Aufgrund ihrer gegenüber reinen Kohlenstoffschichten geringeren Oberflächenrauigkeit wurden C/N-Schichten zum Schutz von Computerfestplatten verwendet.

Bei der Erforschung dieser und weiterer interessanter Eigenschaften von binären Kohlenstoffnitriden wurden auch nützliche Zufallsentdeckungen durch die C_3N_4 -Synthesversuche generiert. So konnten wir bei Hochdruckexperimenten zur Kristallisation von amorphen, Precursor-abgeleiteten Kohlenstoffnitriden, bei denen β - Si_3N_4 als Impfkristallphase eingesetzt wurde, erstmals Spinell-Siliciumnitrid (γ - Si_3N_4) erzeugen [10]. Da – wie oben erwähnt – bereits die weniger dichte Ausgangsphase als Hartstoff eingesetzt wird, fand diese Entdeckung große Beachtung. Es stellte sich heraus, dass der neue Hartstoff bis über 1000 °C an Luft stabil ist und eine Härte besitzt, die nur knapp unterhalb derjenigen von c-BN liegt. Daher werden bis heute γ - Si_3N_4 -Herstellungsverfahren, die Synthese von verwandten Phasen wie der SiAlONe und die Eigenschaften der Hartstoffe dieser Klasse genauer untersucht [11].

Graphitische Kohlenstoffnitride

Bekanntlich gibt es neben Diamant weitere Kohlenstoff-Modifikationen, die völlig anders aufgebaut sind, sp^2 -hybridisierte C-Atome enthalten und sich durch ebenso interessante wie nützliche Eigenschaften

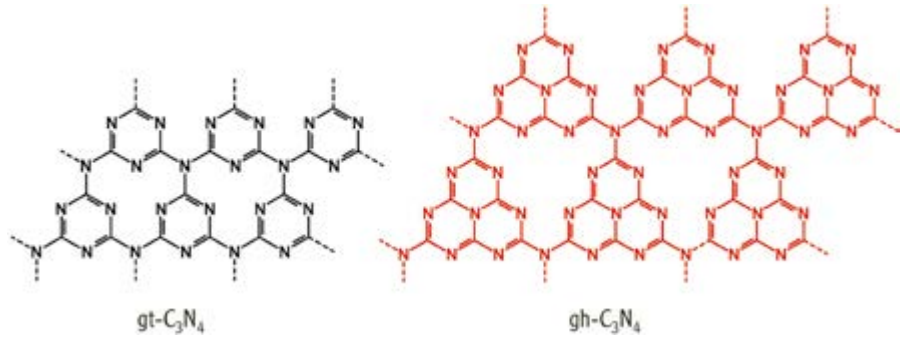


Abb. 3: Strukturformeln von jeweils einer Monolage der wichtigsten graphitischen Kohlenstoff(IV)nitride. Die links abgebildete Struktur basiert auf aromatischen C_3N_3 -Sechsringen (s-Triazin-Bausteinen), und die rechts gezeigte auf tricyclischen, ebenfalls aromatischen C_6N_7 -Einheiten (s-Heptazine). Nach Ab-initio-Berechnungen ist die s-Heptazin-basierte Modifikation $gh-C_3N_4$ um ca. 30 kJ/mol stabiler als die s-Triazin-abgeleitete Variante $gt-C_3N_4$. Dennoch gelang 2014 vermutlich die Synthese von $gt-C_3N_4$ als erstes kristallines Kohlenstoff(IV)nitrid in einer Salzschnmelze.

auszeichnen. Dazu zählen natürlicher und synthetischer Graphit, aus kugelförmigen Molekülen aufgebaute Fullereene, ein- und mehrwandige Nanoröhren sowie unterschiedliche Formen von amorphem Kohlenstoff. Seit wenigen Jahren werden auch sog. Graphene, d. h. aus einer oder sehr wenigen Graphit-Schichten bestehende Materialien als weitere allotrope Formen des Kohlenstoffs betrachtet. Es ist bemerkenswert, dass für die Entdeckung und Untersuchung dieser Phasen zwei Nobelpreise vergeben wurden: der Chemie-Nobelpreis 1996 (Fullerene) an R. F. Curl, H. W. Kroto und R. E. Smalley und der Physik-Nobelpreis 2010 (Graphen) an A. Geim und K. Novoselov.

Auch für binäre Kohlenstoff(IV)nitride lassen sich unterschiedliche Schichtstrukturen formulieren, die sich wie Graphit, der durch Hochdruck-Hochtemperatur-Synthesen in Diamant umgewandelt wird, als Vorstufen für die o.g. C_3N_4 -Hartstoffphasen eignen könnten. Die beiden nach Ab-initio-Berechnungen stabilsten graphitischen Kohlenstoff(IV)nitride gt und $gh-C_3N_4$ sind in Abb. 3 gezeigt.

Auch für die graphitischen Kohlenstoff(IV)nitride wurden weltweit zahlreiche Synthesversuche unternommen [2]. Ein sehr einfacher und oft untersuchter Weg besteht in der Pyrolyse von Melamin $C_3N_3(NH_2)_3$ und verwandten molekularen und polymeren C/N/H-Precursoren (Abb. 4). Unter Abspaltung von Ammoniak resultierten immer höher kondensierte Strukturen. Ab einer Temperatur von ca. 340 °C bilden sich zunächst aus den s-Triazin-Einheiten unterschiedliche s-Heptazin-Verbindungen wie das molekular aufgebaute Melem $C_6N_7(NH_2)_3$, das bei noch höheren Temperaturen zum linearen Polymer Melon $[C_6N_7(NH_2)(NH)]_n$

und zum 2D-Netzwerk Polyheptazinimid $[C_6N_7(NH)_{1,5}]_n$ reagiert. Die letztgenannten Polymere besitzen mehr oder weniger geordnete graphitische Strukturen. Diese und andere s-Heptazin-Verbindungen wurden bereits in den 1830er-Jahren von Liebig, Gmelin und Henneberg beschrieben. Allerdings gelang es erst in den 1930er-Jahren Nobel-Preisträger L. Pauling, die tricyclische aromatische C_6N_7 -Struktur als Grundmotiv für diese Substanzklasse zu bestimmen [2]. Die Abspaltung eines weiteren Äquivalents Ammoniak – ausgehend von Polyheptazinimid – würde zu einem Kohlenstoff(IV)nitrid führen. Jedoch konnten mehrere Autoren eindeutig nachweisen, dass bei Temperaturen um ca. 620 °C eine Zersetzung des Polyheptazinimids unter Abspaltung von C/N- und C/N/H-Fragmenten stattfindet [2]. Zwar lassen sich Melon, Polyheptazinimid und andere s-Heptazin-derivate nicht einfach durch Pyrolyse in ein binäres Kohlenstoff(IV)nitrid umwandeln, sie besitzen aber sehr vielversprechende Eigenschaften, die sie für unterschiedlichste Anwendungen als Funktionsmaterialien, Katalysatoren und sogar möglicherweise als Wirkstoffe qualifizieren [2]. Unter anderem wegen ihrer vergleichsweise hohen Oxidations- und Thermolysebeständigkeit haben wir beispielsweise s-Heptazin und s-Triazin-Derivate als Flammschutzmittel und als Komponenten für Isolations- und Korrosionsschutzschichten erfolgreich getestet [12].

Besonders großes Aufsehen hat eine Publikation verursacht, in der gezeigt wurde, dass Melon ein neuartiges Halbleitermaterial ist, dessen Bandlücke sowie auch die energetische Lage von Valenz- und Leitungsband kompatibel sind einem Prozess zur photokatalytischen Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff

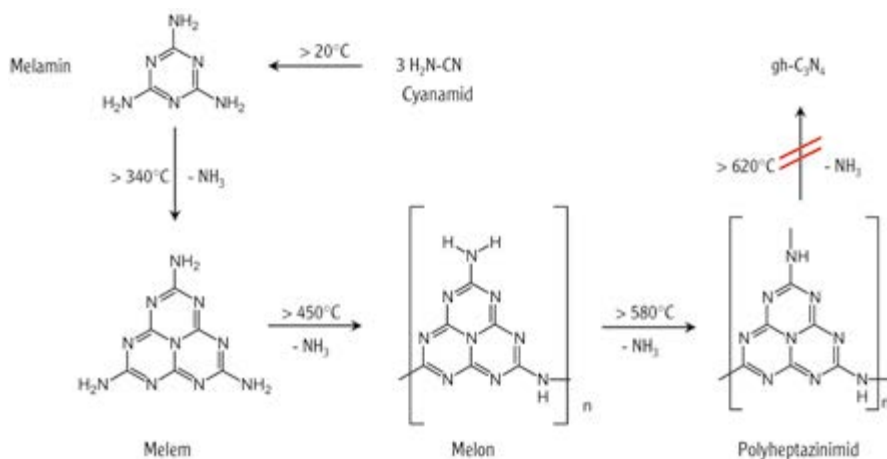


Abb. 4: Aus Melamin $C_3N_3(NH_2)_3$ entsteht durch Thermolyse unter Ammoniak-Abspaltung oberhalb von $340^\circ C$ zunächst die molekulare Verbindung Melem $C_6N_7(NH_2)_3$. Eine fortgesetzte Exposition bei höheren Temperaturen liefert das lineare Polymer Melon $[C_6N_7(NH_2)(NH)]_n$. Unter Abspaltung eines weiteren Äquivalents Ammoniak kann Polyheptazinimid $[C_6N_7(NH)_{1,5}]_n$ entstehen. Die vollständige Abspaltung von Wasserstoff bzw. Ammoniak unter Bildung eines graphitischen Kohlenstoff(IV)nitrids ist nicht möglich, da sich die Feststoffe oberhalb von ca. $620^\circ C$ zersetzen.

[13]. Weiterhin wurde eine katalytische Aktivität für die C/N/H-Phasen auch bei zahlreichen anderen chemischen Prozessen, darunter auch eine Möglichkeit zur CO_2 -Fixierung, beschrieben [2b]. Basierend auf diesen Arbeiten beschäftigen sich in den vergangenen Jahren national und international immer mehr Forschergruppen mit Melon und Melon-Derivaten als Katalysatoren; die Zahl der Publikationen auf diesem Gebiet explodiert förmlich. Kritisch ist festzustellen, dass mehrere Autoren in ihren Arbeiten von C_3N_4 -Phasen bzw. Kohlenstoffnitriden sprechen, obwohl es sich um ternäre melonartige C/N/H-Verbindungen handelt, die oft sogar noch weitere Elemente enthalten und nur relativ oberflächlich strukturell charakterisiert worden sind. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen ist es nicht verwunderlich, dass auch weiterhin nach binären, kristallinen Kohlenstoff(IV)nitrid-Modifikationen gesucht wird. Überraschenderweise scheint es Bojdy et al. kürzlich gelungen zu sein, das in Abb. 3 gezeigte $gt-C_3N_4$ durch Thermolyse von Dicyandiamid (H_2N-CN)₂ in einer LiBr/KBr-Salzschnmelze bei $600^\circ C$ zu erzeugen [14]. Den Ergebnissen der Elementaranalysen zufolge handelt es sich dabei tatsächlich um eine binäre Phase mit der korrekten Zusammensetzung. Sie entsteht als schwarzes, folienartiges Material in ca. 12%iger Ausbeute als Nebenprodukt der multinären kristallinen Phase $gt-(C_3N_3)(NH_xLi_{1-x})_3LiCl$.

Fazit

Sowohl graphitische als auch diamantartige Kohlenstoff(IV)nitride haben

aufgrund ihrer höchst interessanten Eigenschaften großes Aufsehen erregt, aber auch für Verwirrung in der Fachwelt gesorgt. Die Aussagen in zahlreichen Erfolgsberichten haben sich später als inkorrekt, als falsch interpretiert und/oder als nicht reproduzierbar erwiesen. Ungeachtet dessen hat die Suche nach diamantartigen Kohlenstoff(IV)nitriden zu einer Vielzahl von interessanten Entdeckungen geführt. Dazu zählen unterschiedliche Schichtmaterialien mit sehr nützlichen mechanischen, thermischen, optischen und elektrischen Eigenschaften. Die durch Zufall entdeckte Hochdruckphase $\gamma-Si_3N_4$ stellt sich als Grundlage für eine neue Hartstoff- und Material-Klasse dar: die Nitrid- und Oxidnitrid-Spinelle.

Die detaillierte Beschäftigung mit graphitischen Kohlenstoffnitriden als Vorstufen für CN_x -Hartstoffe hat gezeigt, dass sich diese Substanzklasse auch für ganz andere Anwendungsfelder anbietet, nämlich für die Entwicklung von metallfreien (Photo)-Katalysatoren, die u. a. zur Wasserspaltung geeignet sind. Allerdings kommen hier nicht binäre Kohlenstoff(IV)nitride, sondern i.d.R. ternäre C/N/H-Phasen, wie Melon, zum Einsatz. Sowohl s-Triazin- als auch s-Heptazin-Bausteine präsentieren sich als Grundlage für vielversprechende Weiterentwicklungen in der Zukunft.

Kürzlich ist es gelungen, ein binäres, s-Triazin-basiertes graphitisches Kohlenstoff(IV)nitrid zu erzeugen, obwohl die s-Heptazin-basierte Form, nach Berechnungen zu urteilen, stabiler sein sollte. Weitere spannende Entwicklungen im Rahmen der Forschungsarbeiten zur

Synthese von binären diamantartigen und graphitischen C/N-Verbindungen sowie molekularen und polymeren s-Triazin- und s-Heptazin-Derivaten sind zu erwarten.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass eine Hauptentwicklungsrichtung bei der Herstellung von neuen Ultrahartstoffen heute auf einer gezielten Nanostrukturierung des Materials liegt [15]. Durch diesen Ansatz ist es möglich, sowohl Hartstoffschichten als auch Volumenhartstoffe herzustellen, deren Härte und Verschleißbeständigkeit diejenigen von entsprechenden ein- oder mikrokristallinen Materialien deutlich übertrifft.

Der Autor dankt der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung für die großzügige Unterstützung der Hochdruck- und Hartstoffforschung an der TU Bergakademie Freiberg durch die Etablierung des Freiburger Hochdruckforschungszentrum (FHP) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung der Multi-Anvil-Hochdruckpresse des FHP und von Forschungsprojekten.

(1) Institut für Anorganische Chemie

Literatur

- 1 a) M. L. Cohen, Phys. Rev. B 1985, 32, 7988; b) A. Y. Liu, M. L. Cohen, Science, 1989, 245, 841.
- 2 Reviews: a) E. Kroke, M. Schwarz, Coord. Chem. Rev. 2004, 248, 493; b) A. Schwarzer, T. Saplinova, E. Kroke, Coord. Chem. Rev. 2013, 257, 2032.
- 3 L. Escobar-Alarcon, J. E. Villarreal-Barajas, E. Camps, S. Muhl, E. Haro-Poniatowski, S. Romero, B. Salinas, Mater. Sci. Eng. B: Solid-State Mater. Adv. Technol. 2002, B90, 79.
- 4 Z. B. Zhou, R. Q. Cui, Q. J. Pang, G. M. Hadi, Z. M. Ding, W. Y. Li, Solar Energy Materials & Solar Cells 2002, 70, 487.
- 5 H. Sugimura, Y. Sato, N. Tajima, O. Takai, Surf. Coat. Technol. 2001, 142-144, 714.
- 6 W. Kulisch, C. Popov, L. Zambov, New Diamond Front. Carbon Technol. 2001, 11, 53.
- 7 a) B. L. Ivanov, L. M. Zambov, G. T. Georgiev, C. Popov, M. F. Plass, W. Kulisch, Chem. Vap. Deposition 1999, 5 265; b) S. Xu, S. Kumar, Y. A. Li, N. Jiang, S. Lee, J. Phys.: Condens. Matter 2000, 12, L121.
- 8 a) Z. Zhang, H. Guo, Y. Xu, W. Zhang, X. Fan, J. Mater. Sci. Lett. 1999, 18, 685; b) J. Wie, P. Hing, Z. Q. Mo, Wear 1999, 225-229, 1141.
- 9 J. Martin-Gil, F. J. Martin-Gil, M. Sarikaya, et al., J. Appl. Phys. 1997, 81, 2555.
- 10 A. Zerr, G. Miehe, G. Serghiou, M. Schwarz, E. Kroke, R. Riedel, H. Fueß, P. Kroll, R. Böehler, Nature 1999, 400, 340.
- 11 a) M. Schwarz, M. Antlauf, S. Schmerler, K. Keller, T. Schlothauer, J. Kortus, G. Heide, E. Kroke, High Pressure Res. 2014, 34, 22; b) A. Köhler, T. Schlothauer, C. Schimpf, V. Klemm, M. Schwarz, G. Heide, D. Rafaja, E. Kroke, J. Eur. Ceram. Soc. 2015, 35, 3283.
- 12 a) T. Saplinova, Ch. Lehnert, U. Böhme, J. Wagner, E. Kroke, New J. Chem. 2010, 34, 1893; b) S. Pfeifer, A. Gutierrez, E. Kroke, Polym. Adv. Technol. 2014, 25, 1356.
- 13 X. Wang, K. Maeda, A. Thomas, et al., Nature Mater. 2009, 8, 76.
- 14 a) G. Algara-Siller, N. Severin, S. Y. Chong, et al., Angew. Chem. 2014, 126, 7580; b) E. Kroke, Angew. Chem. 2014, 126, 11314.
- 15 Review: D. Rafaja, C. Wüstefeld, M. Motylenko, C. Schimpf, T. Barsukova, M. R. Schwarz, E. Kroke, Chem. Soc. Rev. 2012, 41, 5081.

Mit Kristallographie zu neuen Materialkonzepten für die Energiekonversion und -speicherung

Tilmann Leisegang¹, Hartmut Stöcker¹, Dirk C. Meyer¹



Abb. 1: Am Institut für Experimentelle Physik etablierte Innovationskette

Energieproblematik und Energiewende

Die drohende Klimaproblematik und die Verknappung des Hauptenergieträgers Erdöl (prognostizierte Reichweite: noch ca. 50 Jahre) sind aktuelle Herausforderungen für die Gesellschaft, die in den nächsten Jahrzehnten an Bedeutung noch gewinnen werden. Dieser Tatbestand und die Ziele der Bundesregierung hinsichtlich der von ihr ausgerufenen deutschen Energiewende sind wichtige Treiber für den forcierten Ausbau von Technologien zur effizienten Energiewandlung und -speicherung. So wird u. a. durch verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, das Setzen auf Elektromobilität und die Erhöhung der Effizienz von Stoff- und Energiekreisläufen eine Minimierung der CO₂-Emissionen angestrebt. Letzteres birgt insbesondere vor dem Hintergrund, dass heute weltweit mehr als 50 % des für technische Anwendungen gewandelten Energieaufkommens in Form von Abwärme verloren gehen, ein beträchtliches Potenzial. Gemäß der von der Bundesregierung vorgegebenen Hightech-Strategie soll Deutschland eine Vorreiterrolle auf diesen Gebieten einnehmen, zum Innovationsführer in Europa und in der Welt werden und so zum weltweiten Gelingen der Energiewende beitragen.

Schwerpunkte der deutschen Energieforschung sind Aktivitäten zur Entwicklung von Batteriesystemen, zur Wind-Wasserstoff-Kopplung und zu thermischen Speichern. Notwendig wird dies wegen der fluktuierenden Natur des Angebots an erneuerbaren Energien (z. B. bei Wind und Sonne). Für die Wandlung und Speicherung auf ihrer Basis erzeugt elektrischer

Energie bieten sich insbesondere elektrochemische Prozesse unter Nutzung von chemischen Redoxreaktionen an, da hierbei die nach dem Stand der Technik höchsten Energiedichten erzielbar sind. Auf dem Gebiet der Produktion elektrochemischer Energiespeicher werden hohe jährliche Wachstumsraten von etwa 8 % erwartet, was die fundamentale Bedeutung von Innovationen in diesem Bereich vor Augen führt. Mittelfristig werden nicht nur die weltweit begrenzten Mengen an Lithium (die Versorgung gilt ggf. nur bis zum Jahr 2050 als sichergestellt) eine Diversifizierung der elektrochemischen Speichertechnologien notwendig machen, um den Erfordernissen in allen ihren Anwendungsfeldern genügen zu können.

Die genannten Herausforderungen und Themen legen es nahe, neuartige Materialkonzepte für die Energie- und Stoffwandlung besonders auf der Basis von Redoxprozessen zu erforschen. Hierzu bieten sich leicht verfügbare, umweltverträglich herstell- und handhabbare, kristalline oxidische Materialien als zukunftsweisend an. Das Institut für Experimentelle Physik agiert in diesem Bereich mit dem Ansatz, ausgehend von der Kristallographie der einschlägigen Materialien zu neuen Konzepten vorzustoßen (vgl. Abb. 1). Eine Auswahl dieser Vorhaben und die dabei jeweils zu absolvierende Folge von Innovationsschritten werden nachstehend vorgestellt.

Die Natrium-Schwefel-Batterie

Die Na-S-Technologie ist eine vielversprechende Alternative zum herkömmlichen Li-Einsatz für kostengünstige stationäre Energie-Großspeicher im Bereich von bis zu 100 MWh, insbesondere da die Aktivkomponenten Natrium und Schwefel

kostengünstig und in großer Menge verfügbar sind. Die Hochtemperatur-Variante des Na-S-Akkumulators repräsentiert aktuell bereits die umsatzstärkste Technologie für Großakkumulatoren. Für die Realisierung einer Niedertemperaturvariante müssen die aus der Na-S- und Li-Technologie bekannten Materialsysteme für Kathode, Anode, Elektrolyt und Separator modifiziert oder neu konzipiert werden.

Eine der größten Herausforderungen ist dabei die Entwicklung eines geeigneten Festkörperelektrolyten/Separators. Im Falle der Hochtemperaturvariante wird hierfür in der Regel ein sog. β -Aluminat der allgemeinen Zusammensetzung $(\text{Na}_2\text{O})_{1+x}\text{Al}_2\text{O}_3$ eingesetzt, das bei hohen Betriebstemperaturen die geforderte Ionenleitfähigkeit besitzt. Herstellungsbedingt enthalten diese Materialien allerdings zwei Phasen: hexagonales β -Aluminiumoxid (Raumgruppe $P6_3/mmc$) und rhomboedrisches β'' -Aluminiumoxid (Raumgruppe $R\bar{3}$). Die von ihnen formierten Strukturen besitzen zweidimensionalen Charakter und sind schichtartig aufgebaut. Sie unterscheiden sich in der Stöchiometrie und in der Anordnung der Sauerstoff-Ionen innerhalb der ionenleitenden Schicht. In diesen Schichten können die interkalierten Na⁺-Ionen über die in hoher Konzentration vorhandenen Leerstellen migrieren. Daher ist die Nicht-Stöchiometrie dieser Aluminiumoxide und damit deren spezifische Kristallstruktur entscheidend für den Ionentransport. Die Leitfähigkeit des β'' -Aluminiumoxids ist im Vergleich zu seiner β -Modifikation höher, weswegen diese Phase zur Anwendung in der Na-S-Technologie bevorzugt wird.

Für die Realisierung einer Nieder-

¹ Institut für Experimentelle Physik

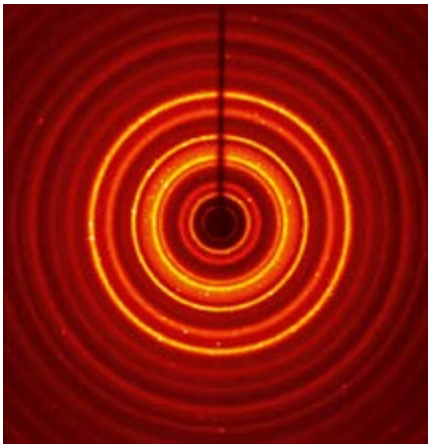


Abb. 2: Debye-Scherrer-Aufnahme eines kommerziellen Na-β-Aluminat-Festelektrolyts unter Nutzung von Mo-Kα-Strahlung

temperaturvariante muss die Ionenleitfähigkeit der Oxide aber noch deutlich erhöht werden. Außer dieser Ionen-Konduktivität sind auch die Separatoreigenschaften der Oxide für die Gewährleistung eines sicheren Betriebs von besonderem Interesse, d. h. die Oxide müssen eine chemisch stabile Barriere für die Aktivkomponenten sein und einen effektiven Schutz gegenüber einem elektrischen Kurzschluss bieten. Durch die Koexistenz verschiedener Phasen von β-Aluminat und die beigegebenen Zusätze (z. B. ZrO₂) entsteht ein polykristallines Gefüge mit größeren einkristallinen Bereichen, wie die Debye-Scherrer-Aufnahme eines kommerziellen Na-β-Aluminat-Festelektrolyts erkennen lässt (s. Abb. 2). Diese und andere strukturelle Eigenheiten und die daraus resultierenden elektrischen Eigenschaften von β-Aluminat und verwandter Oxide erschweren dessen bzw. ihren Einsatz als „dünne Folie“ in einem Separator der Niedertemperaturvariante. Die Charakterisierung und Optimierung derartiger Oxide in Richtung hoher elektrischer Leitfähigkeit für den Niedertemperaturbetrieb ist daher ein Schwerpunkt der Grundlagenforschung.

Vorhersage neuartiger Batteriematerialien

Bisher werden als Separator in elektrochemischen Energiespeichern meist poröse Polymerfolien verwendet, die mit einem flüssigen Elektrolyten getränkt sind. Diese Separator-Elektrolyt-Kombination bringt jedoch einige Nachteile mit sich, wie z. B. akute Brandgefahr bei Kurzschluss oder erhöhten Temperaturen sowie Materialdegradation bei fortdauernder Nutzung. In Erwartung einer vielversprechenden Lösung dieser Probleme werden mittlerweile

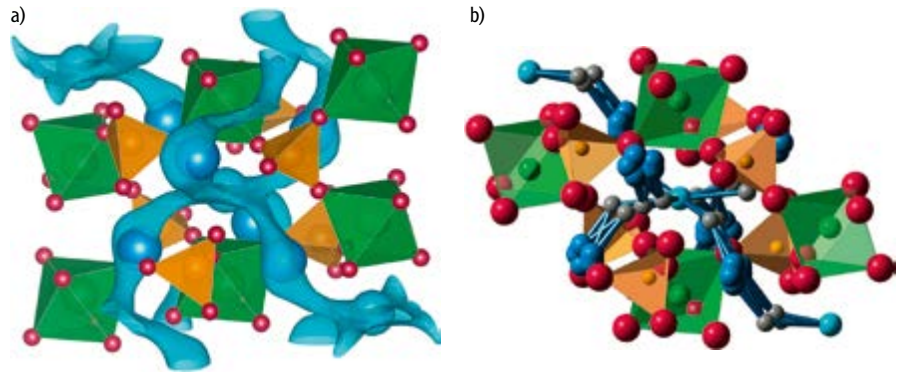


Abb. 3: a) Durch *Bond-Valence-Sum* dargestellte Diffusionspfade im Na-Ionenleiter NaSiCon, b) über den Voronoi-Dirichlet-Ansatz berechnete mögliche Lücken und dadurch aufgezeigte Diffusionspfade in NaSiCon

chemisch, mechanisch und thermisch stabile Festkörperelektrolyte bevorzugt untersucht. Die Schwierigkeit dabei liegt im Erreichen einer hinlänglich hohen Ionenleitfähigkeit. Zum Beispiel zeichnen sich Perowskite (ABO₃) durch eine hohe ionische Leitfähigkeit für Lithium aus. Die aber wohl prominentesten Vertreter der Festkörperelektrolyte sind NaSiCon-Materialien (engl. *Na-superionic conductor*) mit der prinzipiellen chemischen Zusammensetzung A_xB_y(Si_zP_{1-z}O₄)₃, wobei A die mobile Spezies bezeichnet (Na oder Li) und B ein höherwertiges Metallion, häufig das eines Übergangsmetalls (z. B. Ti, Zr, Hf).

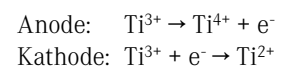
Neuartige, bisher unerforschte Materialien lassen sich via Massendatenerhebung suchen und auch auffinden, durch sog. *data mining*. Dafür werden Datenbanken mit Parametern zu den Kristallstrukturen herangezogen, um zunächst Mittelwerte für die Ionenabstände und -größen in definierten chemischen Umgebungen zu bestimmen. Danach können dann kristallographisch-mathematische Methoden angewendet werden, die in der Struktur Leerstellen bzw. Lücken sowie auch Pfade zwischen diesen aufspüren. Deren geometrische Kennwerte werden schließlich mit den vorher ermittelten (Soll-Kennwerten) abgeglichen. Sobald die strukturell notwendigen Bedingungen erfüllt sind, lassen sich geeignete Kandidaten für neue Interkalations- und Ionenleitungsmaterialien – also Elektroden- und Festkörperelektrolyt-Materialien – aus der Datenbank extrahieren. Diese können dann in Bezug auf weitere Randbedingungen hinsichtlich Ressourcenverfügbarkeit und Umweltverträglichkeit sowie ihrer Elektrochemie eingeschätzt werden, um zu neuen, innovativen und nachhaltigen Materialkonzepten zu gelangen.

Ein Beispiel für diesen Ansatz ist mit Abb. 3 gegeben, die den Natriumionenleiter NaSiCon zeigt. Mithilfe der

Bond-Valence-Sum und der Voronoi-Dirichlet-Methode wurden die Diffusionspfade des Festkörperionenleiters modelliert. Dabei haben wir mit rein kristallographischen Methoden die möglichen Plätze und Diffusionswege visualisiert, die auch experimentell nachgewiesen wurden. Insgesamt gelang es auf diese Weise, 52 geeignete Na⁺-Ionenleitermaterialien innerhalb der Klasse der ternären Oxide aufzuspüren, von denen die meisten im einschlägigen Kontext bisher nicht untersucht wurden. Die Präparation und die Implementierung dieser Materialien in die Na-S-Technologie sind die nächsten wichtigen Schritte.

Eine Festkörperbatterie auf der Basis von Strontiumtitanat

Das Anlegen eines elektrischen Feldes in der Größenordnung von 10⁶ V/m an das in Perowskit-Struktur vorliegende ternäre Oxid SrTiO₃ bewirkt eine Umlagerung von Sauerstoffleerstellen. Diese Defekte erweisen sich im Material als die bei Raumtemperatur mobilsten; sie können sich aufgrund ihrer positiven Ladung im elektrischen Feld innerhalb der Kristallstruktur bewegen. Dieser Prozess wird im Allgemeinen als Formierung bzw. als Ladevorgang bezeichnet. Infolge der Umverteilung geladener Sauerstoff-Fehlstellen (s. Abb. 4) – bei Aufrechterhaltung der Elektroneutralität im Kristall – entstehen folgende Redoxpaare, die den jeweiligen Elektrodenreaktionen zuzuordnen sind:



Das durch eine derartige Defektseparation hervorgerufene Ungleichgewicht im SrTiO₃-Kristall bedingt eine elektromotorische Kraft, die aufgrund ihres exergonischen Charakters die Entladung der Einkristallbatterie beim Abschalten des elektrischen Feldes antreibt.

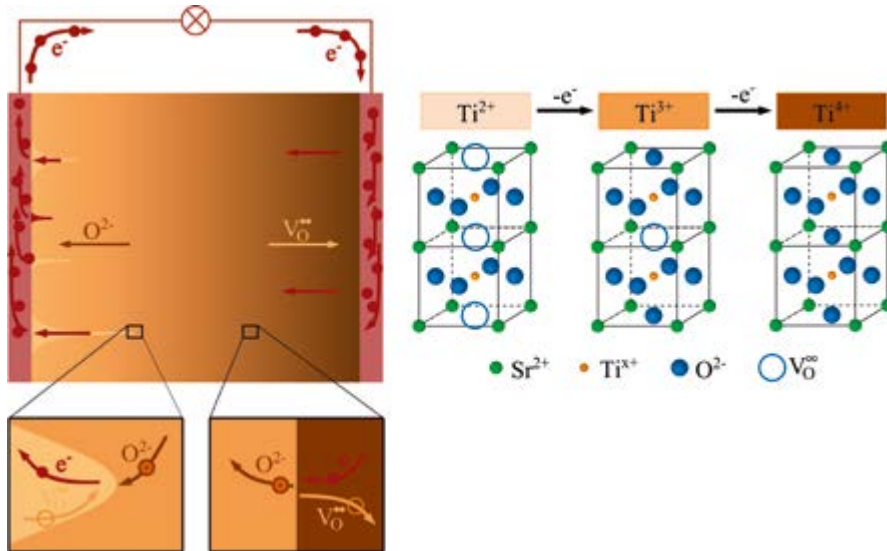


Abb. 4: Entladevorgang einer SrTiO₃-Einkristall-Batterie. Das Konzentrationsgefälle der Sauerstoff-Vakanzen (höhere Konzentration an der negativ geladenen Elektrode als an der positiv geladenen) bedingt eine elektromotorische Kraft und damit einhergehende Redoxprozesse: Vakanzcluster (Ti²⁺) lösen sich auf und hinterlassen stöchiometrisch zu erwartendes SrTiO₃ (Ti⁴⁺) sowie gelöste Sauerstoff-Vakanzen (Ti³⁺), die im Gleichgewichtfall homogen verteilt im Kristall vorliegen.

Der Redoxmechanismus basiert auf der Oxidation des Ti²⁺ und der Reduktion des Ti³⁺- bzw. Ti⁴⁺-Kationen, da das Titan unter diesen Bedingungen drei Oxidationszustände einnehmen kann. Als Batteriekenngröße wurde bisher eine Kapazität von 3 mAh/kg ermittelt, die über mehrere Lade-/Entladezyklen hinweg konstant blieb. Auch die zu erwartende lineare Abhängigkeit der Kapazität vom Volumen der Zelle konnte experimentell bestätigt werden. Zusammenfassend gesagt: Es wurde ein neuartiger, wiederaufladbarer elektrochemischer Energiespeicher in Form eines *All-in-one*-Energiespeichermaterials aus SrTiO₃ erzeugt, der auf der Defektseparation in einer ternären oxidischen Verbindung basiert, die als Anode, Kathode und Festkörperelektrolyt in einem fungiert. Die geometrische Skalierbarkeit der Kapazität sowie deren Abhängigkeit von der Defektkonzentration bieten weitere Optimierungsmöglichkeiten.

Pyroelektrische Wasserspaltung

Mit dem Begriff Pyroelektrizität bezeichnet man die kristallphysikalische Eigenschaft bestimmter Materialien (Pyroelektrika), auf eine Temperaturänderung mit der Ausbildung eines elektrischen Feldes bzw. einer Oberflächenladung zu reagieren. Die Bezeichnung des Effekts beruht auf dem griechischen Wort *πῦρ* (Genitiv: *pyrós*) für Feuer, da die Pyroelektrizität in der Antike an ins Feuer geworfenen Turmalinkristallen entdeckt wurde. Die Pyroelektrizität verbindet eine

Temperaturänderung ΔT kausal mit einer elektrischen Polarisationsänderung $\Delta \vec{P}$ über den pyroelektrischen Koeffizienten \vec{p} gemäß

$$\Delta \vec{P} = \vec{p} \cdot \Delta T.$$

Bestimmend für den pyroelektrischen Koeffizienten ist entweder die Temperaturabhängigkeit der Ausrichtung der atomaren Dipole oder die bei Temperaturänderung variierende Auslenkung der Ladungsschwerpunkte innerhalb der Kristallstruktur des Pyroelektrikums. Als Beispiel ist in Abb. 5 die „strukturelle Antwort“ – Auslenkung der Atome aus den Gleichgewichtslagen im Gitter – von LiNbO₃ auf eine Temperaturänderung dargestellt. Neben hauptsächlich anorganischen Materialien finden sich auch organische in der Klasse der Pyroelektrika. Eine im Institut für Experimentelle Physik geschaffene Datenbank stellt insgesamt mehr als 1.600 solcher chemischen Verbindungen zusammen.

Die meistverbreiteten Anwendungen von Pyroelektrika sind Infrarot-Strahlungsdetektoren bzw. Temperatursensoren, da diese dank ihrer wellenlängenunabhängigen Empfindlichkeit über einen weiten Spektralbereich für solche Einsatzzwecke besonders geeignet sind. Des Weiteren besitzen sie eine kurze Ansprechzeit und können bei Raumtemperatur betrieben werden. Der Prinzipaufbau des Sensors ist einfach und setzt hauptsächlich einen Körper aus pyroelektrischem Material voraus, der bei

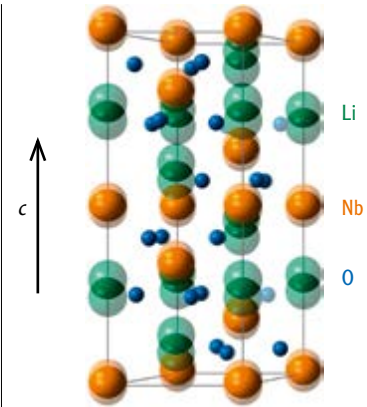


Abb. 5: Überlagerung der Strukturen von Hoch- und Tieftemperaturphase von LiNbO₃. Die Tieftemperaturphase der Raumgruppe ist durch eine Auslenkung der Atome entlang der c-Achse aus den zentrosymmetrischen Gleichgewichtslagen heraus gekennzeichnet.

geeigneter Orientierung in Bezug auf die Achse, entlang derer die Auslenkung der Atome stattfindet, an Ober- und Unterseite kontaktiert wird. Über diese Kontakte ist dann bei einer Temperaturänderung eine dazu proportionale Spannungsänderung abgreifbar.

Als weitere Anwendungsmöglichkeit pyroelektrischer Metalloxide eröffnet sich die Option der Wasserstoffherzeugung, wenn es gelingt, mittels der generierten elektrischen Ladungen Wassermoleküle zu spalten und dabei Wasserstoff freizusetzen. Dieser kann dann entweder für chemische Synthesen genutzt oder über die Reaktion mit Sauerstoff in Brennstoffzellen verstromt werden. Es ergibt sich damit ein neuer Ansatz, mittels Pyroelektrika durch die sog. pyroelektrokatalytische Wasserspaltung Abwärme in eine hochwertige Gebrauchsenergieform zu überführen. Aktuell wird am Aufbau eines Demonstrators gearbeitet (s. Abb. 6), um Wirtschaftlichkeit und Skalierbarkeit des Ansatzes zu untersuchen.



Abb. 6: Modell des in Aufbau befindlichen Demonstrators zur Wasserstoffherzeugung mittels pyroelektrischer Übergangsmetalloxide

Die hier referierten Arbeiten sind mehreren Forschungsprojekten bzw. -gruppen zuzuordnen: der von der SAB geförderten ESF-Nachwuchsforscherguppe PyroConvert (100109976), dem BMBF-geförderten Verbundprojekt CryPhysConcept (03EK3029A) sowie dem BMUB-geförderten Verbundprojekt BaSta (0325563D). Die Autoren bedanken sich insbesondere bei Falk Meutzner und Juliane Hanzig.

Rohstoffchemie – eine Schlüsseldisziplin der modernen Chemie

Ines A. Aubel¹, Valentin G. Greb¹, Gunther Martin¹, Lydia Reichelt¹, Norbert Schreier¹, Doreen Steffien¹, Alexander Zurbel¹, Peter Fröhlich¹, Carsten Pätzold¹, Martin Bertau¹

Die Welt der Rohstoffe im Wandel

Nicht erst seit der Ankündigung Chinas, für Seltenerdmetalle (SE) eine Exportbeschränkung einzuführen, sind wir von Rohstoffen abhängig. Die – meist in Vergessenheit geratenen – Ölkrisen der 1970er- und 1980er-Jahre haben uns dies schon frühzeitig und eindringlich vor Augen geführt – in einer Zeit, in der Deng Xiao Ping die Rohstoffdoktrin seines Landes für mineralische Rohstoffe formulierte.

Im Zuge der Globalisierung stehen wir mit den sog. *Emerging Countries* im Wettbewerb um Rohstoffe und Märkte. Bei diesen Ländern, häufig auch BRIICS-Staaten genannt, handelt es sich um Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China und Südafrika. In diesen Ländern leben etwa 40% der Weltbevölkerung mit einem Anteil am weltweiten Bruttoinlandsprodukt von ca. 25% (2013). Sie sind getrieben von der Notwendigkeit der Daseinssicherung und Daseinsvorsorge für 3 Mrd. Menschen.

Für Europa im Allgemeinen und Deutschland im Speziellen ergeben sich daraus härtere bzw. neue Herausforderungen zur Sicherung der Rohstoffbasis. Auch wenn das Wirtschaftswachstum der BRIICS-Staaten im Sommer 2015 abflachte und sich auf den Rohstoffmärkten in vielen Bereichen eine Entspannung abzeichnete, darf dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Erdbevölkerung ständig wächst und der Bedarf an Nahrungs- und Produktionsgütern zunimmt. Wir erleben gegenwärtig eine völlig neue Situation wirtschaftlicher Unsicherheit in Europa, den USA und in Japan, der der Energie- und Rohstoffhunger der *Emerging Countries* gegenübersteht. Die sich abzeichnende wirtschaftliche Entwicklung birgt sowohl bei einer Wiederbelebung der dortigen Wirtschaftsaktivitäten wie auch bei einer eventuellen Abschwächung derselben geopolitische Unsicherheiten, die neuen Handlungsbedarf erzeugen. In Deutschland birgt die Energie- und Rohstoffwende zusätzliche Risiken für Industrie und Verbraucher (Abb. 1). Insgesamt befindet sich unsere Volkswirtschaft im Zangengriff politisch-wirtschaftlicher und technisch-wissenschaftlicher Herausforderungen.

¹ Institut für Technische Chemie, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg

Angesichts dieser Herausforderungen kommt der Chemie eine Schlüsselrolle zu.

Die Situation in Deutschland

In Deutschland erleben wir seit jeher eine praktisch vernachlässigbare Produktion strategischer Rohstoffe, und fatalerweise besteht für viele industrierelevante Rohstoffe eine vollständige Importabhängigkeit. In Bezug auf den Wert der Rohstoffimporte im Zeitraum 2002–2012 stellt man fest, dass sich dieser Wert binnen zehn Jahren verdreifacht hat. Problematisch können Nachfrageschübe sein, denn sie sind immer mit den Ungewissheiten schwankender Wechselkurse und Rohstoffpreise assoziiert. So nahm von 2012 (151 Mrd. €, 320 Mio. t) auf 2013 (148 Mrd. €, 331 Mio. t) die Rohstoff-Importmenge um weitere 3,5% zu, während ihr Wert im gleichen Zeitraum um 5% abnahm.

Diesen Unsicherheiten kann man durch Recycling entgegenwirken. Allerdings gibt es echtes Recycling im Sinne des Wiedererreichens einer Primärproduktqualität nur für Kupfer, Aluminium und Stahl. Und selbst hier kann man bei einer schonungslosen Betrachtung von einem Recycling nur bei Kupfer reden. In allen anderen Fällen resultieren die Wiederverwertungsbemühungen in einem Downcycling. Die Folge ist eine Zementierung der Importabhängigkeiten.

De facto ist unsere Situation aber deutlich besser als gegenwärtig wahrgenommen. Denn seit 70 Jahren werden gigantische Mengen an Primärrohstoffen importiert. Ein Teil davon wird in Form von Produktionsgütern, also in einer höheren

Veredelungsstufe exportiert. Ein großer Teil verbleibt jedoch auf Deponien im Lande. Dies sei an drei Beispielen verdeutlicht:

- Seltene Erden: In Deutschland lagern bei vorsichtiger Schätzung ca. 250.000 t SE-Metalle in Phosphorofenschlacken auf Deponien.
- Hierzulande werden der Wirtschaft jährlich ca. 95.000 t P_2O_5 über Klärschlämme entzogen. Diese Menge entspricht ca. 30% des Importvolumens.
- Die größte europäische Lithiumlagerstätte im Erzgebirge wird nicht ausgebeutet.

Sucht man nach Gründen dafür, weshalb diese Sekundärrohstoffe nicht genutzt werden, stößt man stets auf die Entgegenhaltung, es fehle an geeigneten Technologien. Selbstverständlich gibt es verschiedene weitere, z. B. juristische Probleme, die zu lösen sind, aber die Kernproblematik, nämlich die der Technologieentwicklung, ist ganz klar ein Ansatzpunkt für die Wissenschaft – und hier kommt der Chemie eine Schlüsselrolle zu.

Im Folgenden soll anhand der Themenkomplexe Primärrohstoffe, Sekundärrohstoffe und Nachwachsende Rohstoffe aufgezeigt werden, wie die Chemie zur Lösung dieser drängenden Probleme beitragen kann.

Primärrohstoffe – Beispiel Lithium

Lithium ist eines der strategischen Metalle, das für Zukunftstechnologien essenziell ist. Dabei stehen vor allem die Elektromobilität sowie dezentrale Energiespeichersysteme im Blickpunkt des Interesses. Trotz eigener Vorkommen besteht für Deutschland 100%ige



Abb. 1: Die Sicherung der Rohstoffbasis im Zangengriff politisch-wirtschaftlicher und technisch-wissenschaftlicher Herausforderungen

Importabhängigkeit. Im Jahr 2013 wurden weltweit 35.000 t Li produziert, von denen 75 % auf Südamerika – vor allem auf Chile – entfallen, und 14 % auf China. Die offenbare Ungleichverteilung der Ressourcen birgt gerade in Hinblick auf die Energiewende enorme wirtschaftliche und politische Risiken, zumal die meisten denkbaren Recyclingstrategien noch nicht ausgereift sind.

Daher gewinnt der im Grenzgebiet D/CZ bei Zinnwald/Cínovec vorkommende lithiumhaltige Glimmer Zinnwaldit (mit 161 kt Li größte europäische mineralische Li-Lagerstätte) zunehmend an Bedeutung. Zugleich ist aber auch die Frage des Li-Recyclings aus sekundären Aufkommensquellen zu lösen. Handelsform für Lithium ist das Lithiumcarbonat, Li_2CO_3 , das im August 2015 zu einem Preis von 5.800 USD/t gehandelt wurde.

Beim heimischen Zinnwalditvorkommen, $\text{KLiFeAl}[(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$, hat man es mit einer Typlokalität zu tun, die von ihrer Struktur her als eisenhaltiger Lepidolith, $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3[(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}](\text{F},\text{OH})_2$, aufgefasst werden kann. Sein Eisengehalt ist aufgrund der Ausfällung von $\text{FeO}(\text{OH})$ sowie der Co-Präzipitation von LiOH im Zuge des Aufschlussvorgangs das Haupthindernis für eine wirtschaftlich akzeptable Lithiumgewinnung.

Technisch etablierte Verfahren zur Lithiumcarbonat-Erzeugung aus Spodumen oder Lepidolith sind auf Zinnwaldit nicht anwendbar. Das Lithiumerz muss im Vorfeld des schwefelsauren Aufschlusses bei 1.000 °C defluoriert werden. Dadurch ist das Verfahren nicht nur besonders energieintensiv; für die Zinnwaldit-Nutzung bedeutet dies auch sehr erhebliche Fluoremissionen. Ferner stehen einer direkten Praktikabilität klassischer Prozesse der prohibitiv hohe Verbrauch an Säure und Natronlauge sowie hohe Mengen nicht vermarktungsfähiger Nebenprodukte – wie Natriumsulfat oder Al-, Fe-Mischhydroxide – entgegen.

Die Lösung besteht in einem an unserem Institut von Grund auf neu konzipierten nasschemischen Verfahren. Entgegen allen bisher angewandten Prozessvarianten erfordert das Freiburger Verfahren keine über 120 °C hinausgehenden Temperaturen. Sein Neuheitswert besteht auch darin, dass es wirtschaftlich gewinnbringend auf Zinnwaldit angewandt werden kann, der neben den genannten Problemen auch noch den Nachteil relativ geringer Lithiumgehalte mit sich bringt. So ist der Li_2O -Gehalt dieses heimischen

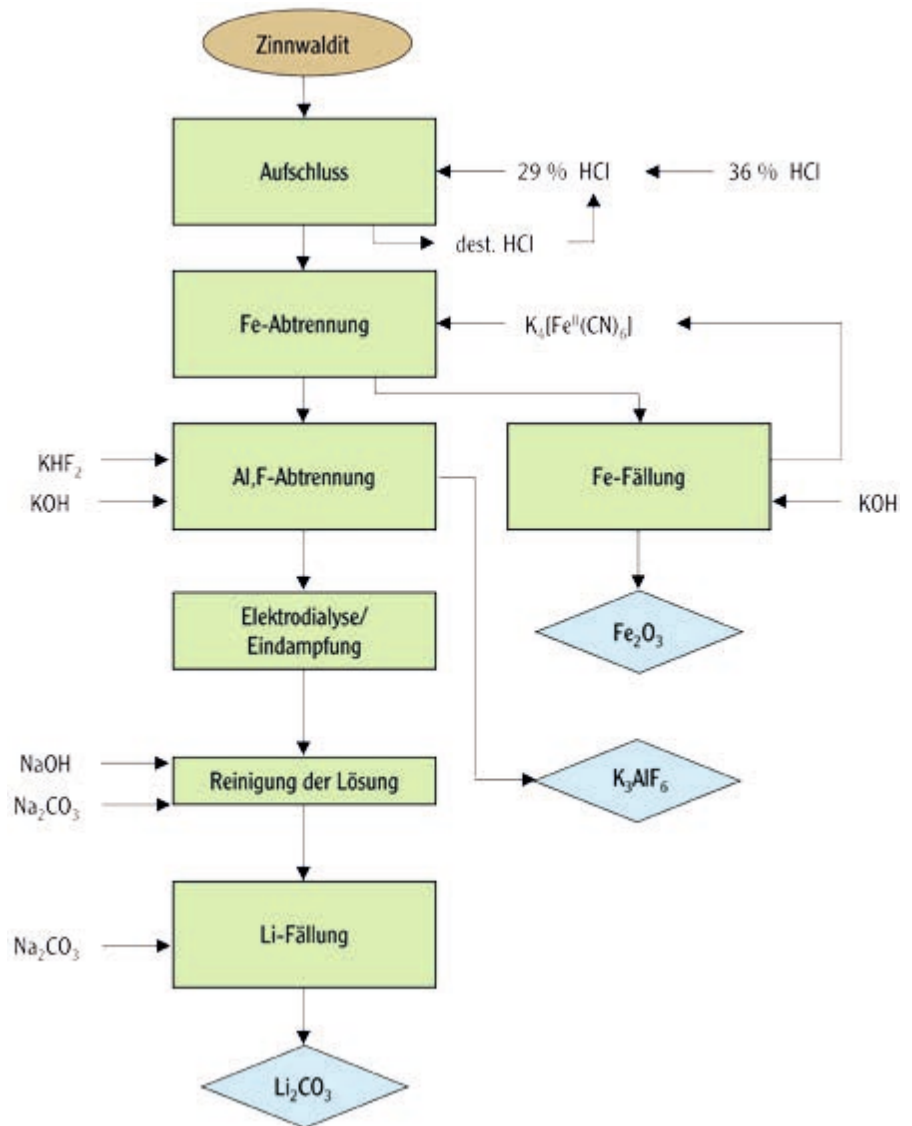


Abb. 2: Das Freiburger Verfahren zur Gewinnung von Lithiumcarbonat aus heimischem Zinnwaldit

Erzes mit durchschnittlich 3% nur etwa halb so hoch wie der in Spodumen (~6%). Der nasschemische Ansatz gestattet im Übrigen eine vollständige Gewinnung des Eisenanteils in Form von Hämatit, während Kalium, Aluminium und Fluor in Form von K-Kryolith gefällt werden. Auf diese Weise kann Li_2CO_3 auf klassischem Wege aus dem Aufschlussmedium gefällt werden – dank des ganzheitlichen Ansatzes zu gleichen Kosten, wie man sie von der Gewinnung aus Spodumen her kennt (Abb. 2). Durch eine effiziente Abtrennung während des Aufschlusses unverbraucher Salzsäure konnte zudem der Säurebedarf bei gleichbleibendem hohem Li-Laugungsgrad (> 95 %) auf ein Viertel gesenkt werden.

Sekundärrohstoffe – Beispiel Phosphatrecycling

Die Phosphatrückgewinnung aus Sekundärrohstoffen ist aus rohstoffpolitischer

Sicht für Deutschland unverzichtbar, stellt aber für die Abfallwirtschaft eine enorme technologische Herausforderung dar. Für die im Fokus der Aufmerksamkeit stehenden Klärschlammaschen (KSA) konnte bislang – wegen fehlender Wirtschaftlichkeit – keines der vorgeschlagenen Verfahren am Markt etabliert werden. Haupthürden sind hohe Kosten für Einsatzchemikalien wie Säuren und Fällungsmittel, fehlende Prozesssicherheit infolge Korrosion oder Zwangsanfall nicht marktgängiger Koppelprodukte (wie z. B. von Gips) beim schwefelsauren Aufschluss. Nicht zuletzt fehlen Optionen zur Verarbeitung schwermetallbelasteter KSA. Damit erscheint die Klärschlammaufbereitung auf lange Sicht als wirtschaftlich unattraktiv.

Bei der in Freiberg entwickelten PARFORCE-Technologie handelt es sich um ein vollintegriertes Zero-Waste-Verfahren, das für unterschiedliche phosphathaltige Sekundärrohstofftypen einsetzbar ist,

Lignocellulose-Bioraffinerie 2.0

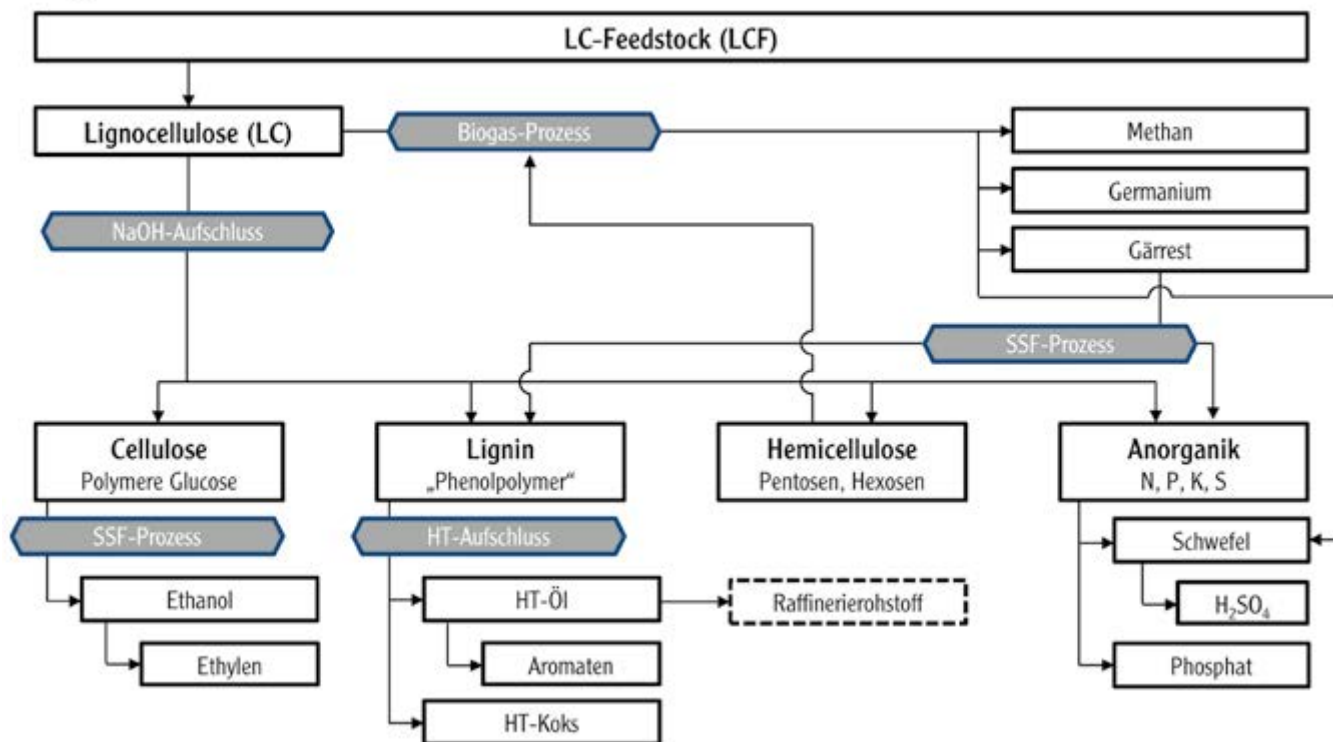


Abb. 3: Bioraffinerie 2.0 – im Gegensatz zu allgemeinen Praxis werden aus nachwachsenden Rohstoffen idealerweise Produkte der chemischen Grundstoffindustrie gewonnen. Auf diese Weise können Teilmengen an fossilen Rohstoffen substituiert und jeder Veredelungsgrad erreicht werden. Mit hochpreisigen, geringvolumigen Produkten von begrenzter Marktfähigkeit ist das nicht zu erreichen.

z. B. für Produktionsrückstände, Calciumphosphate, Knochenmehlaschen oder für Leuchtstoffe. Es führt – ohne Abfall zu hinterlassen – zu marktetablierten Produkten. Im Gegensatz zu allen anderen P-Recycling-Verfahren ist bei ihm der Chemikalieneinsatz auf ein Minimum begrenzt, worauf sich letztlich die Wirtschaftlichkeit des Ansatzes gründet. Der Schlüssel war die Entwicklung eines Verfahrensschrittes zur Kreislaufführung unverbrauchter Aufschlusslösung, womit die Notwendigkeit der Neutralisation hochpreisiger Säuren (160 ... 320 €/t) durch ebenfalls hochpreisige Natronlauge (360 €/t) entfällt. Es genügt ein Blick auf den Verkaufspreis einer Tonne Phosphorsäure (500 ... 540 €/t), um zu sehen, dass allein schon die Kosten für den Aufschluss und die Neutralisation den zu erwartenden Erlös übersteigen würden.

Die Produkte des PARFORCE-Verfahrens sind H_3PO_4 in zwei Qualitäten (*food-* und *feed-grade*), $AlCl_3$ und $FeCl_3$ zur Wasserbehandlung und $CaCO_3$, das als Füllstoff oder Pigment sowie für die Rauchgasentschwefelung eingesetzt werden kann.

Im Zuge des P-Recyclings findet eine Entphosphatierung der KSA statt. Die Schwermetalle verbleiben im silikatischen

Rückstand chemisch gebunden, der demzufolge völlig unbedenklich als Rohstoff für die Zementindustrie verwertet werden kann.

Die PARFORCE-Technologie wurde erfolgreich in den kg-Maßstab skaliert und soll im Rahmen einer Ausgründung aus der TU Bergakademie Freiberg zur Marktreife geführt werden.

Nachwachsende Rohstoffe – Beispiel Lignocellulose

Die Diskussion um die Nutzung von Biomasse beschränkt sich nur allzu oft auf die Themen Biogas und Bioethanol. Darüber hinausgehende Konzepte im Sinne einer ganzheitlichen Verwertung erstreben zumeist eine sehr hohe Veredelungsstufe, d. h. kleinstvolumige Märkte mit möglichst hohen Margen. Dabei ist eine Vielzahl von einschlägigen Problemen bislang ungelöst bzw. unbefriedigend gelöst. Es ist schwer zu vermitteln, welchen Vorteil das Vergären von Biomasse zur Bioethanolgewinnung hat, wenn im Nachgang der unter hohem energetischen Aufwand abgetrennte Lignin- und Hemicelluloseanteil verbrannt wird, um die dabei gewonnene Energie für die Isolierung des Ethanols zu nutzen. Die Frage, ob es da nicht ökologisch und energetisch

sinnvoller wäre, die Biomasse unverändert einer Verbrennung zuzuführen, bleibt typischerweise unbeantwortet bzw. wird in vielen Studien gar nicht erst behandelt.

Beim Thema Biogas kann die finale Entsorgung feinstteiler Gärreste die Ökobilanz einer Biogasanlage zunichtemachen. Weiterhin bleiben in nahezu allen Fällen anorganische Wertstoffe aus der Biomasse ungenutzt.

Der Geburtsfehler bei allen Konzepten zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Herstellung von Chemieprodukten – gemeinhin als „Bioraffinerie“ geläufig – liegt in der falschen Fokussierung auf hochpreisige Produkte bzw. Nischenmärkte: „In einer Bioraffinerie wird versucht, bestimmte hochwertige Verbindungen aus der Biomasse zu isolieren. Dabei wird die Synthese-Vorleistung der Natur genutzt, um entweder aufwändige künstliche Herstellungsprozesse zu ersetzen, oder um komplexe, nicht künstlich herstellbare Verbindungen zu gewinnen.“ [Quelle: Wikipedia]. Damit wird dem berechtigten und notwendigen Ansatz einer Nutzung nachwachsender Rohstoffe nichts Gutes getan. Eine Lösung kann im Fokussieren auf Produkte der chemischen Grundstoffindustrie liegen; wir sprechen auch hierbei von der „Bioraffinerie 2.0“ (Abb. 3).

In Abkehr vom Standard wird hier eine ganzheitliche Verwertung angestrebt. Am Institut für Technische Chemie wurden – teils in Zusammenarbeit mit Industriepartnern – Verfahren entwickelt, die genau dies ermöglichen.

Cellulose. Durch einen basischen Aufschluss wird Cellulose mit so hoher Rohproduktreinheit (> 95%) gewonnen, dass eine stoffliche Direktnutzung möglich ist. Die Verwandlung in Bioethanol gelingt über einen modifizierten SSF-Prozess (*simultaneous saccharification and fermentation* – simultane Verzuckerung und Vergärung), bei dem 13 Vol.-% Ethanol erzeugt werden. Aufgrund des geringen Marktpreises für Ethanol von derzeit ca. 320 €/t ist die Bioethanolerzeugung wirtschaftlich schlecht darstellbar. Sie wird jedoch zum Gewinnmodell, wenn der Alkohol direkt zu Ethylen (1.140 €/t) umgesetzt wird. Die höhere Stufe der Wertschöpfung beim Veredelungsprodukt Ethylen kann erreicht werden, wenn die Ethanolkonzentration im Fermentationsmedium 12–15% beträgt, so dass der Alkohol leicht und ohne weitere Aufkonzentrierung ausgetrieben und direkt über ein Katalysatorbett geführt werden kann, wobei Ethylen entsteht.

Lignin. Dieser polyaromatische Gerüstbaustein der Pflanzen lässt sich nur schwer wirtschaftlich verwerten. Günstiger liegen die Dinge bei einer Konversion in Aromaten. Werden aromatische Zielverbindungen angestrebt, wie sie ganz am Anfang der Wertschöpfungskette stehen, lassen sich diverse Folgeprodukte generieren. Durch das Freiburger Verfahren sind je nach Prozessparametern Phenol, Guajakol, Syringol oder Catechol direkt zugänglich. Die Restfraktion besitzt Rohölqualität und kann in etablierten Raffinerieprozessen eingesetzt werden. Auf diesem Wege lässt sich eine Teilsubstitution von Rohöl erreichen. Unter desoxygenierenden Prozessbedingungen wird eine hochwertige HTC-Kohle erhalten, deren Heizwert dem von Steinkohle entspricht.

Hemicellulose. Diese Biomassefraktion ist chemisch sehr inhomogen. Aufgrund guter Erfahrungen mit o.g. Ansatz wird unsererseits eine Verwertung in Biogasanlagen favorisiert. Das Problem der Beseitigung der feinstteiligen Gärreste wird über das BioRo-Verfahren gelöst, bei dem die Gärreste einer biotechnologischen Nachbehandlung unterzogen werden.

Anorganik. Die mineralischen Bestandteile der Pflanzen lassen sich ebenfalls nutzen. Nach einem am Institut entwickelten Verfahren werden eisenhaltige

Abfälle zusammen mit der Ammoniakfraktion aus Gärprozessen in nanopartikelartige Eisenoxidpartikel überführt, die wiederum in der Lage sind, SO₂ zu SO₃ zu oxidieren, so dass aus den Schwefelemissionen der Biogasanlagen Schwefelsäure generiert werden kann. Nach dem in Freiberg entwickelten PARFORCE-Verfahren lässt sich die Phosphatfraktion in Form von Phosphorsäure gewinnen, und nach dem Phytogerm-Prozess sogar auch Germanium. Offen ist z. B. die Frage eines Gewinnungsprozesses für Kalium; dieser ist Gegenstand laufender Arbeiten.

Zusammenfassung

Es lässt sich festhalten, dass die Chemie in idealer Weise prädestiniert ist, zur Sicherung der Rohstoffbasis der hiesigen Volkswirtschaft beizutragen. Wir haben verdeutlicht, dass die Nutzung von Primärrohstoffen ökologisch verträglich gestaltet werden kann, ohne Einbußen in der Wirtschaftlichkeit in Kauf nehmen zu müssen. Wie das Beispiel des Phosphatrecyclings zeigt, lassen sich die in Deutschland verfügbaren, zahlreichen Sekundärrohstoffe ökonomisch verwerten, womit die Stärke der Eingriffe in die Natur etwas gemildert werden kann.

Um den Einsatz fossiler Rohstoffe zu reduzieren, ist die Verwendung nachwachsender Rohstoffe ein Gebot der Stunde. Eine Voraussetzung für das Gelingen dieser Ansätze ist allerdings eine konsequente Beachtung des Primats der Wirtschaftlichkeit, ohne die jede noch so elegante Technologieentwicklung auf den Märkten nicht Fuß fassen können. Einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der Verfahren leisten die integrierte Prozessführung bzw. eine *Zero-Waste*-Konzeption.

Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Durchsetzbarkeit einschlägiger Konzepte ist die Akzeptanz der Marktgegebenheiten. Nicht das Recyclingverfahren entscheidet, welche Produkte auf den Markt gelangen, sondern die Markttabliertheit der Produkte bzw. die Vielfalt ihrer Veredelungspotenziale entscheiden über das einzusetzende Recyclingverfahren. Aus diesem Grunde ist – wie dargelegt – ein Recycling in Richtung Grundchemikalien ein zielführender Ansatz. Die Prozessökonomie nasschemischer Recyclingverfahren entscheidet sich häufig über die Möglichkeit der Säurerückgewinnung.

Moderne chemische Verfahren gestatten die Entwicklung leistungsfähiger Prozesse zur Wiederverwertung von

Sekundärrohstoffen bis hin zu Erzeugnissen von Primärproduktqualität.

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Projekte zur Lithium- und Germaniumgewinnung, dem BMBF sowie dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) für die Vorhaben zur Biomasseverwertung, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung der Arbeiten zur Gärrestbehandlung und zur Verwertung silikatischer Matrices und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung eines Großgerätes zur Echtzeit-Prozesskontrolle.

Literatur

- D. Huy, H. Andruleit, H.-G. Babies, H. Elsner, D. Homberg-Heumann, J. Meßner, S. Röhlings, M. Schauer, S. Schmidt, M. Schmitz, M. Szurli (2014) Bericht zur Rohstoffsituation in Deutschland 2013, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 14.12.2014
- D. Steffien, C. Roßberg, R. Kiehle, M. Bremer, S. Fischer, M. Bertau (2015) Direktsynthese von Bioethylen aus Weizenstroh. Chem. Ing. Tech. 87, in Publikation.
- L. Reichelt, M. Bertau (2015) Transformation of Nanostructured Schwertmannite and 2 Line-Ferrihydrite into Hematite. Z. Anorg. Allg. Chem. 641, 1696–1700.
- L. Reichelt, M. Bertau (2015) Production of Ferrihydrite and Schwertmannite Using a Microjet Mixer Device. Chem. Eng. Res. Des. 98, 70–80.
- C. Rossberg, D. Steffien, M. Bremer, S. König, F. Carvalheiro, L. Duarte, M. Bertau, S. Fischer (2014) Pulp properties resulting from different pretreatments of wheat straw and their influence on hydrolysis rate. Biores. Technol. 169, 206–212.
- D. Steffien, I. A. Aubel, M. Bertau (2014) Enzymatic hydrolysis of pre-treated lignocellulose with *Penicillium verrucosum* cellulases. J. Mol. Catal. B: Enzymatic 103, 29–35.
- H. Weigand, M. Bertau (2013) Von der Klärschlammmasche zum Phosphordünger: RecoPhos P38 im Spannungsfeld von Abfall-, Düngemittel- und Bodenschutzrecht. In: P. Kausch, M. Bertau, J. Gutzmer, J. Matschullat (Hrsg.), Strategische Rohstoffe – Risikovorsorge, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2013, S.183–198.
- M. Bertau, M. Katzberg, P. Fröhlich, A. Müller, Industrielle Anorganische Chemie, Wiley-VCH, Weinheim, 2013, ISBN 3-527-33019-5.
- H. Weigand, M. Bertau, W. Hübner, F. Bohn-dick, A. Bruckert (2013) RecoPhos: Full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Managem. 33, 540–544.
- V. G. Greb, P. Fröhlich, M. Bertau (2012) Phosphatrecycling - Zu einem Gebot der Stunde und dessen technischer Umsetzbarkeit. ACAMON-TA, 70–72.

Neue Wege in der Weißen Biotechnologie

Dirk Tischler¹, Michel Oelschlägel, Juliane Zimmerling, Michael Schlömann

Mikroorganismen sind in der Lage, zahlreiche Xenobiotika abzubauen. Dazu nutzen sie unter aeroben Bedingungen oft einleitend Oxygenasen. Durch diese kann molekularer Luftsauerstoff aktiviert und auf organische Moleküle, wie Phenol oder Naphthalen, übertragen werden. Danach können diese Verbindungen in den Metabolismus der Mikroorganismen eingeschleust und teils oder vollständig abgebaut werden. Am Beispiel des Styrols zeigen wir hier eine solche Abbauroute und wie man diese biotechnologisch nutzen kann, um interessante Verbindungen zu synthetisieren. Zielmoleküle der gesamten Enzymkaskade sind dabei diverse Phenyllessigsäuren.

Weiße Biotechnologie (*White Biotechnology*), Mikrobieller Styrolabbau (*microbial styrene degradation*), Enzymkaskade (*enzyme cascade*), Phenyllessigsäure (*phenylacetic acid*)

Styrol (Styren, Phenylethen) gehört zu den am meisten produzierten und umgesetzten Chemikalien. Es findet hauptsächlich Anwendung in der Polymersynthese. Neben anthropogener Freisetzung infolge seines industriellen Einsatzes als Material kommt Styrol auch natürlicherweise in Pflanzen oder in deren Zersetzungsprodukten vor. Somit kann man festhalten, dass Styrol ubiquitär vorhanden, aber laut zahlreicher Studien nicht persistent ist [1]. Es findet also immer ein Abbau statt. Bereits in den 1970er-Jahren wurden Mikroben mit der Fähigkeit zum Abbau von Styrol beschrieben. In den folgenden Jahren wurden mehr Details zum Styrolabbau bekannt. Verschiedene Bakterienarten aktivieren Styrol mit Hilfe von Dioxygenasen am aromatischen Ring und setzen es unspezifisch weiter über unterschiedliche Abbauwege des Ringes um. Es gibt jedoch auch einen Styrol-spezifischen Weg, der zum zentralen Metaboliten Phenyllessigsäure führt [1]. Diese kann dann weiter in Intermediate des Tricarbonsäurezyklus umgesetzt werden.

Nachfolgend werden die initialen Enzyme des spezifischen Abbauweges für Styrol näher beschrieben. Zugleich wird gezeigt, wie man diese im Zuge einer Kaskade von Reaktionsschritten zur Synthese

industriell relevanter Derivate der Phenyllessigsäure nutzen kann. Diese Verbindungen verkörpern wichtige Aroma- und Duftstoffe, Synthesebausteine bzw. schon selbst pharmakologisch wirksame Substanzen. Darüber hinaus ist auch die separate Nutzung der einzelnen Enzyme zur Synthese von relevanten Verbindungen möglich.

Enzyme des aeroben Styrolabbaus

Das erste Enzym der aeroben Kaskade ist die Styrol-Monooxygenase (SMO; EC 1.14.14.11) [1, 2]. Diese besteht aus zwei Einheiten, wobei die Reduktaseeinheit StyB reduziertes Flavin-Adenindinukleotid (FAD) unter Verbrauch von Nicotinamid-Adenindinukleotid (NADH) bereitstellt. Dieses wird mittels Diffusion auf die zweite Einheit StyA übertragen und durch ein radikalisches Intermediat molekularer Sauerstoff aktiviert sowie ein Peroxid-FAD-Intermediat erzeugt, das die Epoxidierung von Styrol erlaubt. Da die Bindungstasche des StyA in Kombination mit dem FAD-Intermediat eine chirale Einheit bildet, ist der Umsatz des Styrols enantioselektiv, und es wird hauptsächlich (S)-Styroloxid gebildet. Neben Styrol können auch zahlreiche seiner Derivate epoxidiert sowie aromatische Sulfide sulfoxidiert werden [2, 3]. Alle diese Reaktionen sind enantioselektiv. Diese Selektivität und das breite Substratspektrum machen SMO zu gefragten Katalysatoren in der chemischen Synthese. Kürzlich konnten wir zeigen, dass das Hilfsprotein StyB durch das chemische Reduktionsmittel 1-Benzyl-1,4-Dihydronicotinamid (BNAH) ersetzt und so FAD direkt an StyA reduziert werden kann [3]. Dies erlaubt viel höhere Umsatzraten und ermöglicht effizientere katalytische Prozesse in einem Maßstab von bis zu 100 mg.

Das gebildete Styroloxid kann dann von der Styroloxid-Isomerase (SOI; EC 5.3.99.7) intramolekular zu Phenylacetaldehyd isomerisiert werden [1, 4]. Das Enzym ist klein, unabhängig von Cofaktoren, äußerst stabil, hochaktiv und wegen seiner Membran-Struktur unter Anwendung spezieller, patentierter Verfahren leicht anzureichern. Alle diese Faktoren machen es zu einem besonders interessanten Biokatalysator. So kann man die SOI nutzen, um aus kostengünstigen racemischen

Epoxiden reine Phenylacetaldehyde zu generieren. Diese sind wiederum wichtige Bausteine für Pharmaka sowie selbst auch Aroma- und Duftstoffe [5, 6]. So konnte in einem wässrigen System mit der SOI aus *Rhodococcus opacus* 1CP ein Produkt-titer von fast 10 g l⁻¹ generiert werden (entspricht ca. 75% Ausbeute). Im Zuge dieser Untersuchungen wurde die SOI auch auf feste Träger aufgebracht und gebunden [5]. Diese Immobilisierung ermöglicht eine bessere Abtrennung des Biokatalysators vom Reaktionsmedium und stabilisiert das Enzym in Gegenwart von organischen Phasen. Für die SOI etablierten wir erstmals ein biotechnologisches Zweiphasen-System aus einem Puffer und dem nicht-toxischen Phthalat-ähnlichen 1,2-Cyclohexan-Dicarboxylsäurediisonylester (Hexamol DINCH). Hierzu war es besonders wichtig, eine umweltverträgliche und nicht-toxische organische Phase auszuwählen. Und dies ist mit dem Hexamol DINCH gelungen, da diese Verbindung z. B. als nicht-toxischer Weichmacher in Kinderspielzeug verwendet wird und sich daher auch besonders für unsere Anwendung in der Aromastoffsynthese eignet.

Den letzten Schritt der Styrolabbau-Kaskade katalysiert die Phenylacetaldehyd-Dehydrogenase (PAD; EC 1.2.1.39) [7]. Hier wird der Aldehyd in einer nicht-reversiblen Reaktion unter Reduktion von NAD zu NADH umgesetzt. Dabei wird Wasser verbraucht und Phenyllessigsäure gebildet. Diese Klasse von Enzymen besitzt zwei Domänen. Eine ist für die Bindung und Umsetzung des Co-Substrats NAD notwendig und bei allen Dehydrogenasen konserviert; die zweite ist für die eigentliche Substratbindung und -umsetzung nötig. Ihre Faltung ist höchst spezifisch, wodurch auch das Substratspektrum der PAD eingeschränkt wird. Dies erlaubt somit nur die Umsetzung Phenylacetaldehyd-analoger Verbindungen. Der detaillierte Wirkmechanismus dieser Enzyme ist noch nicht aufgeklärt. Wir versuchen im Rahmen detaillierter Studien zu verschiedenen PAD Licht in dieses Dunkel zu bringen.

Funktionelle Annotation von Biokatalysatoren

Dank der oben aufgeführten, bereits charakterisierten Enzyme können wir nun

¹ AG Umweltmikrobiologie, Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum (IÖZ), TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Str. 29, Freiberg; Tel. 03731-39-4153, Fax 03731-39-3012, Dirk-Tischler@email.de

eine Verbindung zwischen der Funktion und der ihr zugrunde liegenden genetischen Information herstellen. Dies erlaubt es zukünftig, über Sequenzdaten geeignete Enzyme und damit Biokatalysatoren bzw. sogar ganze Prozesskaskaden zu identifizieren und deren Eigenschaften vorherzusagen. Dies haben wir bisher speziell bei SMO und SOI genutzt und so schon zahlreiche neue Biokatalysatoren gewonnen. Zu den in diesem Zusammenhang untersuchten Bakterienstämmen gehören u. a. *Rhodococcus opacus* 1CP, *Gordonia rubripertincta* CWB2 oder *Sphingopyxis fribergensis* Kp5.2. Derzeit werden diejenigen Vertreter, die sich am besten für eine synthetische Route eignen, detailliert untersucht. In erster Linie werden diese Untersuchungen auf der Basis von Ganzzell-Systemen durchgeführt.

Produktion von Phenylessigsäuren über eine Enzymkaskade

Styrol kann unter Einwirkung der o.g. Enzyme zu Phenylessigsäure umgesetzt werden [1, 8]. Die dabei ablaufende natürliche Kaskade enzymkatalysierter Schritte wird „oberer Styrolabbauweg“ genannt. Die entstandene Phenylessigsäure wird normalerweise weiter metabolisiert. Die Kaskade ist unabhängig von zusätzlichen Cofaktoren (Abb. 1), da der NADH-Verbrauch durch die SMO infolge der NADH-Bildung der PAD kompensiert wird. Die SOI benötigt, wie bereits erwähnt, keine Cofaktoren. Jüngst konnten wir zeigen, dass über den „oberen Styrolabbauweg“ auch substituierte Styrole umgesetzt werden, aber nur bis zur Stufe der Phenylessigsäure-Derivate [8]. Um dieses System aktiv zu halten, bedarf es lediglich einer kleinen, regelmäßigen Zugabe von Styrol für den Unterhalt des normalen Zellstoffwechsels. Dies eröffnet uns zahlreiche Möglichkeiten. So wurden einige Bakterienstämme (z. B. *Gordonia rubripertincta* CWB2, *Pseudomonas fluorescens* ST, *Rhodococcus opacus* 1CP, *Sphingopyxis fribergensis* Kp5.2) mit dieser Kaskade in Bezug auf den erzielbaren Umsatz substituiertes Styrole (u. a. halogenierter Styrole, 4-Isobutyl- α -Methylstyrol) getestet. So wächst zum Beispiel *Pseudomonas fluorescens* ST sehr gut auf Styrol, und man kann dadurch viel Biomasse und damit reichlich Ganzzellbiokatalysatoren gewinnen. Anschließend Tests haben gezeigt, dass mit diesem Stamm eine Vielzahl von substituierten Phenylessigsäure-Derivaten synthetisierbar ist. Diese Produkte werden nachfolgend im Medium angereichert, was

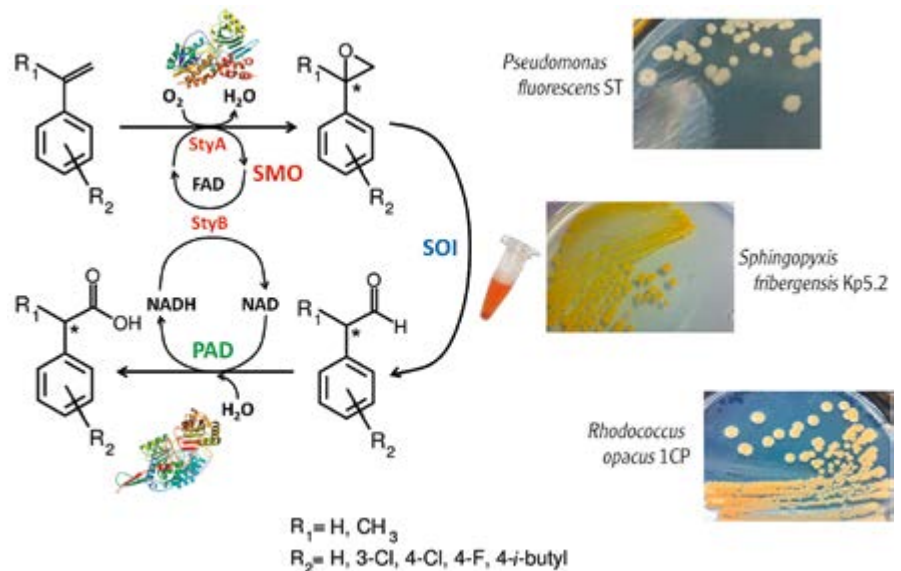


Abb. 1: Bakterien mit einem funktionellen Styrolabbauweg, wie *Rhodococcus opacus* 1CP und *Sphingopyxis fribergensis* Kp5.2, metabolisieren Styrol über Styroloxid und Phenylacetaldehyd zu Phenylessigsäure, die dann weiter abgebaut werden kann. Daran sind die Enzyme Styrol-Monooxygenase (SMO), Styroloxid-Isomerase (SOI) und Phenylacetaldehyd-Dehydrogenase (PAD) beteiligt. Durch eine geeignete Substitution an Position R1 und/oder R2 werden die gebildeten Metabolite bzw. Phenylessigsäuren nicht weiter oder lediglich in nur geringem Umfang weiter verstoffwechselt, wodurch sie sich im Medium anreichern und von dort abgetrennt werden können.

im Anschluss daran eine einfache Produktextraktion ermöglicht. Exemplarisch war es so möglich, über 350 Tage hinweg die Biotransformation von 4-Chlorstyrol mit Stamm ST durchzuführen und so einen Produkttitert von 4.7 g l^{-1} (87 % Ausbeute) zu erzeugen. Auch der Stamm *Gordonia rubripertincta* CWB2 transformiert einige Styrole, wobei er als einziger nennenswerte Umsätze von 4-Isobutyl- α -Methylstyrol bewirkt. Das erhaltene Produkt 4-Isobutyl- α -Methylphenylessigsäure, das unter dem Namen Ibuprofen besser bekannt ist, konnte so erstmals auf diese Weise dargestellt werden. Hier ist noch bemerkenswert, dass der Stamm CWB2 kein SOI-ähnliches Gen besitzt. Wir vermuten deshalb die Existenz eines alternativen, neuen Abbaupfades, den es jetzt aufzuklären gilt.

Zusammenfassung

Auf Basis der hier präsentierten Erkenntnisse ist es möglich, die Gene und damit die Enzymaktivitäten von „Styrolabbauern“ vorherzusagen. Diese Erkenntnisse können nun gezielt genutzt werden, um durch biotechnologische Verfahren Styrole in pharmakologisch relevante Phenylessigsäuren umzusetzen, u. a. auch zur Synthese von Ibuprofen. In zukünftigen Studien möchten wir diese Abbaupfade weiter in Bezug auf eine Steigerung der Produktivität optimieren. Zudem möchten wir das Prinzip der Identifizierung von

Biokatalysatoren weiter verfeinern, um noch weitere Syntheserouten für industriell relevante Verbindungen zu erschließen, wie beispielweise für Metallophore.

Danksagung: Wir bedanken uns bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung von Promotionsstipendien, durch welche die Untersuchung von Enzymen und deren Anwendung auf die hier gezeigte Weise ermöglicht wurde. Zudem danken wir dem Verein der Praxispartner des IÖZ der TU Bergakademie Freiberg für die Förderung des Sequenzierungsprojekts zu Stamm 1CP.

Literatur

- 1 D. Tischler, S.R. Kaschabek (2012) In *Microbial Degradation of Xenobiotics*, Ed. by S.N. Singh, Springer, Berlin Heidelberg.
- 2 S. Montersino, D. Tischler, G.T. Gassner, W.J.H. van Berkel (2011) *Adv. Synth. Catal.* 353:2301-2319.
- 3 C.E. Paul, D. Tischler, A. Riedel, T. Heine, N. Itoh, F. Hollmann (2015) *ACS Catal.* 5:2961-2965.
- 4 M. Oelschlägel, J.A.D. Gröning, D. Tischler, S.R. Kaschabek, M. Schlömann (2012) *Appl. Environ. Microbiol.* 78:4330-4337.
- 5 M. Oelschlägel, A. Riedel, A. Zniszczoł, K. Szymańska, A.B. Jarzębski, M. Schlömann, D. Tischler (2014) *J. Biotech.* 174:7-13.
- 6 M. Oelschlägel, J. Zimmerling, M. Schlömann, D. Tischler (2014) *Microbiology* 160:2481-2491.
- 7 A. Ferrández, M.A. Prieto, J.L. García, E. Díaz (1997) *FEBS Lett.* 406:23-27.
- 8 M. Oelschlägel, S.R. Kaschabek, J. Zimmerling, M. Schlömann, D. Tischler (2015) *Bio-technol. Rep.* 6:20-26.

Wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser

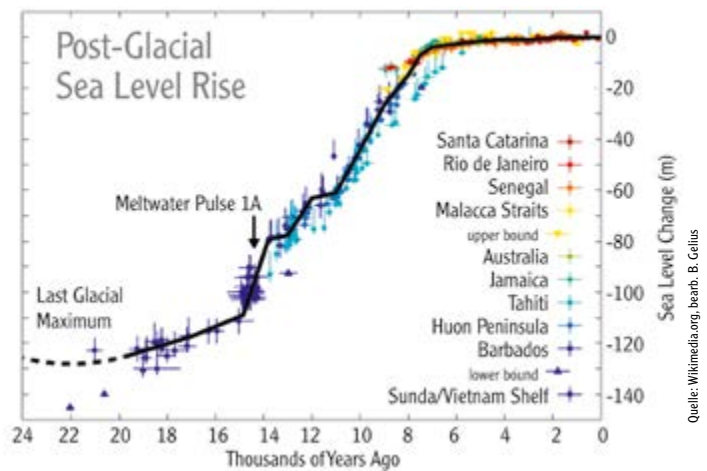
Broder Merkel

Einleitung

Etwa 71 % der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt. Somit stehen nur 29 % dieser Fläche für direkte Untersuchungen durch Wissenschaftler zur Verfügung. Das können Beobachtungen, Messungen und Probenahmen sein. Insbesondere Geowissenschaftler sind aber auch an Prozessen und Daten von unterhalb der Erdoberfläche interessiert. Daher sind in vielen Fällen Grabungen und Bohrarbeiten oder die Anwendung nicht-invasiver geophysikalischer Methoden notwendig. Zugänge in den Untergrund bieten auch Tunnelbauten und Bergwerke. In zunehmendem Maße wird die Erdoberfläche auch durch Methoden der Fernerkundung von fliegenden Plattformen (Flugzeugen und Satelliten) aus untersucht. Nur sehr selten setzt man bislang Roboter zur Erkundung der terrestrischen Oberfläche ein, wie im Falle massiver radioaktiver Kontaminationen (z. B. Fukushima). Insbesondere in Gebieten mit extremem Klima und in Hochgebirgsregionen erfordert das wissenschaftliche Arbeiten im Gelände eine besondere körperliche Fitness, spezielle auf das Klima abgestimmte Kleidung und ggf. auch die Kenntnis bestimmter Techniken, wie z. B. der des Abseilens an einer senkrechten Felswand.

Demgegenüber ist es in den 71 % der globalen Oberfläche, die durch Ozeane bedeckt sind, für Wissenschaftler wesentlich schwieriger, Untersuchungen, Beobachtungen und Probenahmen durchzuführen. Überwiegend sind die Wasserflächen Ozeane und somit durch das Vorherrschen von Salzwasser gekennzeichnet. Zu den Wasserflächen gehören aber auch die der Flüsse, Seen und Talsperren. In jedem Fall ist ein einfacher und direkter Zugang zu ihnen nicht gewährleistet. Als Folge dessen sind weder die Morphologie des Meeresbodens noch – in Konsequenz dessen – die Menge des in den Meeren vorhandenen Wassers wirklich genau bekannt. Satellitenmessungen bieten auch hier neue Möglichkeiten; aber sie erkennen nur die Auswirkungen von Gebirgen auf das Schwerfeld der Erde und damit auch auf die Meeresoberfläche und ermöglichen daher nur Abschätzungen der Meerestiefen. Nur geophysikalische Methoden – wie schiffsbasierte Sonarmessungen – sichern eine ausreichend

Abb. 1: Anstieg des Meeresspiegels nach der letzten Eiszeit



hohe Präzision; doch zurzeit sind erst ca. zehn Prozent des Meeresgrunds auf diese Weise kartografisch vermessen worden [Charette & Smith 2010].

Neben geophysikalischen Methoden können bemannte Unterwasserfahrzeuge und Roboter zum Einsatz kommen. Für geringe Wassertiefen bis ca. 40 m besteht aber auch die Möglichkeit, als tauchender Wissenschaftler unter Wasser zu arbeiten, also zu beobachten, zu messen, zu vermessen, zu dokumentieren und Proben zu entnehmen. Damit steht zumindest ein Teil der flachen Weltmeere für direkte Untersuchungen durch tauchende Fachleute zu Verfügung – nämlich jener Teil, der in den letzten 10.000 Jahren (Holozän) nach der letzten Eiszeit im Gefolge der Klimaerwärmung überflutet worden ist. Diese Bereiche sind u. a. auch für die Archäologie interessant, denn durch den Anstieg der Ozeane um ca. 140 m (siehe Abb. 1) sind viele menschliche Siedlungen aus der Steinzeit bis hin zu solchen aus der Bronzezeit überflutet worden, die somit nur noch unter Wasser untersucht werden können.

Aber auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen wie der Biologie, der Hydrochemie und Hydrogeologie oder bei der Erkundung von Karst- und vulkanischen Systemen spielen die oberflächennahen Bereiche von Gewässern eine bedeutende Rolle. Die weiteren Ausführungen sind daher diesem, für tauchende Wissenschaftler zugänglichen Bereich gewidmet. Das Tauchen ist eine kostengünstige Alternative zum Einsatz von Robotern. Dass große Teile der Weltmeere und anderer Wasserkörper, die in tieferen Bereichen

liegen, so nicht erforscht werden können, ist unbestritten.

Voraussetzungen für wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser

Voraussetzungen für wissenschaftliches Arbeiten unter Wasser im Bereich weniger -zig Meter ist in fast allen Fällen die Fähigkeit, mit einem Atemgerät zu tauchen. Nur in sehr speziellen Fällen ist es denkbar, dass ein Wissenschaftler als Apnoe-Taucher unter Wasser agiert. In der Regel wird mit Pressluft getaucht, in zunehmendem Maße aber auch mit Nitrox, also Pressluft, die mit Sauerstoff angereichert ist. Nur bei größeren Tiefen und längeren Arbeitszeiten unter Wasser können in speziellen Fällen Gemische aus drei Gasen (Trimix) zur Anwendung kommen. Unter bestimmten Bedingungen kann es auch sinnvoll sein, mit Kreislaufgeräten zu tauchen, bei denen die ausgeatmete Luft nicht ins Wasser abgegeben wird, sondern über eine Gasaufbereitungseinheit wiederverwendet wird.

Auch hinsichtlich der Taucheranzüge gibt es große Unterschiede, die sich vor allem nach der Temperatur des Wassers richten, in dem gearbeitet wird. Ab einer gewissen Wassertemperatur sind Trockentauchanzüge unabdingbar, um eine zu starke Auskühlung des Körpers zu verhindern. In vielen Fällen kann mit einer normalen Maske und einem Mundstück getaucht werden; aber es gibt auch Situationen, in denen eine Vollgesichtsmaske notwendig oder ratsam ist. Dies ist z. B. der Fall, wenn eine Sprachkommunikation unter Wasser gewünscht und von Vorteil ist, denn ultraschallbasierte

Sprecheinrichtungen sind nur über eine Vollgesichtsmaske technisch realisierbar.

Abhängig davon, mit welchen technischen Hilfsmitteln getaucht werden soll, müssen die beteiligten Wissenschaftler über eine entsprechende Kenntnis zum Umgang mit diesen Methoden verfügen, die in der Regel durch eine entsprechende Ausbildung vermittelt wird.

Eine Ausbildung kann in Deutschland grundsätzlich auf zwei gesetzlichen Grundlagen basierend erfolgen: nach dem Berufsbildungsgesetz (duale Ausbildung) oder dem Hochschulrahmengesetz. Nach den Vorgaben des Berufsbildungsgesetzes werden zum Beispiel Polizeitaucher, aber auch sog. Forschungstaucher an verschiedenen Schulungseinrichtungen in Deutschland ausgebildet. An der TU Bergakademie Freiberg geschieht das nach den Vorgaben des Hochschulrahmengesetzes. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Studenten bereits Grundkenntnisse im Gerätetauchen mitbringen und dies in der Regel mit einem 2-Stern-Tauchbrevet gemäß VDST (Verband deutscher Sporttaucher) oder ein internationales Äquivalent nachweisen können. Zudem müssen sie eine ärztliche Bescheinigung über ihre körperliche Eignung zum Tauchen vorlegen. Auf dieser Basis absolvieren sie dann in Theorie und Praxis eine Ausbildung zum wissenschaftlichen Taucher in zwei Modulen zu jeweils vier ECTS- (European Credit Transfer System)-Punkten. Am Ende der Ausbildung steht das Brevet zum CMAS Scientific Diver (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques). Dieses internationale und weltweit anerkannte Brevet erlaubt es dem erfolgreichen Absolventen, sich überall auf der Welt an wissenschaftlichen Unterwasserforschungsprojekten zu beteiligen.

Ausbildung an der TU Bergakademie Freiberg

Die Ausbildung zum geprüften wissenschaftlichen Taucher wird an der Bergakademie durch das Scientific Diving Center (SDC Freiberg) als Bestandteil des Studium Generale – organisiert. Sie ist nur durch Lehraufträge, ein hohes Pensum an ehrenamtlicher Tätigkeit und kraft regen Engagements von Mitarbeitern und Studenten der TU Bergakademie möglich. Das erste Modul (Wissenschaftliches Tauchen I) beinhaltet eine Vorlesung sowie praktische Ausbildung im Schwimmbad und im Freiwasser. Zu den praktischen Ausbildungsgegenständen gehören die Kommunikation unter Wasser, das

Kartieren von Transepten und Flächen, die Photo- und Videodokumentation, die Messung von Feldparametern (Strömung, Temperaturen und Wärmefluss, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und weiterer Parameter zur Charakterisierung von Wasser), die Probennahme von Gas- und Wasseraustritten, das Entnehmen von Pflanzen-, Tier- und Mikroorganismenproben, die Entnahme von Sediment- und Gesteinsproben). Archäologische Techniken können in Freiberg zurzeit leider noch nicht vermittelt werden. Die Ausbildung umfasst auch den Unterwassertransport von Ausrüstung, die mehr als drei Kilogramm wiegt. Dazu muss erlernt werden, den Abtrieb unter Wasser mittels eines Hebesacks zu kompensieren. Zur Ausbildung gehören auch Maßnahmen, die mit der Entgasung von Proben beim Aufstieg aus der Arbeitstiefe an die Wasseroberfläche zu tun haben.

Das zweite Modul umfasst eine 14-tägige Forschungsexpedition, in der jeder erfolgreiche Absolvent seine Fähigkeiten, unter Wasser wissenschaftlich zu arbeiten, unter Beweis stellt. Dazu gehören eine sorgfältige Planung jedes einzelnen Tauchgangs, die sichere Durchführung der geplanten Aktivitäten unter Wasser – jeweils in Abwägung des Risikos für den Taucher selbst, für seinen Partner sowie für die Gruppe als Ganzes und die kritische Bewertung des Resultats nach dem Tauchgang einschließlich wichtiger Schlussfolgerungen für weitere Einsätze (lessons learned). In vielen Fällen ist das zweite Modul die Basis für eine

erfolgreiche Bachelor-, Master- oder Diplomarbeit. Seit 2006 findet das zweite Modul der Ausbildung zum Scientific Diver an der TU Bergakademie Freiberg auf der italienischen Vulkaninsel Panarea statt, weil hier hervorragende Bedingungen und Herausforderungen anzutreffen sind: gute und somit nicht allzu schwierige Bedingungen im Hinblick auf Wassertemperatur, Sichtweiten und Strömungsbedingungen. Zudem ist Panarea ein in Europa einzigartiger Ort mit extrem zahlreichen submarinen Gas- und Thermalwasseraustritten, extremophilen Mikroorganismen, extremen Wärmeflüssen und einer an diese Verhältnisse adaptierten Unterwasserfauna und -flora. Im Hinblick auf den Einfluss der steigenden CO₂-Gehalte in der Atmosphäre auf die Gewässer ist Panarea ein natürliches Analogon, denn die austretenden Gase bestehen überwiegend aus CO₂.

Beispiel: Submariner Vulkanismus

Seit 2006 forschen Wissenschaftler aus verschiedenen Instituten und Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg im Bereich des submarinen Vulkans Panarea in Italien. Panarea ist Teil des Äolischen Inselbogens nördlich von Sizilien mit den bekannten Vulkanen Stromboli und Vulcano (dem Namensgeber für alle Vulkane der Welt). Zu dem Inselbogen, der durch die Kollision der Afrikanischen mit der Eurasischen Platte geschaffen wurde und wird, gehören auch die aktiven submarinen Vulkane Palinuro und Marsili (siehe Abb. 2).

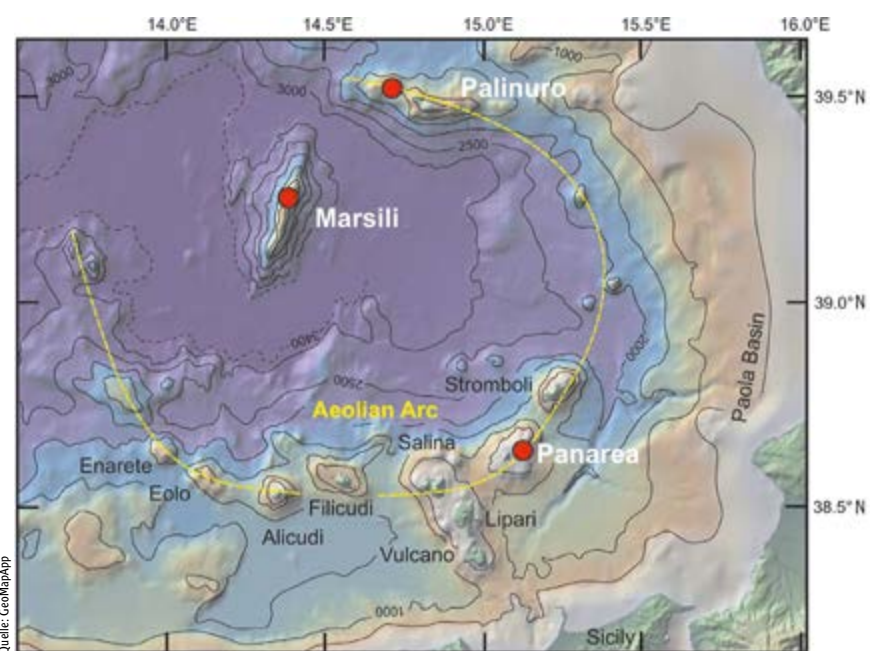


Abb. 2: Karte des Äolischen Inselbogens mit Panarea und den beiden submarinen Vulkanen Palinuro und Marsili. Die Isolinien markieren die Wassertiefen in Metern unter NN.

Palinuros Spitze liegt nur 100 m unter dem Meeresspiegel und Marsili ist der mit Abstand größte submarine Vulkan Europas. Beide haben durchaus das Potenzial, einen großen Tsunami im Mittelmeer auszulösen. Panarea nimmt eine Mittelstellung ein: Es ist wie Vulcano und Stromboli einerseits eine Insel und ebenfalls noch vulkanisch aktiv, aber die vulkanischen Aktivitäten sind – wie im Falle von Palinuro und Marsili – nur submarin lokalisiert. Dabei sind die von Panarea auf Fluidemissionen (Gas und Thermalwässer) beschränkt. Die letzten aktiven Ausbrüche mit Lava und Tuffen sind auf die Zeit vor ca. 8.700 Jahren datiert [Fabris et al. 2010]. Seitdem ist Panarea vor allem durch Austritte von hydrothermalen, heißen Wässern und Gasen charakterisiert.

Im Gegensatz zu einem Vulkan mit terrestrischen Fluidaustritten lassen sich bei submarinen Gasastritten die einzelnen Austrittspunkte viel besser lokalisieren und quantifizieren – vorausgesetzt, tauchenden Wissenschaftlern gelingt es, solche Untersuchungen vorzunehmen. Das austretende Gas kann durch einen Trichter und eine einfache Gas-Wasser-Separation aufgefangen und anschließend analysiert werden. Die Zusammensetzung der austretenden Gase ist im Wesentlichen von CO_2 (95–99 Vol.%) und H_2S (1–5 Vol.%) dominiert. Spurengase wie HCl , SO_2 und HF können neben CO_2 mit der Giggenbachmethode (*Trapping in NaOH*) bestimmt werden (Abb. 5), organische Spurengase wie Methan und andere Alkane gaschromatographisch; für metallorganische Verbindungen – wie z. B. methylierte Arsenverbindungen – wird das vulkanische Gas mittels NaOCl getrappt [Merkel et al 2011].

Im Rahmen der seit 2006 laufenden Forschungsarbeiten wurde vom SDC der TU Bergakademie u. a. ein Gerät zur online-Erfassung der CO_2 - und H_2S -Konzentrationen konzipiert, gebaut und erfolgreich getestet [Schipek et al. 2011]. Ferner wurden ein System zur online-Quantifizierung der starken submarinen Gasastritte (FSVG= *Flow meter for submarine volcanic gas emissions*, Abb. 6) über mehrere Entwicklungsstufen hinweg konzipiert [Bauer et al 2013, Schipek et al. 2013] sowie Messgeräte zur Erfassung von Temperaturprofilen und des Wärmestroms (sowohl Konduktion als auch Konvektion) am Meeresboden entwickelt (Abb. 7), erfolgreich eingesetzt und kontinuierlich weiterentwickelt [Müller 2011].

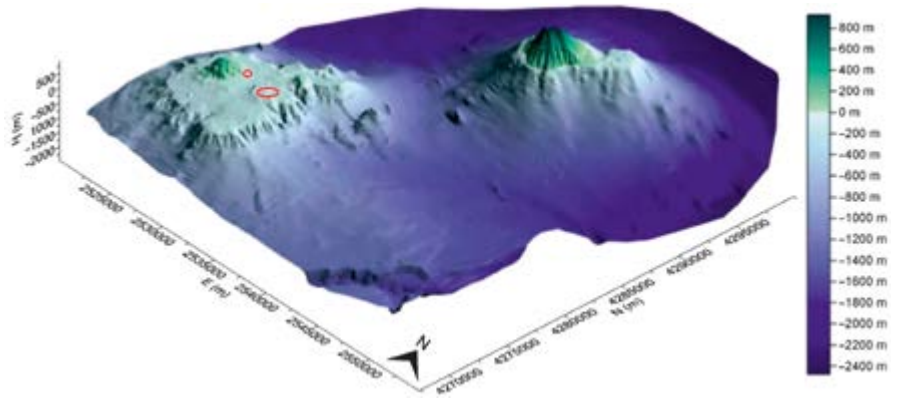


Abb. 3: 3d-Höhenmodell und Bathymetrie von Panarea (links) und Stromboli (rechts). Nur die grünen Bereiche bilden jeweils die Teile der vulkanischen Erhebungen ab, die über dem Meeresspiegel liegen. Die Tauchgebiete mit den submarinen Austritten sind rot markiert [verändert nach Fabris et al. 2010].

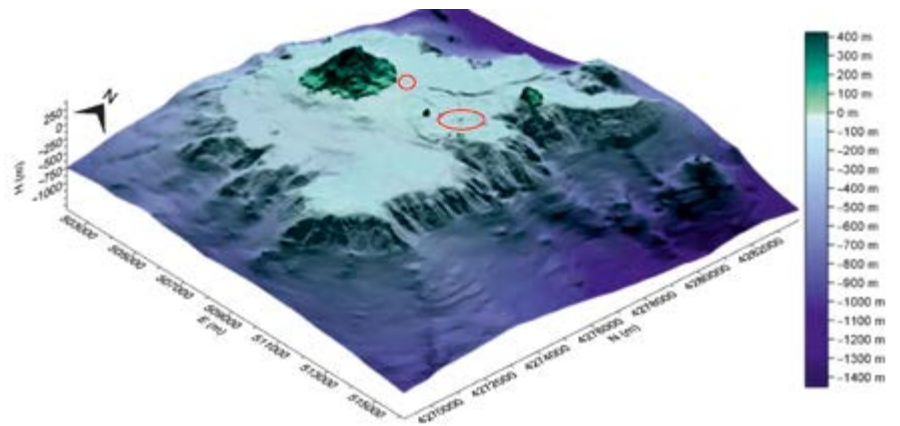


Abb. 4: 3d-Höhenmodell und Bathymetrie von Panarea. Die Tauchgebiete mit den submarinen Austritten sind rot markiert [verändert nach Fabris et al. 2010].



Abb. 5: Gasprobenahme unter Wasser nach der Giggenbach-Methode

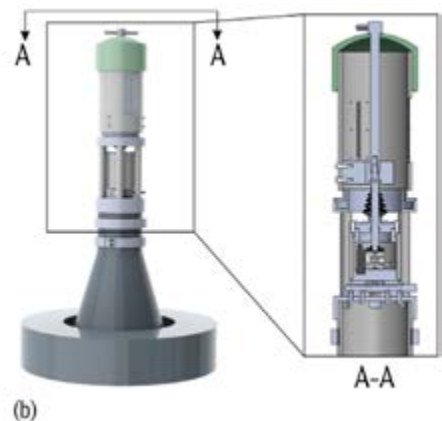


Abb. 6: (a) FSVG 2.0 im Einsatz, (b) Prinzipskizze FSVG 3.0 [Bauer et al. 2013]

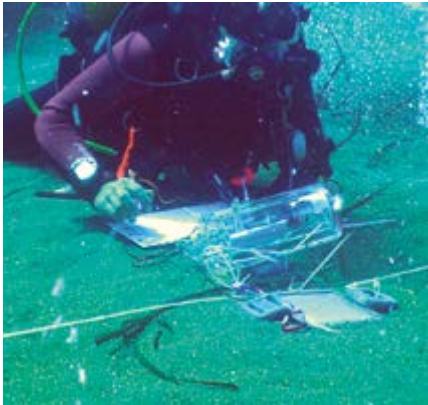


Abb. 7: Wärmestrommessung mittels Wärmeflussplatte

Beispiel: Totes Meer

Die Oberfläche des Toten Meeres ist mit -430 m das am tiefsten gelegene Teilareal der Erdoberfläche. Das Wasser des Toten Meeres hat einen ca. 10-mal höheren Salzgehalt als das der Ozeane (siehe Tabelle 1), da es sich bei ihm um einen Endsee handelt, der nur Zuflüsse, aber keinen Abfluss besitzt.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der Mg-Na-Cl-Sole des Toten Meeres (TDS = Total dissolved solids = Gesamtmasse gelöster Feststoffe)

Kationen in g/kg	Anionen in g/kg
Mg ²⁺ : 351	Cl ⁻ : 180
Ca ²⁺ : 14	SO ₄ ²⁻ : 0,4
Na ⁺ : 33	Br ⁻ : 4
K ⁺ : 6	HCO ₃ ⁻ : 0,2
pH: 5,3 bis 6,0	
Salzgehalt: bis 33 % (Mittelwert 28 %)	TDS 276 g/kg
Mittelmeer: 3,8 %	Dichte: 1,24 kg/L

Durch die Verdunstung von Wasser kommt es in solchen Endseen zu einer ständigen Anreicherung der Salzkonzentration; schließlich entstehen Salzseen bzw. Salzkrusten, die aber im Porenraum immer noch hochkonzentrierte Solen enthalten. Beispiele hierfür sind der Salar de Atacama in Chile oder der Salar de Uyuni in Bolivien, um nur zwei besonders große Salzseen dieser Erde zu erwähnen. Auch das Tote Meer wird am Ende seiner Geschichte eine solche Salzpfanne sein. Allerdings beteiligt sich der Mensch zzt. in maßgeblicher Weise daran, diesen Prozess zu beschleunigen, indem er durch massive Eingriffe die natürlichen oberirdischen und unterirdischen Zuflüsse nachhaltig verändert.

Der markanteste dieser Eingriffe ist die Entnahme großer Wassermengen aus dem See Genezareth durch den sog. „National Carrier“ und die Ableitung dieses Wassers bis in die Wüste Negev, um damit

große Projekte der künstlichen Bewässerung von Anbauflächen zur Produktion von Lebensmitteln zu betreiben (Abb. 8). Damit fließt aus dem See Genezareth nur noch ein Bruchteil in den Jordan, der die Grenze zwischen Israel und Jordanien bzw. Palästina und Jordanien bildet. Auf jordanischer Seite wird das Wasser des Yarmouk, des größten Nebenflusses des Jordan, sowie das des Zarqa-Flusses in den King-Abdullah-Kanal eingeleitet und für Bewässerungsprojekte im Jordangraben genutzt. Auch die hierbei abgezweigte Wassermenge fließt nicht mehr in das Tote Meer. In Summe fließen statt 10⁶ × 1500 m³/a nur noch 10⁶ × 100 m³/a oberirdisch in dieses Meer.

Als Konsequenz dessen ist der Seewasserspiegel in den letzten 50 Jahren im Mittel um einen Meter pro Jahr gesunken. Das hat signifikante Folgen für die Grundwasser im Bereich der gesamten Region: Oberflächennahe Grundwasserspiegel sinken, wenn der Seespiegel sinkt, und durchströmen nun tiefere, salzhaltige Schichten und laugen diese aus. Wenn die so entstandenen Hohlräume zu groß werden, brechen sie zusammen, und es kommt an der Oberfläche zu Tagesbrüchen, also zur Bildung von teilweise bis zu hundert Meter großen und mehrere zig Meter tiefen Einsturzdolinen. Darüber hinaus gibt es in der Region tiefe, gespannte Grundwasserleiter. Die Druckentlastung durch das schnelle Absinken des Wasserspiegels bewirkt, dass das Grundwasser aus diesen Leitern in das Tote Meer entlang der Transformstörungszone aufsteigt. Sowohl die oberflächennahen als auch die tiefen Grundwasser strömen dem Toten Meer vor allem aus punktuellen Unterwasser-Quellen zu. Damit sind sie einer direkten terrestrischen Beobachtung nicht zugänglich und erfordern den Einsatz wissenschaftlicher Taucher.

Aufgrund des hohen Salzgehalts und der daraus resultierenden Dichte von 1.24 g/cm³ ergeben sich zwei besondere Herausforderungen für das Tauchen. Einerseits ist es die große Auftriebskraft, die mit ca. 50 kg Blei am Körper des Tauchers kompensiert werden muss. Andererseits führt der hohe Salzgehalt beim Kontakt mit den Augen bzw. bei versehentlichem Schlucken des Wassers zu massiven Irritationen und gesundheitlichen Problemen. Daher ist die Verwendung einer Vollgesichtsmaske unabdingbar. Erschwert wird die Arbeit zudem durch die hohen Temperaturen und die in vielen Bereichen fehlende Infrastruktur.

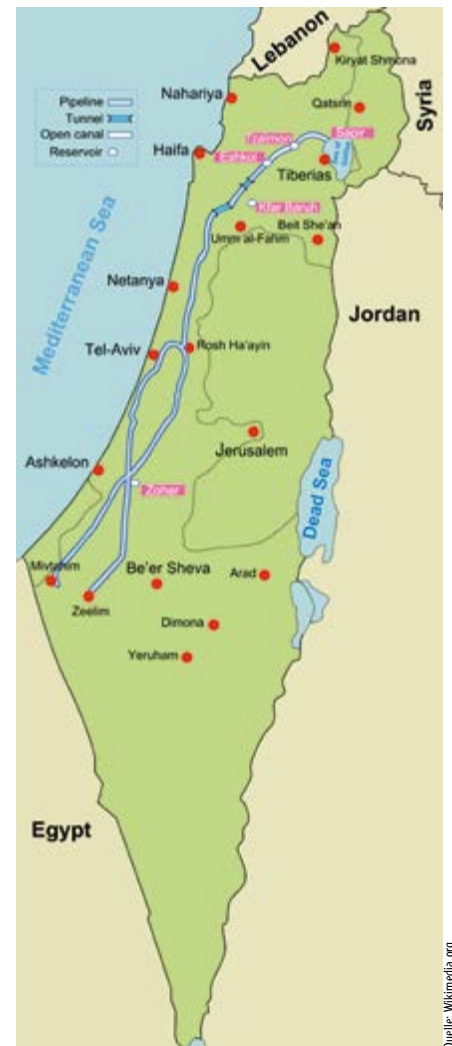


Abb. 8: Karte von Israel, Palästina und angrenzenden Gebieten Ägyptens, Jordaniens, Syriens und des Libanon mit dem Verlauf des „National Carrier“ vom See Genezareth bis in die Wüste Negev sowie dem Toten Meer mit seinen zwei Teilbecken

Punktueller Grundwasserzutritte wurden mittels Satellitenbilddaten detektiert [Malast et al. 2013]; dabei erkennt man jedoch nur große Zutritte. Im Herbst 2012 und 2014 wurden durch tauchende Wissenschaftler vom Helmholtz-Forschungszentrum für Umwelt (UFZ Halle-Leipzig), des Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie in Bremen und des SDC der TU Bergakademie Freiberg einige der punktuellen Grundwasseraustritte in Tiefen bis zu 20 m unter dem Wasserspiegel des Toten Meeres (Abb. 9) gemessen und beprobt. Dabei wurde festgestellt, dass es neben den großen Zutritten auch sehr viele kleine gibt und Temperatur und Wasserbeschaffenheit auf kleinstem Raum erheblich differieren. Die chemische Zusammensetzung der zutretenden Wasser reicht von Brackwasser mit Salzgehalten von wenigen g/kg bis hin zu Solen mit > 200 g/kg, aber durchaus ganz anderer

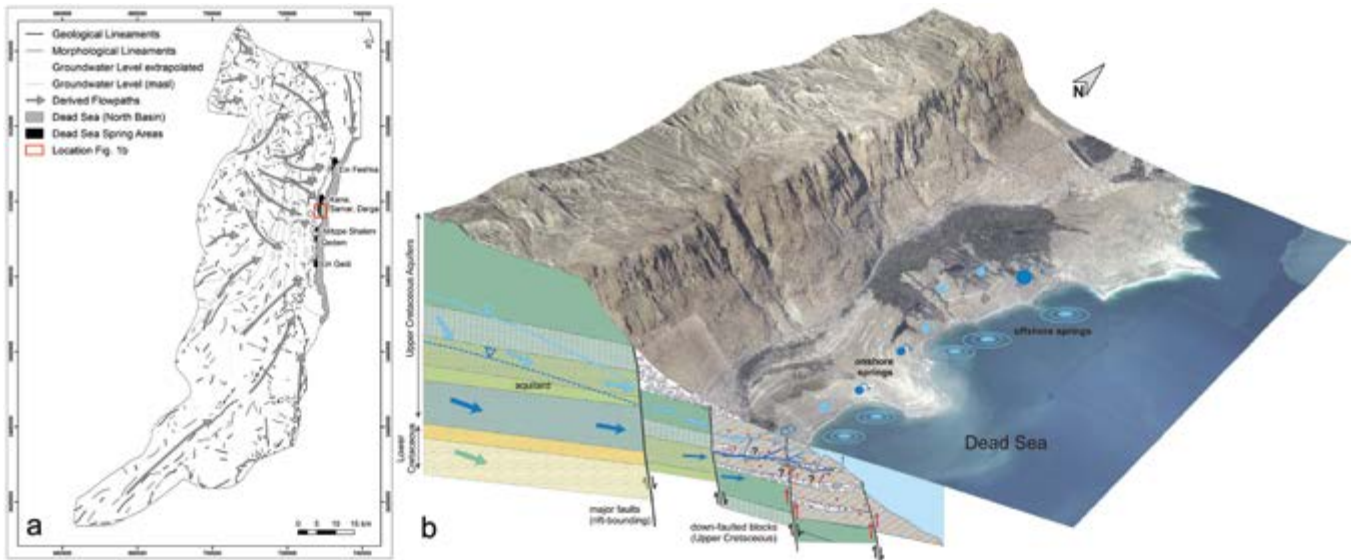


Abb. 9: 3D-Schema des Zustroms von Grundwasser zum Toten Meer [verändert nach Siebert et al. 2014]. Blaue und grüne Pfeile zeigen den Zustrom von oberflächennahem Grundwasser, rote den Aufstieg von warmem Tiefengrundwasser entlang der Transformstörung (schwarze Pfeile). Blaue Punkte markieren Quellen an Land und unter Wasser im Toten Meer.



Abb. 10: Aufgrund von Dichteunterschieden an der Oberfläche erkennbare Austritte von Grundwasser an der Küste des Toten Meeres

Zusammensetzung als der des Wassers des Toten Meeres. Deren detaillierte Untersuchung durch die tauchenden Wissenschaftler zeigte auch, dass sich die Grundwasserzutritte unter der Wasseroberfläche sehr schnell verlagern, was angesichts des schnell fallenden Wasserspiegels auch plausibel erscheint.

Während große Grundwasserzutritte (Abb. 10) meist dadurch gekennzeichnet sind, dass sie aufgrund der großen Wassermengen und hoher Fließgeschwindigkeit viel Sediment mobilisieren, sind kleine

Zutritte vor allem an den Schlieren im Wasser erkennbar, die durch die Dichteunterschiede bedingt sind (Abb. 11). Allerdings ist bei kleinen Austritten die Probenahme viel schwieriger, weil die Gefahr einer Kontamination durch die Sole des Umfelds sehr groß ist. Eine Probe muss äußerst vorsichtig und langsam mittels einer 10- bis 50-ml-Spritze genommen werden. Wenn für die geplanten Wasseranalysen größere Volumina notwendig sind, wird es bei den kleinen Austritten schwierig, diese zu realisieren.

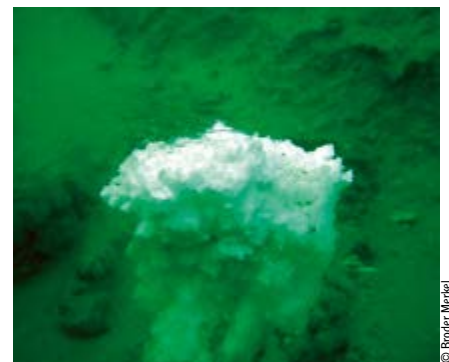


Abb. 11: Austritt einer Sole aus einer Salzformation in das Tote Meer

Ein tropisches Korallenriff vor der Küste des Irak Im Rahmen des seit 2009 laufenden Projekts GRI (Geo Resources Iraq), das vom Deutschen Akademische Austauschdienst (DAAD) gefördert wird, unterstützt der Bereich Hydrogeologie der TU Bergakademie Freiberg den Wiederaufbau einiger irakischer Universitäten (Erbil, Sulaimani, Bagdad und Basra).

In Basra wurde im Jahr 2011 ein wissenschaftliches Tauchzentrum eingerichtet. Seitdem werden dort irakische Wissenschaftler vom SDC der TU Bergakademie Freiberg zu Tauchern und anschließend zu wissenschaftlichen Tauchern ausgebildet. Im Zuge der Freiwasserausbildung der irakischen Wissenschaftler wurde erstaunlicherweise im September 2012 ein tropisches Korallenriff im arabischen Golf im Mündungsgebiet von Euphrat und Tigris (Shatt al Arab) entdeckt. Bisher wurde allgemein angenommen, dass ein tropisches Korallenriff in dem trüben und schadstoffbelasteten Mündungsdelta des Shatt al-Arab (u. a. Einleitung ungeklärter Abwässer von Bagdad und Basra, Ölkontamination durch die Offshore-Ölverladeterminals im Bereich des Shatt al-Arab) nicht überleben kann. Bekannt und dokumentiert waren bislang nur Korallenriffe im Bereich von Kuwait und weiter nördlich im Seegebiet des Iran (Abb. 12). Seit dieser Entdeckung wird das Riff von irakischen und deutschen Wissenschaftlern regelmäßig angefahren und detailliert untersucht. Erste Ergebnisse (Abb. 13 und 14) wurden bereits publiziert [Pohl et al. 2014].

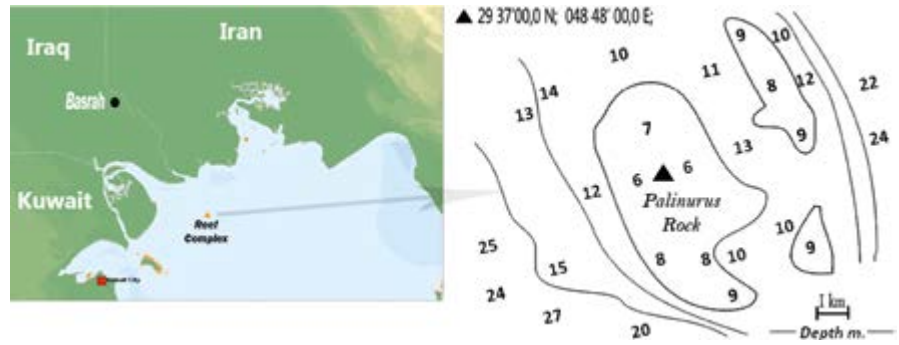


Abb. 12: Lage des entdeckten tropischen Korallenriffs (links) und Detailkarte mit Isolinien der Wassertiefen (rechts) [Kartengrundlage: <http://www.reefbase.org>]



Abb. 13: Steinkoralle (*Platygyra pini Chevalier*) mit Schäden, die durch einen Anker verursacht wurden [Pohl et al. 2014]

Referenzen

- Bauer K., Hertwig M., Ponopal M., Barth G. (2013): Long term monitoring of gas discharges at submarine fumaroles of Panarea, Italy. 3rd Int. Workshop "Research in Shallow Marine and Fresh Water Systems", Bremen. <http://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00102934-1.pdf>
- Charette M. A. & Smith W.H.F. (2010): The Volume of Earth's Ocean. *Oceanography*, 23, 2
- Fabris, M., Baldi, P., Anzidei, M., Pesci, A., Bortoluzzi, G. and Aliani, S. (2010), High resolution topographic model of Panarea Island by fusion of photogrammetric, lidar and bathymetric digital terrain models. *The Photogrammetric Record*, 25: 382-401
- Mallast, U., Schwonke, F., Gloaguen, R., Geyer, S., Sauter, M., & Siebert, C. (2013). Airborne thermal data identifies groundwater discharge at the north-western coast of the Dead Sea. *Remote Sensing*, 5(12), 6361-6381
- Merkel, B., Planer-Friedrich, B., Pohl, T. & Schipek, M. (2011) Development of a Gas Sampling Technique for Determining Trace Elements in Submarine Volcanic Gas Exhalations. *Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 4, 50-56.

- Müller C (2011): Geothermal state of shallow submarine geothermal systems and isotopic signatures of Panarea, Aeolian Islands (Italy), *Freiberg online Geoscience (FOG)*, Vol 30
- Pohl, T., Al-Muqdad, S., Ali, M., Fawzi, N., Ehrlich, H. & Merkel, B.: (2014): Discovery of a living coral reef in the coastal waters of Iraq. *Nature Scientific Reports* 4, Article number: 4250 (2014)
- Schipek, M. & Merkel, B. (2011) Continuous monitoring of dissolved CO₂ and H₂S: Technical application in the submarine hydrothermal system of Panarea, Italy. *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol 4, 74-79
- Schipek M, Sieland R, Steinbrückner D, Ponopal M, Bauer K & Merkel B (2013): CO₂ Fluxes in the Submarine Hydrothermal System of Panarea. *Mineralogical Magazine*, 77(5) 2154
- Siebert, C., Rödiger, T., Mallast, U., Gräbe, A., Guttman, J., Laronne, J. B., ... & Geyer, S. (2014). Challenges to estimate surface-and groundwater flow in arid regions: The Dead Sea catchment. *Science of the Total Environment*, 485, 828-841



Abb. 14: Weichkoralle mit Seesternen [Pohl et al. 2014]

Disziplinäre Grundlagenforschung für die geologische Praxis

Traditionen paläontologischer Lehre und Forschung an der Bergakademie Freiberg

Jörg W. Schneider

Der Beginn paläontologischer Lehre und Forschung an der Bergakademie Freiberg ist – wie unsere Gründungsgeschichte selbst – von günstigen Zufällen geprägt („Zufall“ als Schnittpunkt von mindestens zwei Notwendigkeiten). Nach den schweren Verlusten im Nordischen Krieg versucht die Freiburger Bürgerschaft 1710, Gelder „zu Wiederaufbau und Wohlfahrt der alten freien Bergstadt Freiberg“ mittels der Gründung einer „Augustus Universität“ zu erlangen. Leider verfiel diese Idee trotz der allbekannten Eitelkeit des sächsischen Kurfürsten nicht. 1726 schlug auch der Versuch von Christian Ehrenfried Seyffert fehl, auf seinem Gut in Bräunsdorf bei Freiberg eine Bergwerks-Academie – mit ihm als Direktor – einzurichten. Das weit seriösere Projekt von 1746 für eine Obersächsische Bergakademie von Carl Friedrich Zimmermann aus Dresden fand leider ebenfalls kein Interesse bei Hofe. Und so musste erst Friedrich der II. von Preußen die schicksalhafte Feststellung treffen: „Sachsen ist wie ein Mehlsack. Man mag draufschlagen so oft man will, so kommt immer etwas dabei heraus.“ Dies tat er denn auch mit Beginn des 7-jährigen Krieges. Nach Kriegsende lag Sachsen am Boden; sein wirtschaftliches Rückgrat, der Bergbau, war gebrochen. Zwei mit den Gepflogenheiten am sächsischen Königshof vertraute Männer, Friedrich Anton von Heynitz, sächsischer Generalbergkommissar sowie Mitglied der Landesökonomie-, Manufaktur- und Kommerziendeputation, und der Freiburger Oberberghauptmann Friedrich Wilhelm von Opperl nutzten einen Besuch des Prinzregenten Franz Xaver von Sachsen am 13. November 1765 in Freiberg, um nach einem guten Mahl bei einem Glase Wein einen lang gehegten Plan zu unterbreiten: Man möge eine Schule zum Wiederaufleben von Bergbau und Hüttenwesen in Freiberg einrichten. Minimale Investitionen würden ein Mehrfaches an Gewinn bringen. Dieser Gedanke erweckt seit jeher in der Residenz zu Dresden höchste Aufmerksamkeit, nur würde die Umsetzung eines solchen Plans heutzutage erheblich länger dauern. ... Nur acht Tage später (!), am 21. November, wurden die dazu nötigen finanziellen Mittel durch den Prinzre-

genten zugesagt. Im Frühjahr 1766 begann an der Bergakademie Freiberg der Lehrbetrieb mit den Fächern Mineralogie und Praktische Markscheidkunst; zwei Jahre später mit der Bergbaukunst – also mit jenen Lehr- und Forschungsgebieten, die bis heute im Verband der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau eine der tragenden Säulen der Bergakademie bilden.

1774 nimmt Abraham Gottlob Werner seine Lehrtätigkeit auf: ab 1777 in Gebirgslehre, ab 1786 in Geognosie. Damit avanciert die Geologie zum selbstständigen Lehrgebiet. 1795 wird in einem Wernerschem Gutachten eine (mit seinen Worten) „*kleine aber ziemlich unvollständige Versteinerungssammlung*“ im akademischen Mineralienkabinett erwähnt, die er in der Folge zielstrebig erweitert. Als 1799 keine Vorlesung in Eisenhüttenkunde und bergmännischer Enzyklopädie zustande kam, liest er, um die Lücke im Lehrplan zu schließen, eine Versteinerungskunde. Es ist weltweit die erste Paläontologie-Vorlesung, nicht jene von Georges Cuvier 1801 am Collège de France in Paris, wie oft behauptet. Diese zufällige Lücke schließen zu müssen, war eine Werner sicherlich entgegenkommende Herausforderung, denn für seine Vorlesung in Versteinerungskunde brauchte er die Fossilien, um seinen Neptunismus, die Entstehung aller Gesteine in den Meeren der geologischen Vergangenheit, zu untermauern.

Nach diesem vielversprechenden Auftakt ist zunächst jedoch nichts mehr zur Paläontologie in Freiberg überliefert – wohl weil sie für den in Freiberg dominierenden Bergbau auf hydrothermale Ganglagerstätten nicht zwingend notwendig war. Sie lebt wieder auf, als der ehemalige Freiburger Absolvent und inzwischen als Bergkommissionsrat und Direktor der mansfeldischen Kupferschieferbergwerke mit sedimentären Lagerstätten vertraute Johann Carl Freiesleben (Abb. 1) an das sächsische Oberberg- und Hüttenamt in Freiberg berufen wird. Er schreibt im Juni 1822 an das Königlich-Sächsische Oberbergammt: „Bei dem jetzigen Zustande der Versteinerungskunde und ihres Eingreifens in die Geognosie wird es immer fühlbarer,



Abb. 1: J. C. Freiesleben (1774 – 1846), 1838 bis 1842 Berghauptmann am Sächsischen Oberbergammt in Freiberg

wie nachtheilig die in dieser Branche beim hiesigen bergakademischen Unterrichte noch stattfindende Lücke wirkt ...“ (Abb. 2).

Bereits im Juli 1822 ergeht daraufhin die oberbergammtliche Aufforderung an die renommierten Professoren Mohs, Kühn, Breithaupt und Weisbach, eine Lehre in „Petrefaktenkunde“ zu installieren. Sie lehnen mehr oder weniger strikt ab. Bis auf Breithaupt, der anbietet, sich bei dem Kenner fossiler Pflanzen, dem Gothaer Kammerpräsidenten Ernst Friedrich von Schlotheim (ein ehemaliger Freiburger, der heute als Begründer der wissenschaftlichen Paläobotanik gilt), besser aber noch durch einen zweimonatigen Studienaufenthalt in Paris das notwendige Wissen für einen zeitweiligen Elementarunterricht in Petrefaktenkunde anzueignen. Dienstreisegelder waren aber wohl immer schon knapp – so trifft es, oberbergammtlich verordnet, im September 1822 den Hüttengehilfen Ferdinand Reich, der gerade zum Studium der Physik und Chemie in Göttingen weilte, dort Kenntnisse der Versteinerungskunde zu erwerben. 1824 hält er sich zu Studien und zur Gerätebeschaffung für

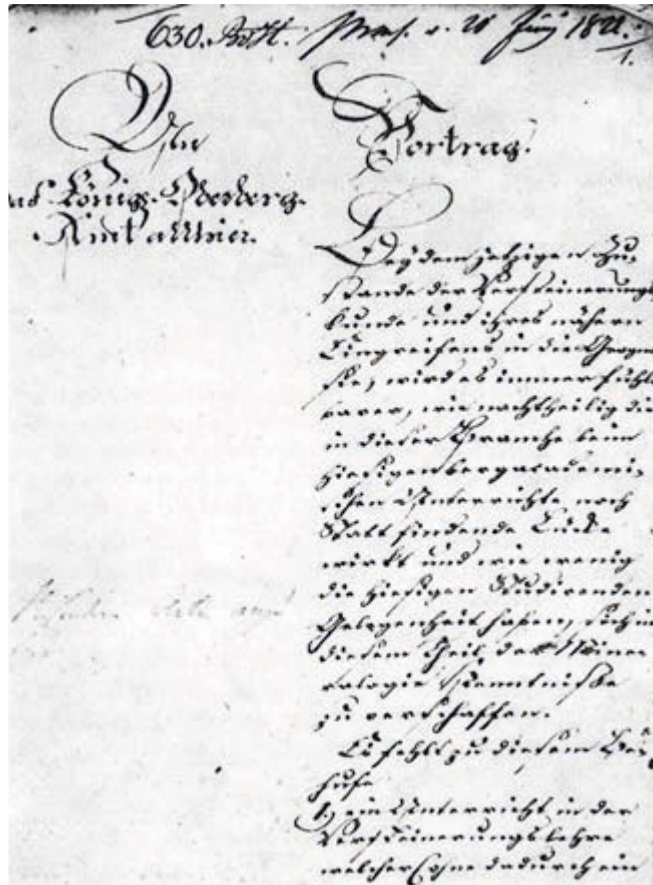


Abb. 2: Denkschrift vom 12.06.1822 von Johann Carl Freiesleben an das Sächsische Oberbergamt, die Einführung der Lehre in Versteinerungskunde betreffend

Chemie und Physik in Paris auf.

Das Zusammentreffen mit Alexandre Brongniart aus der inzwischen weltberühmten französischen Paläontologenschule ermöglicht es ihm, außer Literatur und Fossilien den modernsten Kenntnisstand zur Paläontologie nach Freiberg zu holen. Reich ist als einer der Urväter der Geophysik bekannt geworden (Messungen von Gesteinstemperaturen, elektrische Untersuchungen an Erzgängen, Fall-Versuche zur Gravitationskonstante etc.) und hat sich auch als Chemiker einen Namen gemacht (zusammen mit Theodor Richter Entdeckung des Element Indium). Er hält als Professor für Physik von 1831 bis 1842 regelmäßig Vorlesungen in Versteinerungskunde, bis er diese – nach Übernahme der Vorlesung in theoretischer Chemie des verstorbenen Prof. Lampadius – abgeben muss.

Sein bester Schüler, Bernhard von Cotta, führt ab 1842 als Professor für Geognosie die paläontologische Lehre neben der Erzlagerstättenlehre weiter (Abb. 3), ein glücklicher Zufall als Resultat des Zusammentreffens von Notwendigkeiten. Cotta hatte 1832 in Heidelberg über verkieselte Hölzer aus dem Karbon und dem Perm promoviert und damit die Anatomie fossiler Hölzer begründet, war an der geologischen Spezialkartierung Sachsens

beteiligt, hatte Thüringen kartiert und war von 1838 bis 1842 an der Forstakademie Tharandt tätig.

Cottas Denken, seine Lehre und Forschung waren damit paläobiologisch und zugleich in ihrer Breite geowissenschaftlich und ökonomisch geprägt – s. seine „Anleitung zum Studium der Geologie und Geognosie, besonders für deutsche Forstwirthe, Landwirthe und Techniker“ von 1839. Bereits in seiner Dissertation findet sich die Aussage, dass die Entwicklung der Organismen durch Klimaveränderungen beeinflusst wird (vor Darwin 1860), und in seinem Buch „Geologie der Gegenwart“ von 1878 geht er auf die „Verbreitung der Species in Raum und Zeit“ sowie auf „Die Geologie und Darwin“ ein. Weltruhm erlangte er jedoch mit seinem Buch „Lehre von den Erzlagerstätten“, Bd. 1-2, Freiberg 1854/1859–1861, das bereits in der ersten Auflage 1.300 Lagerstätten nennt. Es erschien 1870 auch in Englisch und machte ihn zum Begründer der genetischen Lagerstättenlehre. Cotta hatte sich zeitlebens intensiv der Kohleerkundung gewidmet, aber auch – seiner Zeit weit voraus – die künftige Rolle alternativer Energiequellen erkannt: „Sollten einst auf der mehr und mehr bevölkerten Erde die Wälder überall stark gelichtet und die Kohlenlager erschöpft sein, so ist es wohl denkbar, dass man die



Abb. 3: Bernhard von Cotta (1808–1879) lehrte von 1842 bis 1874 als Professor für Geognosie die Versteinerungskunde an der Bergakademie.

Innenwärme der Erde sich dienstbar macht, dass man sie durch besondere Vorrichtungen in Schächten oder Bohrlöchern zur Oberfläche leitet und zur Erwärmung der Wohnungen oder selbst zur Heizung von Maschinen verwendet. Man wird freilich nicht früher allgemein und mit Vortheil zu dieser, in ihrer Anwendung wahrscheinlich kostspieligen Wärmequelle greifen, bis ein empfindlicher Mangel an Brennmaterial dazu nöthigt; dann aber bleibt die Wärme der Mutter Erde eine sichere letzte Zuflucht.“ [aus: „Das Zentralfeuer“, 1853 erschienen in Meyer’s Monats-Hefte, Deutsch-amerikanische Zeitschrift für Literatur, Kunst und Gesellschaft, New York].

Cotta war der wohl überragendste Freiburger Geowissenschaftler mit einem weiten Blick auch für gesellschaftliche Notwendigkeiten. So wurde er 1848 einer der Gründungsmitglieder der Deutschen Geologischen Gesellschaft und war an der 48er Märzrevolution u. a. als Wahlmann für die Frankfurter Nationalversammlung und Obmann des Freiburger Vaterlandsvereins beteiligt. Daraufhin zunächst vom Dienst suspendiert, wurde er, unverzichtbar für die Bergakademie, 1849 begnadigt. Kein Zufall, dass er fast hundert Jahre später erst wieder die ihm zustehende Würdigung an der Bergakademie fand.

1874 trat er in den Ruhestand; sein Nachfolger wurde sein ehemaliger Schüler Alfred Wilhelm Stelzner. Nach einem Volontariat an der Geologischen Reichsanstalt Wien und einer Gutachtertätigkeit in Norwegen verwaltete dieser von 1866 bis 1870 als Akademieinspektor

die Sammlungen und die Bibliothek der Bergakademie und gab Übungen in Mineralogie. Nach seiner Tätigkeit als Professor für Mineralogie und Geologie an der Universität Córdoba in Argentinien übernahm er 1874 die Lehrveranstaltungen für Geologie und Lagerstättenlehre und damit auch in Versteinerungskunde.

Sein Nachfolger wurde von 1895 bis 1919 Richard Beck, der in Leipzig bei Hermann Credner, bekannt in der Paläontologie durch seine Publikationen zu Rotliegend-Amphibien, studiert hatte. Beck widmete sich als Professor für Geologie, Lagerstättenlehre und Versteinerungslehre überwiegend den Erzlagerstätten, befasste sich aber auch mit fossilen Floren aus dem Tertiär von Sachsen. Von 1911 bis 1913 war er Rektor der Bergakademie.

Unter Otto Stutzer, der von 1913 bis 1927 die a.o. Professur für Geologie und von 1927 bis 1936 die Professur für Brennstoffgeologie innehatte und 1927 das Institut für Brennstoffgeologie an der Bergakademie gründete, gewann die Erdölgeologie und damit die Biostratigraphie mittels Mikrofossilien, wie Foraminiferen und Ostracoden, an Bedeutung. Zugleich förderte Stutzer die für die Kohlengeologie wichtige Paläobotanik. Er holte 1928 den Botaniker und Paläobotaniker Karl-Alfons Jurasky als Assistenten nach Freiberg. Seit 1934 als Dozent und seit 1941 als apl. Professor für Kohlenpetrographie und Paläobotanik tätig, forcierte dieser bis zu seinem tragischen Tod 1945 die Anwendung mikropaläobotanischer Methoden in der auf praktische Fragen der Gewinnung und Verarbeitung orientierten Braunkohlenpetrographie.

Paläobotanische Forschung lebte danach erst mit Gerhard Roselt, seit 1960 Dozent und von 1963 bis 1981 Professor für Paläobotanik und Kohlengeologie, wieder auf; erneut 1995, seitdem Ronny Rößler (Naturkundemuseum Chemnitz; seit 2003 PD und seit 2015 Gastprofessor an der TU Bergakademie) und Lutz Kunzmann (Staatliches Museum für Mineralogie und Geologie, Dresden; jetzt Senckenberg Museum) mit Lehraufträgen betraut wurden – beide ehemalige Studenten und Promovenden der Bergakademie.

Nachdem die Paläozoologie vom Ende des 19. Jahrhunderts bis nach 1945 in Freiberg im Wesentlichen auf eine Leitfossilkunde reduziert war, erlebte sie seit Ende der fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts einen erneuten Aufschwung. Hintergrund war die Notwendigkeit, in der nach dem 2. Weltkrieg zunächst rohstoffarm

erscheinenden DDR Ressourcen für den Aufbau einer Industrie zu erkunden. Folglich gewannen paläontologisch-biostratigraphische Lehre und Forschung auch an der Bergakademie erheblich an Bedeutung. Anfang 1956 wurde der seit 1952 als a. o. Professor für Paläontologie in Jena tätige Arno Hermann Müller um Hilfe gebeten, einen geeigneten Nachwuchs-Paläontologen als Lehrbeauftragten für Paläontologie in Freiberg zu finden. Keine der von Müller vorgeschlagenen Personen war jedoch zu gewinnen, so dass letztlich A. H. Müller selbst im Februar 1957 neben seiner Tätigkeit in Jena den Lehrauftrag in Freiberg annahm. Zufällig erschien unmittelbar danach, im März, in der „Zeitschrift für angewandte Geologie“ eine von Mitarbeitern der Geologischen Kommission vorgebrachte Forderung nach umgehend zu realisierender, verstärkter Ausbildung von Paläontologen, um den inzwischen gravierenden Kenntnis- und Fachkräftemangel auf diesem Gebiet zu beheben und die forcierte Prospektion nach Erdöl, Erdgas und Kohle in der DDR ohne finanzielle Verluste realisieren zu können. Zufall und Notwendigkeiten – die Bergakademie reagierte rasch und berief A. H. Müller zum 1. September 1958 auf den neu eingerichteten Lehrstuhl für Paläontologie am Geologischen Institut. Müller passte ausgezeichnet in das Profil der Bergakademie. Er hatte seit 1947 in Greifswald neben Paläontologie auch Angewandte Geologie und Geophysikalische Grundlagen der Angewandten Geologie gelehrt sowie Praktika in Bodenkunde abgehalten. Seit 1952 in Jena, hatte er als Paläontologe rasch über Deutschland hinaus Anerkennung erworben, u. a. mit dem 1957 erschienenen ersten Band seines „Lehrbuchs der Paläozoologie“. An diesem dreibändigen, aus sieben dicken Büchern bestehendem Werk hat er bis über seine Emeritierung 1981 hinaus gearbeitet. Es wurde das klassische deutschsprachige Lehrbuch (der „halbe Meter Paläontologie“), das Generationen von Paläontologen und Geologen zur Ausbildung diente.

Fasziniert haben AH, wie er von allen genannt wurde, Phänomene in der Evolution der Organismen. Seine Theorien zu den „Ablaufformen der stammesgeschichtlichen Entwicklung“, in denen er endogene transspezifische Faktoren der Evolution diskutiert, finden sich in heutigen phylogenetischen Konzepten wieder. Seine „Formenmaxima-Regel“ oder „MÜLLERSche Regel“ ist mit dem deutschen



Abb. 4: Jörg W. Schneider, Professor für Paläontologie von 1987 bis 2016, im Schurf am Timber Peak, Nordvictorialand, in der Antarktis (2006)

Begriff „Großablauf“ in die englischsprachige Terminologie der modernen Phylogenetik eingegangen. Sein – vor allem in Freiberg entstandenes – Wissenschaftskonzept war es, disziplinäre paläontologische Grundlagenforschung mit dem Ziel der Anwendung in der Biostratigraphie zu betreiben. Seine Schüler haben auf diese Weise Makro- und Mikrofossilgruppen detailliert taxonomisch erschlossen und neue Methoden der Biostratigraphie sowohl für die Rohstofferkundung als auch für die geowissenschaftliche Grundlagenforschung entwickelt. Für die Erdöl/Erdgas-Prospektion z. B. Brachiopoden (H. Jordan), Sporomorphen (P. Reinhardt), Ostracoden (J. Gründel, H. Blumenstengel, G. Beutler) Conodonten (H. Kozur), verschiedene Arthropoden (J. W. Schneider, T. Martens, H. Walter), für die Uran-Erkundung im Paläozoikum Graptoliten (M. Schauer), Ostracoden (J. Gründel, H. Jordan, H. Blumenstengel). Durch das Zentrale Geologische Institut der DDR sowie die Erdöl/Erdgas-Industrie und die SDAG Wismut großzügig finanzierte Forschungsaufträge ermöglichten die Ausbildung zahlreicher Diplomanden und Doktoranden in der Paläontologie. Gepaart mit einer soliden geowissenschaftlichen Ausbildung mit dem für Freiberg typischen hohen praktischen Anteil fanden sie überall eine gute Anstellung. 1981 wurde der Autor dieses Beitrages zum Dozenten für Paläontologie in die Nachfolge A. H. Müllers berufen (Abb. 4).

Eigentlich hatte ich schon vor dem

Diplom (1972) meine künftige Anstellung am Institut für Quartärpaläontologie in Weimar in der Tasche, wo ich als Oberschüler meine auch als Publikation (1968) erschienene Hausarbeit über holozäne Gastropoden geschrieben hatte. Die Assistenz und Promotion bei Müller lockte aber zu sehr; ich bekam Aufschub aus Weimar genehmigt. Dann, am Anfang der Promotionsphase, erteilte mich die nicht mehr erwartete Einberufung zum Wehrdienst – ein störender Zufall, der aber die Assistentenzeit verlängerte. 1974 zurück vom Wehrdienst, konnte ich 1977 meine Doktorarbeit abschließen. Nur noch vier Jahre bis AHS Emeritierung. Dieser bat mich folglich, ihm bis dahin als Assistent mit einem Habilitationsvorhaben noch zur Seite zu stehen – eine dem verehrten Lehrer geschuldete Notwendigkeit. Vom Institut in Weimar wurde erneut Aufschub gewährt. Als AHS Stelle dann vakant wurde, trug er sie mir an. Es gab damals natürlich nur wenige andere Bewerber im DDRchen, was kein Zufall war und es daher fast ein Heimspiel für mich wurde, 1982 die Dozentur und dann 1987 die Professur in Paläontologie zu erlangen. Nach der Wiedervereinigung 1990 wurden 1991/92 (nahezu) alle Professuren gemäß Sächsischem Hochschulerneuerungsgesetz aufgekündigt und nach bundesdeutschen Kriterien neu ausgeschrieben. In einem diesen Kriterien folgenden Berufungsverfahren konnte ich mich gegen eine Anzahl von Mitbewerbern durchsetzen und erlangte erneut die nun allerdings durch interne Rängeleien auf C3 heruntergestufte Professur für Paläontologie. Die Wendejahre mit all ihren Tiefen gewährten aber auch für eine gewisse Zeit ein irres Hochgefühl von Freiheit. Ministerielle in Dresden verorteten in offiziellen Reden damals gelegentlich noch „unsere sächsische Bergakademie“ in Freiburg.

Frei also noch von jeglichen administrativen Regelungen und mit der Unterstützung sowie sehr gutem Rat seitens westdeutscher Kollegen versehen (z. B. Helga Gross-Uffner, Göttingen) konnte man die Lehre neu organisieren und dabei die Freiburger Traditionen bewahren („Man wechselt ein Pferd nicht im Galopp“ – Professor für Hydrogeologie Broder Merkel, aus München nach Freiberg gekommen) sowie mit der damals noch gültigen, viel Spielraum gewährenden „Rahmenordnung für die geowissenschaftliche Ausbildung in Deutschland“ nicht nur die paläontologische Lehre in Freiberg erheblich ausbauen. Ausbauen kostet Geld. Als in die



Abb. 5: Studentin Maria Schulz, geologische Bearbeiterin der Stratigraphie und Sedimentologie der Geothermie-Bohrung Zwickau 2014

Professur berufenem Ostdeutschen wurden mir Berufungsverhandlungen nicht gewährt, warum auch immer. Freiburger Expertise in der Biostratigraphie für die Erdöl/Erdgas-Prospektion verhalf jedoch zu bestens finanzierten Firmenaufträgen von BEB, Mobil Oil, Wintershall, Gaz de France/EEG etc., mit deren Erträgen ersatzweise für die sonst übliche Zubilligung von Berufungsgeldern der Bereich Paläontologie technisch modern ausgestattet werden konnte. Folgeprojekte der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle ermöglichten die Finanzierung von Diplomarbeiten und einer Dissertation (R. Rößler). Ab 1992 begann mit einem Kambrium-Projekt (O. Elicki) der erfolgreiche Einstieg in mittlerweile

über 35 durch die DFG geförderte paläontologische Forschungsprojekte.

Die mit F. Reich und B. v. Cotta beginnende Tradition interdisziplinärer paläontologischer Lehre und Forschung mit Anwendungsaspekt hat sich bis in die Gegenwart bewährt. Unsere gemeinsam mit Studenten realisierten angewandten Arbeiten reichen von Untersuchungen für die Erdgasprospektion in Norddeutschland und in der Nordsee über geologische Kartierungen für die Standortplanung der Ballungsräume Dresden, Zwickau und Chemnitz sowie über 3D-Modellierungen zur Begrenzung von Bergbau-Nachfolgeschäden im ehemaligen Steinkohlerevier Zwickau-Oelsnitz und über Kartierungen sowie 3D-Modellierungen für die Haldenstandortenerweiterung der Kali + Salz AG in Hessen, die Geothermie-Bohrung Zwickau (Abb. 5) bis hin zur Untertagekartierung im ehemaligen Kupferschieferschacht Wetzelrode am Harzrand und zu stratigraphischen Untersuchungen zur Struktur des Endlagers für radioaktive Abfälle Asse in Niedersachsen. Studenten kartierten für Landesämter den Kyffhäuser, das Saale-Tal bei Halle, den Hornburger Sattel am Harz, die Zechstein-Basissedimente in Thüringen, für unsere paläontologische Forschungen die Trias im Argana-Becken des Hohen Atlas von Marokko (Abb. 6) und in Madygen in Kirgistan, das Kambrium in Sardinien und Jordanien, das marine Unterkarbon am Tientschan in Nordchina etc. Mit den eingeworbenen Drittmitteln können Studenten ihre finanzielle Situation aufbessern und die Kosten für anspruchsvolle Qualifizierungsarbeiten kompensieren. Die mit ihnen erreichten Abschlüsse sind das Sprungbrett zu gut bezahlten Jobs in der freien Wirtschaft, in



Abb. 6: Team der Bergakademie und der Universität El Jadida bei der Querung des überfluteten Qued Issene im Argana Tal des Hohen Atlas während des paläontologisch-stratigraphischen Geländepraktikums 2010 in Marokko

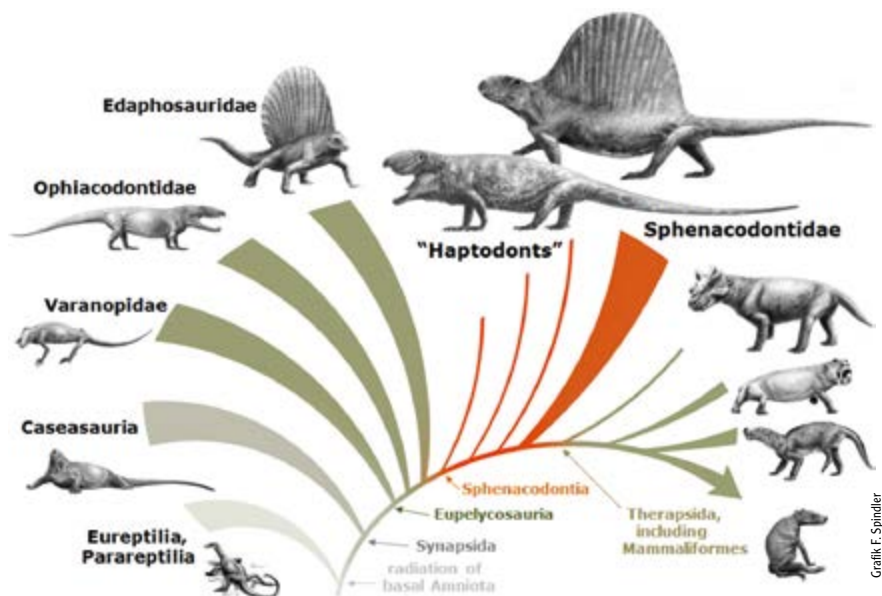


Abb. 8: Schema der Evolution von den Reptilien über säugetierähnliche Reptilien zu den Säugetieren von Frederik Spindler, Doktorand in einem DFG-Projekt zur Wirbeltierpaläontologie in Freiberg

Ämtern und Behörden oder zu Karrieren in der (weniger gut bezahlten) Wissenschaft. Schwerpunkte in der disziplinären paläobiologischen Forschung sind gegenwärtig die phylogenetische und taxonomische Erschließung von Makro- und Mikrofaunen (Invertebraten und Vertebraten) für Anwendungen in der Biostratigraphie, der Milieuanalyse und der Paläoklimatologie kontinentaler und mariner Sedimente des Paläozoikums, Mesozoikums und Känozoikums, außerdem die Grundlagenforschung zur Event- und Sequenzstratigraphie und zur Paläobiogeographie als Basis globaler geotektonischer Rekonstruktionen (Abb. 8). Darin eingeschlossen sind vergleichende Untersuchungen an rezenten

marinen Mikrofaunen. Typisch für die Freiburger Paläontologie ist die interdisziplinäre Kooperation mit Sedimentologen, Strukturgeologen, (Isotopen-)Geochemikern, Geophysikern (Paläomagnetik) und Geo-Modellierern. Aktuell wurde von uns eine globale Forschungsgruppe ins Leben gerufen, die eine weltweite Übersicht über die festländischen Ablagerungsräume des Karbon, des Perm und der frühen Trias schaffen soll – die *International Working Group of Late Carboniferous–Permian–Early Triassic Nonmarine–Marine Correlation* im Rahmen der International Commission on Stratigraphy (ICS) der International Union of Geological Sciences (IUGS) (Abb. 9). Wie die personalstarken Paläontologie-Zentren

in Bonn, München, Göttingen und Tübingen deckt das vergleichsweise sehr kleine Freiburger Team – mit einer Professur für Paläontologie/Stratigraphie, einer apl. Professur für Mikropaläontologie und Paläökologie, der Gastprofessur für Paläobotanik und einem Lehrauftrag für Paläobotanik (Känozoikum) – die gesamte Breite der Paläontologie in der Lehre und Ausbildung sowie auch in der Forschung ab. Voraussetzung dafür ist eine intensive internationale Vernetzung – auch dies eine im 19. Jahrhundert beginnende Tradition an der Bergakademie Freiberg.

Archivmaterial und weitere Literaturangaben:

- Walter, H. (1983): Zur Geschichte der Paläontologie und der paläontologischen Sammlung an der Bergakademie Freiberg zu Beginn des 19. Jahrhunderts. - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 11, 10, S. 1185-1194, 3 Abb., Berlin
- Walter, H. & Künzel, G. (1993): Zur Geschichte der Paläontologie in Sachsen. - Zeitschrift für geologische Wissenschaften 21, 5/6, S. 765-776, 5 Abb., Berlin
- Künzel, G. & Walter, H. (1996): Die Versteinerungskunde bei Abraham Gottlob Werner (1749-1817) in Freiberg. - Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden 42, S. 99-112, 9 Abb., Dresden
- Schneider, J. W.; Walter, H. & Jordan, H. (2004): Erinnerungen an A.H. Müller (25.08.1916-11.04.2004). - Freiburger Forschungshefte C 502, S. I-III Freiberg
- Walter, H. (2011): Paläontologie in der DDR. - Schriftenreihe für Geowissenschaften 18, S. 175-206, Ostklüene
- Walter, H., unter Mitarbeit von J.W. Schneider & H. Jordan (2013): Paläontologie an der Bergakademie Freiberg zwischen 1945 und 1990. - Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins 107, S. 133-192 Freiberg



Abb. 9: Mitglieder der International Working Group of Late Carboniferous–Permian–Early Triassic Nonmarine–Marine Correlation bei Geländearbeiten während des International Congress on Carboniferous and Permian, Kazan 2015, an der Severnaja Dvina in Russland

Systemrelevante Banken: Messung und Regulierung von Systemrisiken

Jacob Kleinow¹, Tobias Nell²

Einführung

Auch Banken können bankrottgehen. Manche von ihnen scheitern, ohne dass die breite Öffentlichkeit davon Notiz nimmt. Andere fallierende Kreditinstitute wiederum erregen Aufmerksamkeit in der Wissenschaft und in der Praxis - meist wegen ihrer Größe oder einer anderweitig begründeten maßgeblichen Rolle im Finanzsystem. Das Interesse an der Untersuchung von bedeutenden Finanzintermediären, die ein systemisches Risiko verkörpern, sog. systemrelevante Finanzinstitute (*Systemically Important Financial Institutions* = SIFI), ist keine Modeerscheinung orientierungsloser Post-Lehman-Jahre, sondern Konsequenz eines durch technologischen Fortschritt sukzessive voranschreitenden Bedeutungsschwunds der nationalen Grenzen für privates Kapital. Damit einher geht das besondere Interesse an größeren Kreditinstituten, die in einem immer größeren, verflochteneren und fragiler gewordenen Finanzsystem agieren. Eine Abhängigkeit der konjunkturellen Entwicklung ganzer Volkswirtschaften vom Wohl und Wehe einzelner, systemrelevanter Finanzinstitute hat - aus Sicht von Regulierern und Aufsehern - nicht zuletzt die weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise ab dem Jahr 2008 verdeutlicht³.

In diesem Zusammenhang sind in den letzten Jahren besonders in der Europäischen Union (und in deren Peripherie) Risiken im Finanzsystem zum Vorschein gekommen, die von einzelnen Finanzinstituten ausgehen. Der Begriff systemisches Risiko wird vor diesem Hintergrund meist dann verwendet, wenn ein Ereignis (hier: die Insolvenz einer Großbank) zu umfassenden Vertrauensverlusten oder direkt zu ökonomischen Schocks führt, die in erheblichem Maße negative

externe Effekte für das Finanzsystem mit sich bringen.⁴ Vor allem Bank-, aber auch Versicherungs- oder Fondsunternehmen und selbst Marktinfrastruktur-Anbieter könnten grundsätzlich systemrelevant sein. Ausgelöst werden kann ein systemumspannender Ansteckungseffekt auf verschiedenen (Übertragungs-)Wegen. Im Falle von Banken werden insbesondere dominoartige Bankinsolvenzen infolge flächendeckender Vertrauensverluste sowie der engen Interbankenverflechtungen diskutiert.⁵

Trotz des historisch gewachsenen Interesses an der Vermeidung von Insolvenzen systemrelevanter Finanzinstitute sowohl in der Wissenschaft als auch bei politischen Akteuren existieren hierzu bislang allenfalls Theorieansätze bzw. behelfsartige politische Doktrinen. Insbesondere herrscht bisher Uneinigkeit bezüglich der Frage, wie der Wert von Systemrelevanz und das Ausmaß des Systemrisikos gemessen werden können (Identifikations- und Messproblem) und welche Ursachen zu Systemrisiken führen (Ursachenproblem). Die entsprechenden Forschungslücken werden in einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Professuren Investition und Finanzierung sowie Rechnungswesen und Controlling angegangen. Im Folgenden wird ein kurzer Einblick in die bisherigen Ergebnisse der Forschungskooperation der beiden beteiligten Professuren gegeben, die zum Teil bereits in internationalen Zeitschriften publiziert worden sind.⁶ Kernthemen sind dabei

- die Analyse des Einflusses von Systemrelevanz-Effekten auf den Marktwert von Finanzunternehmen,
- die Entwicklung einer Messgröße für Systemrisiken sowie
- eine Ursachenanalyse für Systemrisikotreiber im europäischen Bankensektor.

Wert der Systemrelevanz

Während in der empirischen Forschung

auf verschiedenen Wegen versucht wird, die Bedeutung eines Finanzinstituts für das Finanzsystem zu bemessen und diesbezüglich keinesfalls Einigkeit herrscht, meinen Regulierer, systemrelevante Finanzinstitute, insbesondere global systemrelevante Banken (G-SIB), bereits identifizieren zu können. Meist postulieren Politiker Systemrelevanz dann, wenn die staatliche Rettung eines Finanzinstituts begründet werden muss. Dem betreffenden Finanzinstitut wird damit von staatlicher Seite ad hoc ein SIFI-Siegel verliehen. Nachdem es lange Zeit eher nur implizite Aussagen gab, ist das SIFI-Siegel in jüngster Zeit durch veröffentlichte SIFI-Listen oder vergleichbare Ankündigungen von Regulierern zur Bedeutung einzelner - nicht unbedingt notleidender - Finanzintermediäre quasi explizit vergeben worden.

Anreiztheoretisch ist plausibel, dass die Verleihung eines SIFI-Siegels Erwartungen in Richtung einer staatlichen Rettung im Falle einer Insolvenz sowohl bei (potenziellen) Kreditgebern/Aktionären einer Bank als auch bei deren Management weckt oder bestätigt. Diese „Insolvenzversicherung“ könnte einen (staatlich induzierten) ökonomischen Wert für die Begünstigten haben, da sie die Chancen hochrentierlicher/riskanter Handlungsmöglichkeiten individualisiert, die einhergehenden höheren Risiken infolge in Aussicht stehender vollständiger staatlicher Absicherung des Insolvenzrisikos hingegen sozialisiert. Mit Bekanntgabe des SIFI-Siegels würde daher ein Vermögenstransfer von Nicht-SIFI-Banken hin zu den SIFI-Banken stattfinden.⁷

Zur Überprüfung dieser Theorie wurde im Rahmen einer Ereignisstudie untersucht, ob die Bekanntgabe einer SIFI-Liste (Event) seitens des für die internationale Bankenregulierung verantwortlichen Finanzstabilitätsrats positive Aktienkursveränderungen (Marktreaktionen) hervorgerufen hat. Bereits eine grafische Analyse (vgl. Abb. 1) der Kursentwicklungen von (Nicht-)SIFI-Bankengruppen sowie des Referenzmarktindex vermittelt

1 Mitarbeiter/Doktorand an der Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insb. Investition und Finanzierung (Prof. Dr. Andreas Horsch). jacob.kleinow@bwl.tu-freiberg.de

2 Mitarbeiter/Doktorand an der Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insb. Rechnungswesen und Controlling (Prof. Dr. Silvia Rogler). tobias.nell@bwl.tu-freiberg.de

3 Vgl. Gruppe der 20 (2009), S. 3.

4 Vgl. Roth (1994) S. 43.

5 Vgl. für eine frühe Differenzierung Bandt/Hartmann (2000), S. 8 ff.

6 Vgl. Kleinow/Nell/Rogler/Horsch (2014), Kleinow/Horsch (2014) und Kleinow/Nell (2015).

7 Vgl. O'Hara/Shaw (1990), S. 1588; Sprague (1986).

einen guten Eindruck von den Ergebnissen einer dieser Frage gewidmeten vertieften statistischen Analyse⁸.

Allgemein ist zu erkennen, dass die Entwicklung des größeren Samples der Nicht-SIFI und des Marktindex eng miteinander einhergehen, wohingegen die Entwicklung der SIFI substanziell von beiden abweicht, besonders bei Event (2). Bei Event (1) und (2) sind die Preise von SIFI-Aktien vor dem Eventtag t_0 scheinbar stärker negativ beeinflusst worden als die Aktien der Nicht-SIFI-Kontrollgruppe und des S&P-Global-Index. Anders als (1) und (2) hat Event (3) zu Beginn des Ereignisfensters einen positiven Einfluss auf die Aktienkurse von SIFI. Allerdings wird der Anstieg der SIFI-Aktien durch negative Renditen an den Eventtagen t_{+4} und t_{+5} kompensiert.

Wider die erste, intuitive Erwartung lassen sich jedoch auch negative Reaktionen identifizieren. Als Ursache hierfür kommen z. B. negative Erwartungen infolge zeitgleicher Bekanntgabe strengerer Kapital- und weiterer Regulierungsanforderungen in Betracht. Zudem zeigen weitere statistische Analysen, dass die Marktreaktionen auf Event (3) am schwächsten sind. Hieraus ist zu schließen, dass der Informationswert der SIFI-Liste für die Marktteilnehmer mit der Zeit abgenommen hat. In Kombination mit weitergehenden statistischen Analysen deuten die Ergebnisse insgesamt darauf hin, dass systemische Relevanz im Allgemeinen einen Unterschied hinsichtlich der (Eigen-) Kapitalmarktbeurteilung bedeuten kann. Im Speziellen müssen allerdings zwei Einschränkungen festgehalten werden:

Die Information „SIFI-Siegel“ hatte teilweise keinen hohen Neuigkeitswert, d. h. die offizielle Vergabe des Siegels zeitigt nicht immer einen Effekt, weil das Gros der Marktteilnehmer vermutlich bereits vorher annahm, dass diese Banken systemrelevant seien.

Die Information hatte zwar einen Neuigkeitswert, allerdings waren die Marktteilnehmer überwiegend der Auffassung, dass das SIFI-Siegel mit negativen Folgen für die langfristige Ertragsentwicklung verbunden ist: Im Zuge aller drei Events wurde zusätzlich bekanntgegeben, dass die genannten SIFI künftig besonders hohe Kapital- und weitere Regulierungsanforderungen erfüllen müssen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts

⁸ Vgl. ausführlich Kleinow/Nell/Rogler/Horsch (2014).

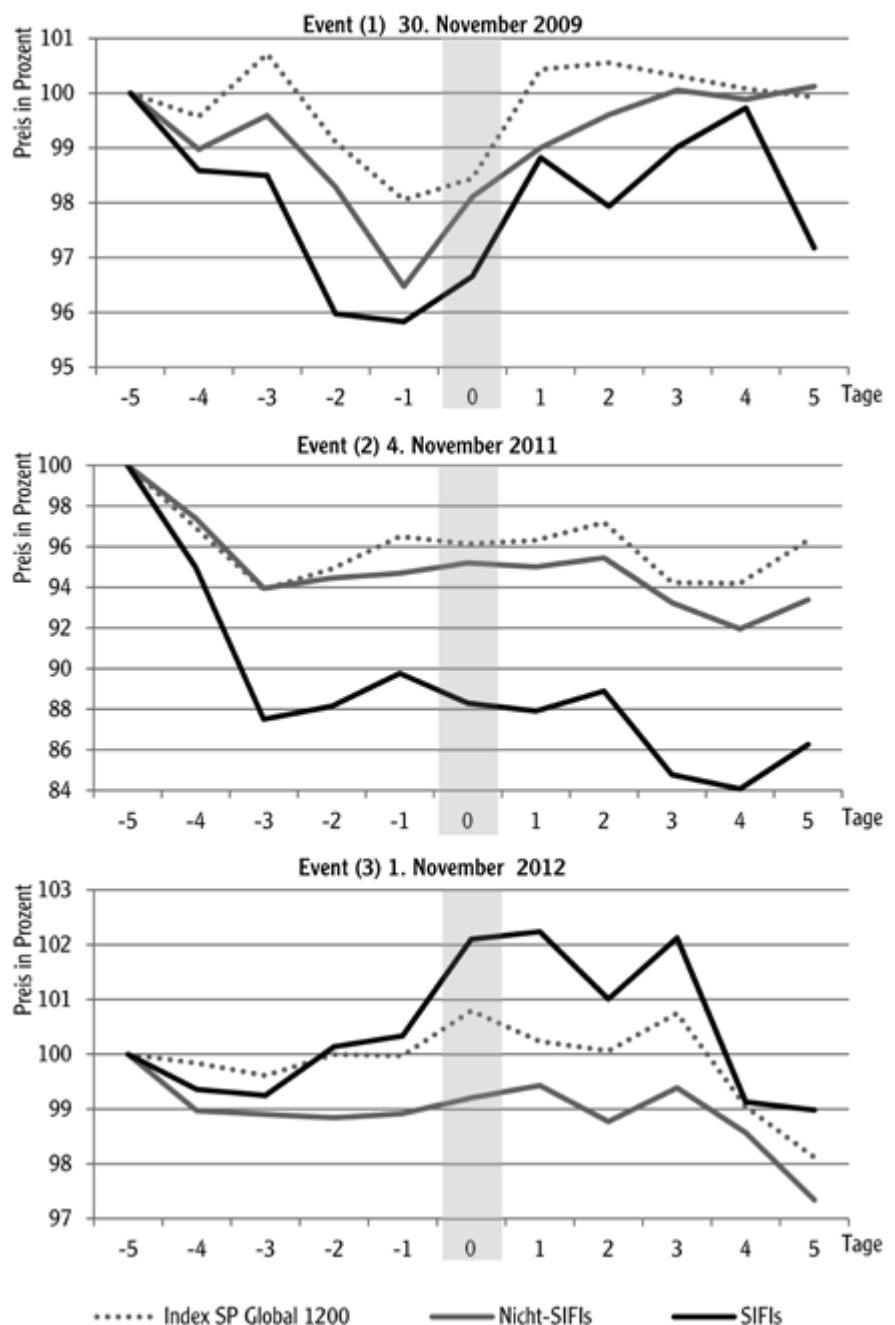


Abb. 1: Reaktion der Aktienpreise auf SIFI-Ankündigungsereignisse. Die Graphen zeigen Indizes für Aktienpreise der SIFI-Bankengruppe (SIFI), der Kontrollgruppe (Nicht-SIFI) und des gewählten Marktportfolioproxys Index SP Global 1200.

wurde daraufhin analysiert, ob Marktteilnehmer die systemische Relevanz eines Finanzinstituts in ihrem Handeln berücksichtigen. Konkret wurde gezeigt, inwiefern Finanzinstitute durch Systemrelevanz an Wert gewinnen. Anschließend sollte versucht werden, Systemrelevanz zu messen/zu quantifizieren. Nachdem dafür alternative Messmethoden ermittelt wurden – wobei die Messbarkeit der Systemrelevanz grundsätzlich in Frage gestellt werden kann – lassen sich Aussagen zum Ausmaß der jeweiligen Systemrelevanz treffen. Liegen Indizien für

Systemrelevanz vor, ermöglicht dies die Analyse ihrer Ursachen.

Systemrisiken Begriff und Arten

Seit dem Beginn der Krisenprozesse im Jahr 2007 deutete sich an, dass sich (makro)ökonomische Modelle zu selten (Preis-)Informationen, die Finanzmärkte bieten, zunutze mach(t)en. Bestehende Messsysteme offenbarten nicht früh genug Fragilitäten im Finanzsektor, und diverse Modelle bildeten den Einfluss von systemischen Risiken unzureichend ab.

Systemrisiken haben allerdings sehr schnell an Bedeutung gewonnen, so dass ihre Berücksichtigung mittlerweile ein fester Bestandteil der neueren, krisengetriebenen Regulierungskonzepte ist. Die Begriffe Systemrisiko, systemisches Risiko bzw. Systemic Risk werden dabei in der wissenschaftlichen Literatur synonym verwendet.⁹

Ausgangspunkt für die Messung von systemischen Risiken und die Identifikation systemrelevanter Finanzinstitute ist die Frage, in welchem voraussichtlichen Ausmaß die Insolvenz eines Finanzinstituts das Finanzsystem und in der Folge die Realwirtschaft zu beeinträchtigen vermag. Diese Frage ist ebenso grundlegend wie das Dilemma, in das sie führt: Zweifelsfrei ließe sich Systemrelevanz nur im Falle einer faktischen Insolvenz, die tatsächlich systemdestabilisierend wirkt, nachweisen. Auch aus der Historie heraus fällt eine Antwort nicht einfach, da große Finanzinstitute bisher nur in Ausnahmefällen nicht gerettet worden sind. Moderne Ansätze greifen daher regelmäßig auf mehr als einen Indikator/eine Messgröße aus den folgenden beiden Auffassungen des Begriffs „Systemrisiko“ zurück (s. Abb. 2):

(a) Zum einen versteht man unter Systemrisiko den Systemrisikobeitrag einer Finanzinstitution, d. h. potenzielle Ausstrahlungseffekte (*spillover effects*) von einer Finanzinstitution auf andere. Diese Definition bezieht sich auf das Faktum der von der Mikro- zur Makroebene übergreifenden Kausalität. Wenn der erste Dominostein fällt, fallen nach diesem Verständnis weitere – im Sinne einer Kettenreaktion. Beispielsweise könnten der Ausfall eines bedeutenden Schuldners oder hohe unerwartete Verluste im Eigenhandel eine Bank A zahlungsunfähig machen. Dieser individuelle Schock (bottom up) wird nun auf unterschiedliche Art und Weise auf weitere Finanzmarktteilnehmer (Bank B, Bank C, ...) im Bankensystem übertragen. Je mehr Banken „angesteckt“ würden (financial contagion) und je weiter damit einhergehende Verluste deren Kapitalpuffer überstiegen (Verkettung von Insolvenzen), desto größer wäre das von der Bank A ausgehende Systemrisiko.

⁹ Vgl. für synonyme Verwendungen beim DIW Beck/Bremus (2007); bei der Deutschen Bundesbank Dombret (2013); Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2009), S. 116-163 passim, und beim Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung Schröder (2013).

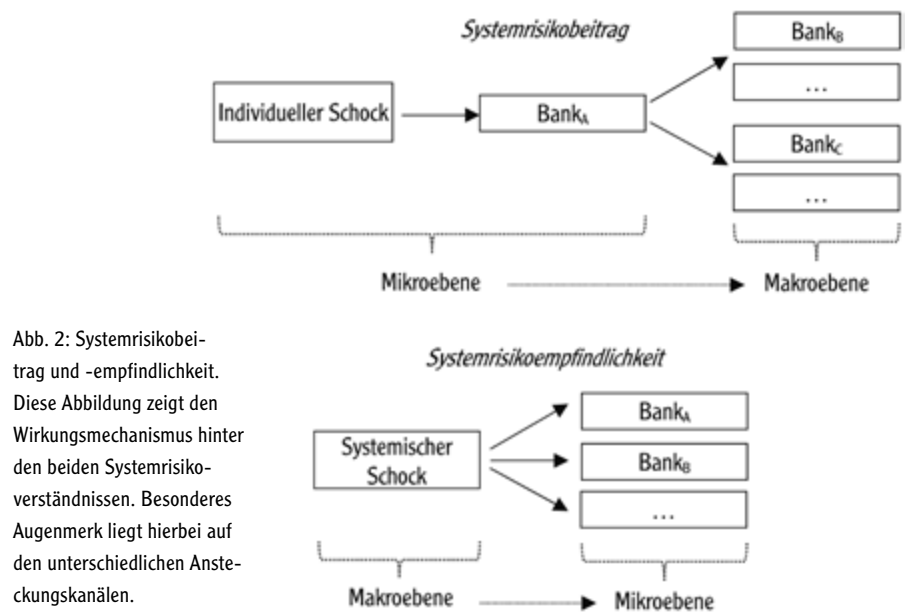


Abb. 2: Systemrisikobeitrag und -empfindlichkeit. Diese Abbildung zeigt den Wirkungsmechanismus hinter den beiden Systemrisikoverständnissen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf den unterschiedlichen Ansteckungskanälen.

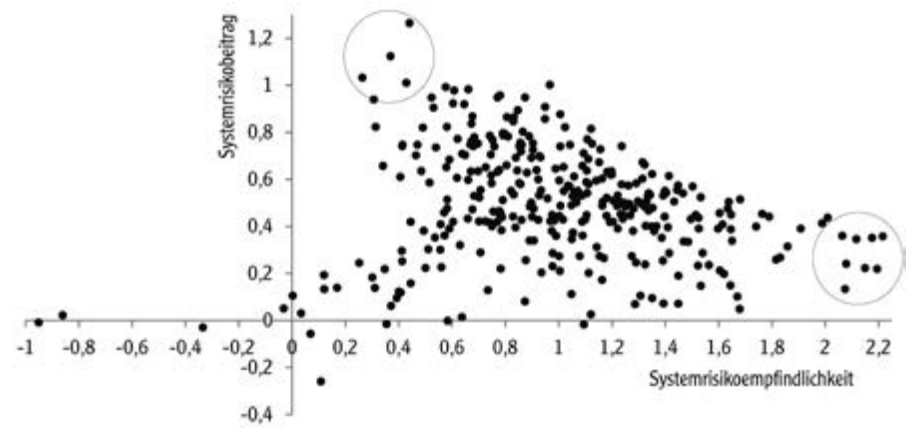


Abb. 3: Systemrisikobeitrag und -empfindlichkeit der Banken. Diese Abbildung zeigt einen Vergleich des Systemrisikobeitrags und der -empfindlichkeit der europäischen Banken im Untersuchungssample für den Zeitraum 2007–2012.

(b) Zum anderen versteht man unter Systemrisiko die Systemrisikoempfindlichkeit einer Finanzinstitution. Diese Definition nimmt Bezug auf einen „großen Schock“, der von der Makroebene ausgeht, hin zur Mikroebene, der nahezu simultan adverse Effekte für die meisten oder alle Finanzinstitute nach sich zieht. Ein solcher systemischer Schock („top-down“) könnte bspw. eine Leitzins-/Wechselkursänderung oder auch eine Naturkatastrophe sein. Je weiter eine Bank Gefahr läuft, von solchen Ereignissen „mitgerissen“ zu werden, desto höher ist nach diesem Verständnis das Systemrisiko (siehe Abb. 2). Hierbei steht der Transmissionsprozess – anders als bei (a) – weniger im Vordergrund.

Messung

Zur Messung der beiden Systemrisikoarten wurden die Messgrößen Systemrisikobeitrag und -empfindlichkeit

auf der Grundlage von Aktienkursdaten ausgewählter Finanzinstitute berechnet.¹⁰ Analysiert wurden 123 Finanzinstitute aus 22 Ländern, die sich im Jahr 2014 einem von der Europäischen Bankenaufsichtsbehörde (EBA) durchgeführten Stresstest unterziehen mussten und damit potenziell systemrelevant sind. Wie die Ergebnisse der Gegenüberstellung von Systemrisikobeitrag und -empfindlichkeit zeigen, ist ein gewisser *Trade-off* erkennbar (siehe Abb. 3). Dies bedeutet, dass es zum einen Banken gibt, die besonders zu systemischen Risiken beitragen, und wiederum andere, die besonders sensibel auf systemische Risiken reagieren.

Die Ergebnisse einer weiteren Studie des Forschungsprojekts zu den Ansteckungsrisiken im europäischen Bankensystem zeigen, dass die Übertragung

¹⁰ Zur Berechnung vgl. Kleinow/Nell (2015).

von negativen Effekten zwischen Kreditinstituten nicht zu jeder Zeit in gleichem Ausmaß stattfindet, sondern dass systemische (Ansteckungs-)Risiken gerade in besonders prekären Marktphasen enorm steigen (siehe Abb. 4). Dies führt zu entscheidenden Implikationen für Bankenaufsicht und -regulierung.¹¹

Die angedeuteten Erkenntnisse führten die Forschungskoooperation der beiden Lehrstühle im nächsten Schritt zu der Frage nach den Gründen für die Unterschiedlichkeit der Systemrisikomuster von Banken. Warum tragen manche Banken nicht unerheblich zu Systemrisiken im europäischen Finanzsektor bei, obwohl sie sehr widerstandsfähig gegenüber systemischen Schocks sind (und umgekehrt)?

Ursachen und Regulierungsimplicationen

Mit Blick auf Faktoren, die die systemische Bedeutung europäischer Banken bestimmen, wird im Rahmen des Forschungsprojekts versucht, Treiber für das Systemrisiko der Banken im untersuchten Sample zu identifizieren. Im Rahmen der Ursachenanalyse ist dazu eine Datenbank aufgebaut worden. Die Daten wurden dann anhand von Panelregressionen analysiert, bei denen Systemrisikoempfindlichkeit und der Systemrisikobeitrag einer Bank als abhängige Variable sowie die bank- und makrospezifischen Faktoren als unabhängige Variable dienen: Die Ergebnisse in Tab. 1 zeigen, dass systemisches Risiko mit verschiedenen Charakteristiken von Finanzinstituten, wie bspw. deren Größe (SIZE), im Zusammenhang steht.¹²

Ein überraschendes – und daher weiter zu untersuchendes – Resultat ist dabei, dass die Größe keine verstärkende, sondern vielmehr eine eindämmende Wirkung auf das Systemrisiko hatte. Dies könnte mit der implizit bestehenden staatlichen Insolvenzversicherung großer Finanzinstitute begründet werden. In einem solchen Fall mag die Regulierung der Maximalgröße zur Mitigation von Systemrisiken ungeeignet sein.

Die Resultate bestätigen die über systemrelevante Finanzinstitute verfügbare Literatur, in der Bankgröße, Aktiva- und Ertragsstruktur, Verlustabsorptionsfähigkeit, Liquiditätsstruktur, Profitabilität und verschiedene makroökonomische Variablen als systemische Risikotreiber ausgemacht worden sind. Darüber hinaus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass

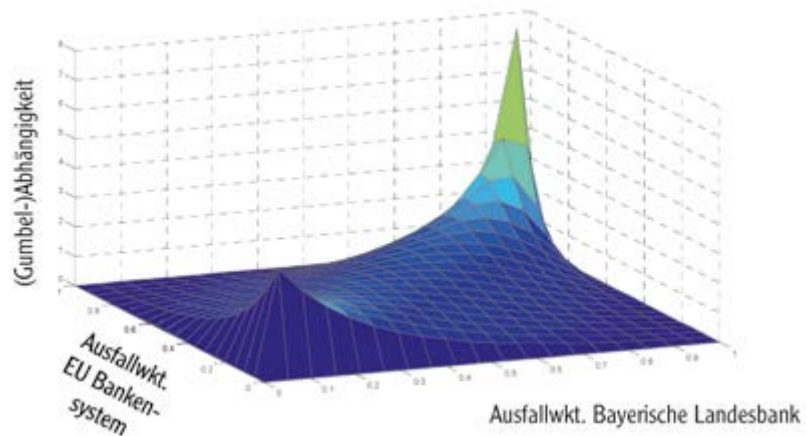


Abb. 4: Unterschiedliche Abhängigkeitsstrukturen zwischen Banken: Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Zahlungsausfalls der Bayerischen Landesbank und des europäischen Bankensystems.

Tab. 1: Unbalancierte Panelregressionen der Systemrisikoindizes der Banken. Diese Tabelle zeigt die Ergebnisse der Panelregressionen (Fixed effects) auf das Systemrisiko der Banken im europäischen Bankensektor. Zur Schätzung des linearen Panel-Regressionsmodells werden heteroskedastie-robuste Huber-White (1980) Standardfehler verwendet. Die p-Werte sind in Klammern angegeben. */**/** kennzeichnen die Signifikanz des Koeffizienten auf dem 10%-, 5%- bzw. 1%-Niveau.

Abhängige Variable		Erwarteter Einfluss	Systemrisiko- beitrag	Systemrisiko- empfindlichkeit
Size	SIZE	+	-0.313* (0.098)	0.328 (0.307)
Loan ratio	LOAN	+/-	0.077 (0.696)	0.601 (0.247)
Non-interest income ratio	NON_INT	+/-	0.016 (0.579)	0.192*** (0.009)
Non-performing loan ratio	NON_PERF	+	-2.861 (0.111)	5.367 (0.307)
Leverage ratio	LEVERAGE	+	0.001 (0.264)	0.002 (0.438)
Deposit ratio	DEPOSIT	-	0.298 (0.243)	0.982 (0.129)
Tier 1 ratio	TIER1	+/-	-0.292 (0.449)	2.568** (0.037)
Liquidity ratio	LIQUIDITY	-	0.023 (0.271)	0.251*** (0.004)
Financial power	FIN_POW		-0.231 (0.569)	-3.692*** (0.005)
Operating margin	OP_MARG	+/-	-0.049 (0.668)	0.426** (0.041)
Return on invested cap.	ROIC	+/-	0.239 (0.638)	-2.577** (0.017)
Income growth	INCOME	+/-	0.045* (0.092)	0.015 (0.833)
Market-to-book ratio	MBR	+/-	-0.034 (0.287)	0.253** (0.013)
Long-term rating	LTR	+	-0.528*** (0.000)	0.063 (0.845)
Political stability	POLITIC_STAB	-	-0.093 (0.153)	0.514*** (0.001)
Regulatory quality	REGULATION	-	0.487*** (0.000)	-0.808*** (0.002)
Bank concentration	CONCENTRATION	+	-0.569** (0.040)	1.119** (0.028)
Government debt ratio	DEBT	+	0.115 (0.496)	-0.952** (0.031)
Bank claim ratio	BANK_CL	+	0.011 (0.958)	1.968** (0.024)
Observations			334	334
Groups			60	60
R ²			within 0.462	within 0.362

11 Vgl. ausführlich Kleinow/Moreira (2015).

12 Vgl. ausführlich Kleinow/Nell (2015).

einfachere Ansätze zur Messung von Systemrisiken nicht tauglich wären, weil der Systemrisikobeitrag einer Bank nicht zwangsläufig von den gleichen Faktoren wie deren Systemrisikoempfindlichkeit ausgelöst wird.

Zusammenfassung und Ausblick

Im gemeinsamen Forschungsprojekt der Professuren Investition und Finanzierung sowie Rechnungswesen und Controlling werden derzeit die wichtigsten Treiber für Systemrisiken in Europa erforscht. Speziell wird zu ergründen versucht, warum manche Banken mehr zu Systemrisiken im europäischen Finanzsystem beitragen könnten als andere. Erste Ergebnisse zeigen, dass Regulierer zur Bemessung des Systemrisikos einer Bank künftig eine größere Vielfalt von Indikatoren berücksichtigen müssen. Wenngleich unterschiedliche Kennzahlen zur Messung von Systemrisiken in der jüngsten Literatur bereits vorgeschlagen werden, wird die Dringlichkeit aktueller Regulierungsansätze zur Identifikation von systemrelevanten Banken in Europa mittels einer Reihe von Indikatoren unterstützt. Makroprudentielle Regulierung

ist zwecks Vermeidung von Systemrisikokrisen im Bankensystem unverzichtbar, wie erste Ergebnisse verdeutlichen. Die Resultate aus dem Forschungsprojekt zeigen auch, dass bestehende mikroprudentiell orientierte Vorschriften zur Liquidität, zum haftenden Eigenkapital und zum Verschuldungsgrad von Banken eine nur geringe Effektivität bei den Bemühungen um die Vermeidung von systemischen Risiken versprechen und Regulierer neue Kennzahlen wie bspw. den Grad der Diversifikation der Aktiva berücksichtigen sollten, um Systemrisiken im Bankensystem zu mitigieren.

Literaturverzeichnis

- Bandt, Olivier de/Hartmann, Philipp (2000): Systemic risk: A survey, Working Paper No. 35, Europäische Zentralbank, Frankfurt.
- Beck, Anne/Bremus, Franziska (2007): Wie kann systemisches Risiko beschränkt werden?, DIW Roundup 36, DIW Berlin.
- Dombret, Andreas R. (2013): Systemrisiko, „too big to fail“-Problematik und Abwicklungsregelungen, Deutsche Bundesbank, Keynote zum Salzburg Global Seminar - Out of the Shadows: Should Non-Banking Financial Institutions be Regulated? vom 19.08.2013, Salzburg.
- Gruppe der 20 (2009): Erklärung (London) - Londoner Gipfeltreffen - Erklärung der Staats- und Regierungschefs 2. April 2009.

- Kleinow, Jacob/Horsch, Andreas (2014): The impact of state guarantees on banks' ratings and risk behaviour, in: Journal of Governance and Regulation 3 (2), S. 42-57.
- Kleinow, Jacob/Nell, Tobias/Rogler, Silvia/Horsch, Andreas (2014): The value of being systemically important: event study on regulatory announcements for banks, in: Applied Financial Economics 24 (24), S. 1585-1604.
- Kleinow, Jacob/Nell, Tobias (2015): Determinants of Systemically Important Banks: The Case of Europe, Financial Economic Policy 7 (4).
- Kleinow, Jacob/Moreira, Fernando (2015): Systemic Risk, Contagion and Joint Default Probability: A Copula Approach, Working Paper TU Freiberg/Edinburgh University, Freiberg/Edinburgh (under second revision).
- O'Hara, Maureen/Shaw, Wayne (1990): Deposit Insurance and Wealth Effects: The Value of Being "Too Big to Fail", in: Journal of Finance 45 (5), S. 1587-1600.
- Roth, Michael (1994): "Too-big-to-fail" and the stability of the banking system: Some insights from foreign countries, in: Business economics 29 (4), S. 43-49.
- Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (2009): Jahresgutachten 2009/2010, Wiesbaden.
- Schröder, Michael (2013): Trennbanken - Eine analytische Bewertung von Trennbankenelementen und Trennbankensystemen im Hinblick auf Finanzmarktstabilität, Berlin.
- Sprague (1986): Silent partners - Uncle Sam's compact with the big banks, in: Bankers Monthly 103 (November), S. 28-30.

Neue handelsrechtliche Berichtspflichten für Unternehmen des Rohstoffsektors – der (Konzern-)Zahlungsbericht

Silvia Rogler¹, Stephan Rohleder²

Einführung

Am 18. Juni 2015 hat der Deutsche Bundestag, aufbauend auf der Richtlinie 2013/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013, das Bilanzrichtlinie-Umsetzungsgesetz (BilRUG) verabschiedet, welches am 23. Juli 2015 in Kraft getreten ist. Mit dem BilRUG werden für deutsche Unternehmen des Rohstoffsektors neue Berichtspflichten eingeführt, auf die sich die bilanzierenden Unternehmen, aber auch die Bilanzadressaten einstellen müssen. Gefordert wird die Aufstellung eines sog. Zahlungsberichts, in dem alle Zahlungen offengelegt werden, die Unternehmen des Rohstoffsektors zur Aufrechterhaltung ihrer Aktivitäten an Staaten bzw. staatliche Stellen leisten

(*country-by-country-reporting*) [1]. Mit der Einführung des Zahlungsberichts soll die Transparenz der Rechnungslegung von Unternehmen des Rohstoffsektors erhöht werden, um Korruption vorzubeugen und die Partizipation aller Gesellschaftsteile an den Ressourcen eines Landes zu ermöglichen [2]. Mit der Einführung des Berichts ist eine Reihe von Forschungsfragen entstanden, die am Lehrstuhl für Rechnungswesen und Controlling der TU Bergakademie Freiberg in einem aktuellen Forschungsprojekt untersucht werden [3]. Beispielsweise ist zu klären, wie der Zahlungsbericht gestaltet sein sollte, um die Anforderungen der bilanzierenden Unternehmen auf der einen Seite und die der Bilanzleser auf der anderen Seite weitgehend zu erfüllen. Zudem stellt sich die Frage, ob mit den derzeitigen Regelungen die Ziele der EU-Kommission erreicht werden können. Im vorliegenden Beitrag wird ein kurzer Überblick über die Neuregelungen gegeben.

Zielsetzung und Anwendungsbereich des (Konzern-)Zahlungsberichts

Die neuen Vorschriften verpflichten Unternehmen, die in der extraktiven Industrie tätig sind oder Holzeinschlag in Primärwäldern betreiben [4], zur Erstellung eines gesonderten Berichts über die von ihnen weltweit an staatliche Stellen im Zusammenhang mit ihrer Tätigkeit geleisteten Zahlungen. Dieser Bericht soll den Regierungen ressourcenreicher Länder dabei helfen, die EITI-Grundsätze und -kriterien [5] umzusetzen. [6] „Es soll ein Abgleich ermöglicht werden, ob die von den (Finanzbehörden der) Staaten deklarierten Einnahmen tatsächlich den Zahlungen der Unternehmen entsprechen, oder ob ein Teil der Zahlungen an öffentlichen Haushalten vorbeigeleitet, unterschlagen oder für Zwecke verwendet wird, für die aus gesamtwirtschaftlicher Sicht keine oder eine nur geringe Notwendigkeit besteht.“ [7]

Die Verpflichtung, einen (Konzern-)Zahlungsbericht aufzustellen, besteht

1 Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg, Professur für ABWL, insbesondere Rechnungswesen und Controlling

2 Dr. Stephan Rohleder, TU Bergakademie Freiberg, wissenschaftlicher Mitarbeiter an obiger Professur

für alle Kapitalgesellschaften und diesen gleichgestellte Unternehmen, die die Vorschriften für große Gesellschaften anwenden müssen (§ 341q HGB n.F.), sowie für Unternehmen, die Mutterunternehmen i.S.d. § 290 HGB sind (§ 341v HGB n.F.). Problematisch ist, dass die Darstellung im Konzernabschluss, die die Darstellung im Einzelabschluss ersetzt (§ 341s Abs. 2 HGB n.F.), nur in konsolidierter Form zu erfolgen hat, so dass ein Rückschluss auf die Zahlungen der einzelnen Töchter oder der Mutter nicht möglich ist.

Erfasst werden alle Aktivitäten im Bereich der Exploration, Prospektion, Entdeckung, Weiterentwicklung und Gewinnung von Mineralien, Erdöl- oder Erdgasvorkommen sowie anderer Stoffe (§ 341r Nr. 1 HGB n.F.). Dies betrifft die Wirtschaftszweige Kohlenbergbau, Gewinnung von Erdöl und Erdgas, Erzbergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau [8]. Damit werden grundsätzlich alle Upstream-Aktivitäten erfasst. Nicht genannt und damit vermutlich nicht berichtspflichtig sind Zahlungen, die die Downstream-Aktivitäten betreffen. Inwiefern dies der gewünschten Transparenz dienlich ist, darf bezweifelt werden.

Gesetzliche Anforderungen an den (Konzern-)Zahlungsbericht

Bei der Berichterstattung sind formelle und materielle Anforderungen zu beachten, die die zeitliche (Zeitpunkt und -raum sowie Intensität) und die inhaltliche (wesentliche Zahlungen, staatliche Stellen und Zahlungsgründe) Ausgestaltung der Berichterstattung determinieren. Zu den *formellen Anforderungen* gehören:

- Erstellung jährlich (§ 341s Abs. 1 HGB n.F.) und bezogen auf das jeweilige Geschäftsjahr (§ 341r Nr. 8 HGB n.F.)
- Erfassung aller Zahlungen, die im Berichtszeitraum für die Tätigkeiten in der extraktiven Industrie an staatliche Stellen geleistet wurden (§ 341t Abs. 1 HGB n.F.), wobei Sachleistungen Geldleistungen gleichgestellt werden (§ 341r Nr. 3 HGB n.F.)
- Negativvermerk bei Unternehmen, die zwar in den genannten Bereichen tätig sind, jedoch keine Zahlungen innerhalb eines Geschäftsjahres an Staaten bzw. staatliche Stellen getätigt haben (§ 341t Abs. 1 HGB n.F.)
- Einreichung beim Bundesanzeiger spätestens zwölf Monate nach dem Abschlussstichtag (§ 341w Abs. 1 und 2 HGB n.F.); derzeit keine Prüfungspflicht

Als *materielle Anforderungen* sind zu beachten:

- Berichterstattung über wesentliche Zahlungen, wobei eine Untergrenze von 100.000 € vorgegeben wird; dabei ist nicht auf den Betrag einer einzelnen Zahlung, sondern auf den Gesamtwert aller wirtschaftlich zusammenhängenden Zahlungen abzustellen (§ 341t Abs. 4 HGB n.F.)
- Aufgliederung der Zahlungen nach Staaten sowie den einzelnen staatlichen Stellen (§ 341u Abs. 1 HGB n.F.); dabei ist eine staatliche Stelle eine Behörde eines Staates, eine von einem Staat kontrollierte Abteilung oder ein Unternehmen, auf das ein Staat einen beherrschenden Einfluss i.S.v. § 290 HGB ausübt (§ 341r Nr. 4 HGB n.F.)
- Aufgliederung der Zahlungen nach Zahlungsgründen (§ 341u Abs. 2 HGB n.F.), d. h.
 - * Produktionszahlungsansprüche
 - * Steuern, die auf Erträge, Produktion oder Gewinne von Kapitalgesellschaften erhoben werden
 - * Nutzungsentgelte
 - * Dividenden und andere Gewinnausschüttungen aus Gesellschaftsanteilen
 - * Unterzeichnungs-, Entdeckungs- und Produktionsboni
 - * Lizenz-, Miet- und Zugangsgebühren sowie sonstige Gegenleistungen für Lizenzen oder Konzessionen
 - * Zahlungen für die Verbesserung der Infrastruktur (§ 341r Nr. 3 HGB n.F.)
- Aufgliederung der Zahlungen nach Projekten (§ 341u Abs. 3 HGB n.F.), wobei ein Projekt als Zusammenfassung operativer Tätigkeiten definiert wird, aus denen sich die Zahlungsverpflichtungen gegenüber den staatlichen Stellen ergeben (§ 341r Nr. 5 HGB n.F.); dabei kann die projektspezifische Berichterstattung unterbleiben, wenn die Erfüllung der Zahlungsverpflichtungen auf der Ebene des Unternehmens und nicht auf der einzelner Projekte erfolgt (§ 341u Abs. 4 HGB n.F.)

Grundsätzlich sind die Bemühungen der EU-Kommission um eine Erhöhung der Transparenz bezüglich der Zahlungen an staatliche Stellen im Zusammenhang mit Tätigkeiten in der mineralische Rohstoffe gewinnenden Industrie zu würdigen. Fraglich ist aber, ob die postulierte Nachprüfbarkeit der Zahlungsvorgänge auch erreicht werden kann. Insbesondere die

vielfältigen Spielräume bei der Aggregation von Informationen und auch zur Umgehung der Berichtspflicht stehen dieser Zielsetzung entgegen. Häufig dürfte es für die Unternehmen auch einfach unmöglich sein, überhaupt eine Berichtspflicht festzustellen, wenn z. B. nur eine mittelbare Verbindung zwischen Zahlungsempfänger und Staat besteht. Selbst wenn über solche Zahlungen ordnungsgemäß berichtet wird, ist zu hinterfragen, wer den Nutzen aus diesen Informationen ziehen soll. Denn die teilweise Offenlegung der Einnahmenseite der Staaten garantiert prinzipiell keine Informationen darüber, wofür dieses Geld wieder ausgegeben wird.

Vorschlag für die Ausgestaltung des (Konzern-)Zahlungsberichts

Abgesehen von den zuvor dargestellten Anforderungen enthält das BilRUG keine konkreten Regelungen zur Ausgestaltung des Zahlungsberichts. Somit können die Unternehmen selbst entscheiden, welche Berichtsform sie wählen. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wäre es aber wünschenswert, wenn sich dazu eine einheitliche Auffassung entwickeln würde. Da der Bericht eine Schlüsselung der Zahlungen auf unterschiedlichen Ebenen vorsieht, wäre ein tabellarischer Aufbau am aussagekräftigsten. Er gewährleistet am ehesten die Nachvollziehbarkeit und genügt damit den allgemeinen Grundsätzen der Klarheit und Übersichtlichkeit (§ 243 Abs. 2 HGB). Sinnvollerweise sollte für jeden Staat ein separates Tabellenblatt verwendet werden (*vgl. Tabelle 1*), um die vorgeschriebene Gliederung nach den einzelnen Staaten, den dazugehörigen staatlichen Stellen sowie - sofern abgrenzbar - den Projekten verwirklichen zu können [9].

Die *Differenzierung nach staatlichen Stellen*, an die innerhalb des Geschäftsjahres Zahlungen geleistet wurden, empfiehlt sich auf Zeilenebene, da hier ggf. eine weitere Untergliederung nach Projekten erforderlich ist. Der Staat und die jeweiligen staatlichen Stellen sind namentlich aufzuführen, wobei eine eindeutige Zuordnung gewährleistet werden muss (§ 341u Abs. 1 HGB n.F.). Dies kann man dadurch erreichen, dass die jeweilige amtliche Bezeichnung verwendet und zusätzlich der Ort und/oder die Sitzregion der staatlichen Stelle angegeben werden. Zur Erreichung der wünschenswerten Einheitlichkeit könnte überlegt werden, einen entsprechenden Katalog durch den Gesetzgeber vorzugeben.

Die *Aufspaltung nach der Art der jeweiligen Zahlungen (Zahlungsgründe)* erfolgt dann auf Spaltenebene, wobei auch der Gesamtbetrag der Zahlungen an eine staatliche Stelle anzugeben ist (§ 341u Abs. 2 HGB n.F.). Für die Bezeichnung innerhalb des Tabellenkopfes genügt die Angabe des maßgeblichen Buchstaben des § 341r Nr. 3 HGB n.F. Da die Überschneidungsfreiheit der einzelnen Zahlungsgründe nicht immer gegeben ist, wäre es aus Gründen der Klarheit sinnvoll, wenn auch nicht explizit im Gesetz gefordert, ggf. Mitzugehörigkeitsvermerke (i.S.v. § 265 Abs. 3 HGB) zu ergänzen.

Des Weiteren ist die *Aufteilung der Zahlungen auf Projektebene* zu gewährleisten, bspw. durch eine weitere Untergliederung auf Zeilenebene. Hierzu gehören eine eindeutige Bezeichnung der Projekte und die Angabe sowohl des Gesamtbetrags der Zahlungen für ein Projekt an eine staatliche Stelle als auch eine Aufspaltung dieses Gesamtbetrags nach dem jeweiligen Projekt und dem jeweiligen Zahlungsgrund (§ 341u Abs. 3 HGB n.F.). Da auf eine projektspezifische Untergliederung von Zahlungen verzichtet werden kann, wenn die entsprechenden Zahlungsverpflichtungen nur auf Unternehmensebene anfallen, ist es aber erforderlich, projektbezogene und nicht projektbezogene Zahlungen getrennt voneinander anzugeben.

Über diesen den gesetzlichen Mindestanforderungen entsprechenden (Konzern-) Zahlungsbericht hinaus wäre es für den Bilanzadressaten hilfreich, wenn weitere Tabellen bereitgestellt würden, die einen schnelleren Überblick ermöglichen, bspw. eine Zusammenfassung aller Zahlungen an einen Staat (vgl. *Tabelle 2*) oder eine Zusammenfassung aller Zahlungen an alle Staaten (vgl. *Tabelle 3*) [10]. Die erste Zusammenfassung hätte den Vorteil, dass alle Zahlungen an einen Staat, getrennt nach Projekten und Zahlungsgründen, ersichtlich wären. Die zweite Zusammenfassung erlaubt es den Bilanzadressaten, einen besseren Überblick über die insgesamt von einem Unternehmen (Konzern) innerhalb des Berichtszeitraums geleisteten Zahlungen im Zusammenhang mit seiner Tätigkeit in der extraktiven Industrie zu gewinnen. Zudem hätte sie den Vorteil, dass auch bei staatsübergreifenden Projekten eine aggregierte Angabe verfügbar wäre.

Damit die Bilanzadressaten sehr schnell ein aggregiertes Bild über die je Staat geleisteten Zahlungen erhalten,

Tabelle 1: (Konzern-)Zahlungsbericht für geleistete Zahlungen an Stellen des Staates X, 01.01.–31.12.t₁

Staatliche Stelle 1		Zahlungsgrund							Summe
		A	B	C	D	E	F	G	
	Projekt 1								
	Projekt ...								
Projektbezogen									
Nicht projektbezogen									
Summe staatliche Stelle 1									
Staatliche Stelle 2		Zahlungsgrund							Summe
		A	B	C	D	E	F	G	
...									
Summe Staat X									

Tabelle 2: Zusammenfassung der an Staat X geleisteten Zahlungen, getrennt nach Projekten und Zahlungsgründen, 01.01.–31.12.t₁

Staat X		Zahlungsgrund							Summe
		A	B	C	D	E	F	G	
	Projekt 1								
	Projekt ...								
Projektbezogen									
Nicht projektbezogen									
Summe Staat X									

Tabelle 3: Zusammenfassung der an alle Staaten geleisteten Zahlungen, getrennt nach Projekten und Zahlungsgründen, 01.01.–31.12.t₁

Alle Staaten		Zahlungsgrund							Summe
		A	B	C	D	E	F	G	
	Projekt 1								
	Projekt ...								
Projektbezogen									
Nicht projektbezogen									
Summe alle Staaten									

Tabelle 4: Übersicht über geleistete Zahlungen nach Staaten und Zahlungsgründen, 01.01.–31.12.t₁

Staat	Zahlungsgrund							Summe
	A	B	C	D	E	F	G	
Staat X								
Staat ...								
Summe Staaten								

Tabelle 5: 10-Jahres-Übersicht über geleistete Zahlungen nach Staaten

Staaten	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	Summe
Staat X											
Staat ...											
Summe Staaten											

könnte noch eine ergänzende Übersicht erstellt werden, die nur die Zahlungen differenziert nach Staaten und jeweiligem Zahlungsgrund enthält (vgl. *Tabelle 4*). Nur, wenn eine genauere Analyse gewünscht ist, müsste der Bilanzleser auf die beschriebenen, wesentlich umfangreicheren Tabellenblätter zurückgreifen.

Wird dieser Gedanke um die Überlegung ergänzt, dass es für die Bilanzadressaten von Bedeutung ist, auch über die zeitliche Entwicklung der geleisteten Zahlungen informiert zu werden, z. B. als Hinweis auf die Intensivierung der Tätigkeit der mineralische Rohstoffe gewinnenden Industrie in einem bestimmten Staat, so könnte zusätzlich noch eine Mehrjahresübersicht, z. B. für die letzten zehn Jahre, über den Gesamtbetrag der Zahlungen je Jahr und je Staat gegeben werden (vgl. *Tabelle 5*).

In Zukunft wird sich zeigen, inwieweit solche Übersichten von den Adressaten gewünscht und dementsprechend von den Unternehmen umgesetzt werden. Ein diesbezüglich herauszubildendes *Best-practice*-Verfahren könnte dann Ausgangspunkt für die bereits angekündigte Überprüfung der in der EU umzusetzenden Normen sein [11].

Auswirkungen auf das Berichtswesen der Unternehmen

Für den (Konzern-)Zahlungsbericht werden Zahlungsgrößen benötigt. Zudem ist eine projektspezifische Schlüsselung erforderlich, die zusätzlich nach Staaten, staatlichen Stellen und Zahlungsgründen differenziert. Fraglich ist, wie diese Informationen aus dem betrieblichen Berichtswesen extrahiert werden können. Grundsätzlich denkbar wäre die Anknüpfung an bestehende Berichtssysteme oder aber die Implementierung eines eigenständigen Berichtssystems [12].

Eine separate Berichtsstruktur hätte den Vorteil, dass diese nur mit den genannten Anforderungen in Einklang stehen und keinen weiteren Zwecken oder Grundsätzen genügen müsste. Ein Nachteil dieser Variante wäre allerdings, dass ein zusätzliches Berichtssystem erforderlich würde. Hierbei entstehen nicht nur ein einmaliger Implementierungsaufwand, sondern auch laufende Kosten, da die Zahlungsgrößen nicht nur in diesem System, sondern auch in anderen bereits etablierten Berichtssystemen erfasst werden müssten, was aus Wirtschaftlichkeitsgründen abzulehnen ist.

Unter diesem Aspekt ist einzig die

Anknüpfung an bereits bestehende Berichtssysteme sinnvoll. Es ist aber zu beachten, dass die Übernahme der Daten, beispielsweise aus dem Jahresabschluss oder der Kosten- und Leistungsrechnung, Anpassungen erfordert. Aufgrund der diesen Systemen zugrunde liegenden Periodenabgrenzung ergeben sich Abweichungen, denn den dort erfassten Rechengrößen stehen nicht immer auch entsprechende Zahlungsgrößen gegenüber. Zweckmäßig wäre daher ein Rückgriff auf die ursprünglichen Geschäftsvorfälle der Finanzbuchführung und die Einführung einer zusätzlichen Kontierung, um die geforderten Attribute hinterlegen zu können. Hierbei könnte auch auf bereits vorhandene projektbasierte Berichtsstrukturen zurückgegriffen werden.

Welche dieser Varianten letztlich gewählt wird, dürfte zwischen den Unternehmen variieren und von den bestehenden Strukturen sowie dem Umfang der Zahlungen abhängen [13]. Entscheidend ist, dass sich die Unternehmen bereits jetzt mit dieser künftigen Herausforderung auseinandersetzen [14].

Fazit und Ausblick

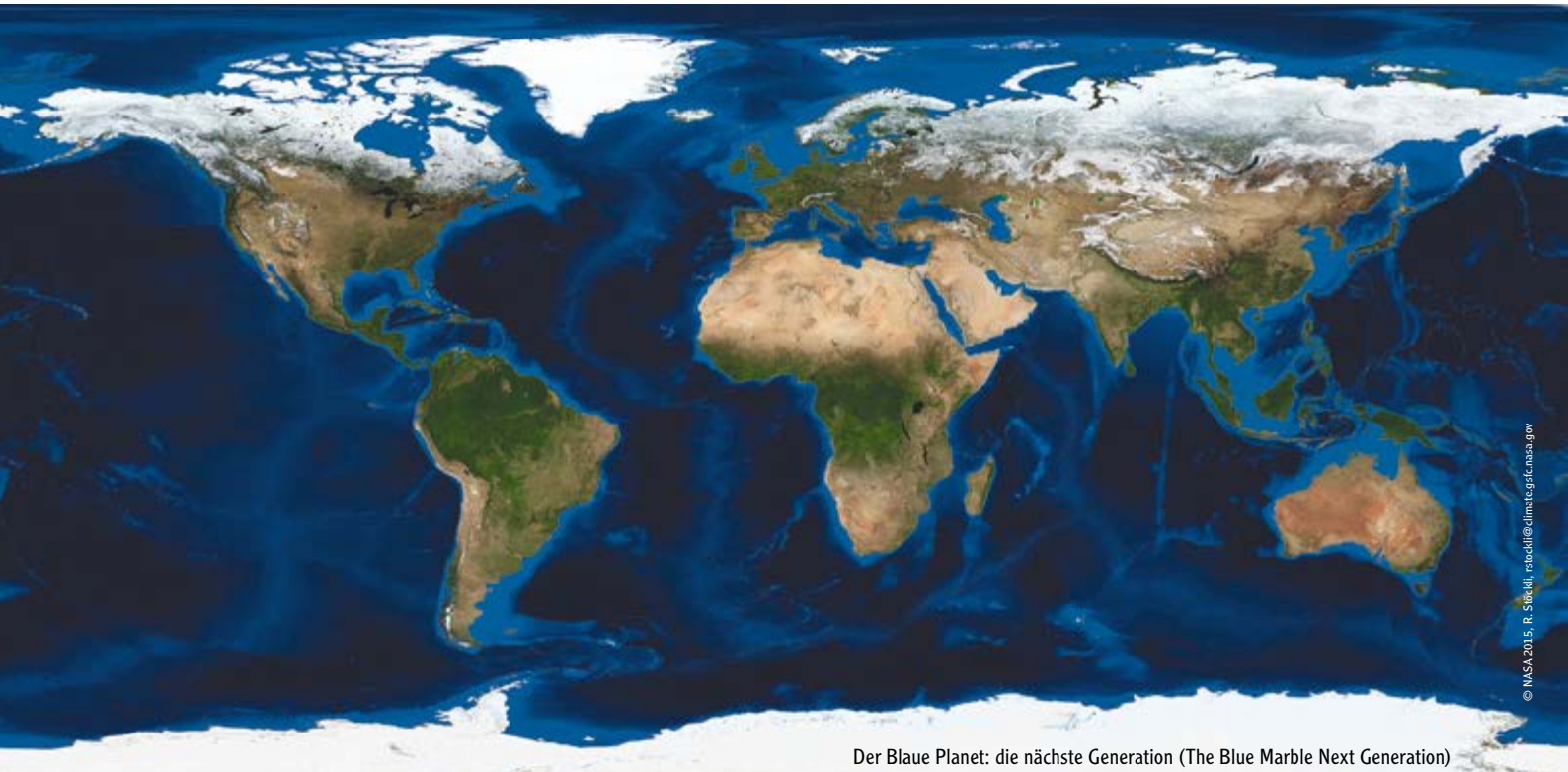
Bei der Betrachtung der Anforderungen an den (Konzern-)Zahlungsbericht zeigt sich, dass erhebliche Interpretations- und Gestaltungsspielräume bestehen.

Es ist zu befürchten, dass die Unternehmen durch gezielte Anpassungen versuchen werden, die Berichtspflicht zu umgehen. Dies erscheint auch nachvollziehbar, da mit dem (Konzern-)Zahlungsbericht ein erheblicher Aufwand verbunden ist. Aber auch wenn den Berichtspflichten vollumfänglich nachgekommen wird, bleibt fraglich, ob die angestrebte Transparenz erreicht und der Bericht seiner Funktion als Instrument der Rechenschaftslegung gerecht werden kann.

Die gegebenen Vorschläge dienen als Orientierung für die Unternehmen und können der Herausbildung eines *Best-practice*-Regimes dienlich sein. Auch wenn bereits eine Nachjustierung im Hinblick auf den Anwenderkreis und die inhaltliche Ausgestaltung des Berichtssystems angekündigt wurde, liegt es letztlich an den Bilanzierenden, ob und welche Änderungen sich ergeben werden. So wird die Einführung der bereits erwogenen Prüfungspflicht sicher davon abhängen, ob die Unternehmen dann bereits eine nachvollziehbare und den rechtlichen Vorschriften entsprechende Berichtspraxis vollziehen.

Literaturverweise

- 1 Vgl. Kreipl/Müller, Implementierung des Country-by-Country-Reporting in die Berichterstattungsprozesse und -systeme, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 11/2014, S. 552–559, S. 552; Keller/Schmid, Country-by-Country-Reporting: neue Anforderungen für das Rechnungswesen durch BilRUG-RefE und EITI, in: Betriebs Berater 38/2014, S. 2283–2287, S. 2283; Kleinmanns, BilRUG: Änderungen zum GuV-Ausweis und Einführung sog. Zahlungsberichte, in: Unternehmensteuern und Bilanzen 21/2014, S. 794–800, S. 798.
- 2 Vgl. Richtlinie 2013/34/EU, in: Amtsblatt der Europäischen Union vom 29.06.2013, L 182/24.
- 3 Die ausführliche Version dieses Kurzbeitrages wird veröffentlicht in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung.
- 4 Unternehmen, die Holzschlag betreiben, sollen im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.
- 5 Vgl. EITI, Der EITI-Standard, www.eiti.org.
- 6 Vgl. Richtlinie 2013/34/EU, in: Amtsblatt der Europäischen Union vom 29.06.2013, L 182/25.
- 7 Kleinmanns, BilRUG: Änderungen zum GuV-Ausweis und Einführung sog. Zahlungsberichte, in: Unternehmensteuern und Bilanzen 21/2014, S. 794–800, S. 798.
- 8 Siehe Anhang I Abschnitt B Abteilung 05 bis 08 der Verordnung (EG) Nr. 1893/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006.
- 9 Vgl. auch das Mustertableau von Kreipl/Müller, Implementierung des Country-by-Country-Reporting in die Berichterstattungsprozesse und -systeme, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 11/2014, S. 552–559, S. 558.
- 10 So auch Kreipl/Müller, Implementierung des Country-by-Country-Reporting in die Berichterstattungsprozesse und -systeme, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 11/2014, S. 552–559, S. 558 f.
- 11 Vgl. Richtlinie 2013/34/EU, in: Amtsblatt der Europäischen Union vom 29.06.2013, L 182/25.
- 12 Vgl. Kreipl/Müller, Implementierung des Country-by-Country-Reporting in die Berichterstattungsprozesse und -systeme, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 11/2014, S. 552–559, S. 558 f.
- 13 Vgl. Kreipl/Müller, Implementierung des Country-by-Country-Reporting in die Berichterstattungsprozesse und -systeme, in: Zeitschrift für internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung 11/2014, S. 552–559, S. 559.
- 14 Vgl. Kleinmanns, BilRUG: Änderungen zum GuV-Ausweis und Einführung sog. Zahlungsberichte, in: Unternehmensteuern und Bilanzen 21/2014, S. 794–800, S. 799.



Der Blaue Planet: die nächste Generation (The Blue Marble Next Generation)

Erdsystemwissenschaft – eine Herausforderung

Jörg Matschullat¹

Die Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg ist auch 250 Jahre nach ihrer Gründung nicht abgeschlossen und wird es niemals sein. Analog zu den Ökosystemen überleben menschengemachte Strukturen nur, wenn sie anpassungs- und wandlungsfähig sind. Dazu gehört eine wiederholte Reflexion über das Geleistete im Abgleich mit den äußeren Anforderungen – bis hinunter zu den einzelnen Fachgebieten, von denen eine Universität getragen wird. Hier wird angeregt, die Herausforderungen, die mit den Stichworten „Millennium-Entwicklungsziele“ und „Globaler Wandel“ verbunden sind, zu übersetzen in Ausrichtung, Leistungsfähigkeit und Potenzial der Universität – und dies als Chance zu sehen. Deren Wahrnehmung kann Ansatzpunkt dafür sein, die unstrittige Kompetenz der Bergakademie auf dem Ressourcensektor *sensu libero* zugleich zu einer Grundlage wesentlicher Lösungsentwicklungen in Fragen des Globalen Wandels zu erweitern. Die Hypothese dazu lautet, dass Freiberg dafür ein erhebliches Potenzial besitzt, das zzt. jedoch nur unzureichend als solches erkannt und ausgeschöpft wird. Angesichts weiterer, zum Teil recht passabler Randbedingungen für die Universität besteht die Chance, Freiberg zu einem MINT-betonten Oxbridge in Deutschland auszubauen.

¹ Lehrstuhl für Geochemie und Geoökologie

Prolog

Die TU Bergakademie Freiberg ist seit ihrer Gründung ein starkes akademisches Kraftzentrum der Geowissenschaften. Ihr Gründungsvater Abraham Gottlob Werner unterrichtete seine Hörer damals über einen Großteil des in der Zunft bekannten Wissensspektrums. Lange und schon bald nach ihm setzte eine dringend notwendige Ausdifferenzierung des Fächerspektrums ein, und Werners berühmtester Schüler, Alexander von Humboldt, war wohl der letzte Universalgelehrte – derjenige, von dem wir sagen dürfen: hervorgegangen aus der damaligen Freiburger Wissenschaftlergarde. Bei Humboldt stach eine stark ausgeprägte Interdisziplinarität hervor, die seinen Forschergeist weit über die damaligen Grenzen der Geowissenschaften – auch in Bereiche der Biologie, vor allem der Botanik – hineindrängte. Er war einer der Ersten – und Letzten, die einen kontemporären Ansatz zum System Erde erdachten. Sein Alterswerk „Kosmos“ legt davon beredt Zeugnis ab. Auch später haben einzelne Geowissenschaftler einen bemerkenswert breit orientierten Blick gewagt. Hierzu sei vor allem auf den Begründer der modernen Geochemie, Victor Moritz Goldschmidt, und den „Vater“

der Biogeochemie, Valdimir Iwanowitsch Vernadski, verwiesen. Den Versuch eines ganzheitlichen, vieldimensionalen Denkens in Raum und Zeit hat es also mehrfach schon gegeben.

Den Begriff „Erdsystemwissenschaft“ dagegen gibt es erst seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts – geboren mit der Entwicklung von Satellitentechnik, eines wesentlichen Werkzeugs der Erdsystembeobachtung und der darauf beruhend wachsenden Systemkenntnis [Wikipedia 2015a].

Mit der Umstrukturierung der Bergakademie nach der deutsch-deutschen Wiedervereinigung, der Gründung neuer interdisziplinärer Studiengänge und dabei auch des Interdisziplinären Ökologischen Zentrums gab sich unsere TU die Chance, systemische Wissenschaftsansätze in Forschung und Lehre noch sichtbarer zu etablieren. Zwar leitete sich die damalige Motivation eher von den realen und vermeintlichen Umweltschädigungen aus der Zeit der ehemaligen DDR ab, und zahlreiche Forschungsprojekte ebenso wie auch die konzeptionelle Ausrichtung einzelner Professuren (Boden- und Gewässerschutz, Atmosphärenschutz, etc.) reflektieren dieses Bewusstsein. Darin ruht aber auch

der Keim des Antriebs einer weit darüber hinaus gehenden fachlichen Ausrichtung hin zur Erdsystemwissenschaft. In Freiberg sind wir auf dem Weg von der Motivation zur Problemlösung lokaler und kleinregionaler Probleme – hin zu einer Mitwirkung an den Bemühungen um globale Systemkenntnislücken (Grundlagenforschung). Die aktuelle Einbindung in den IPCC-Prozess (*Intergovernmental Panel on Climate Change, Assessment Reports*) und in das UNEP-Programm *Global Environmental Outlook* (GEO-6) weisen in diese Richtung. Im Rahmen des Themenkomplexes Ressourcentechnologie wird ein solcher, höher skaliertes Ansatz bereits erfolgreich praktiziert. Insgesamt stellt sich aber die Frage, welche Strategie erfolgreicher sein wird: von einer eher engen Sicht auf Teilprobleme immer wieder in große Fragenkomplexe vorzudringen – oder aber umgekehrt: sich von vornherein auf diese Komplexe zu fokussieren und mittels des zu ihrer Klärung entwickelten Handwerkszeugs quasi „nebenbei“ auch lokale und kleinere Fragen erfolgreich zu bearbeiten?

Mit diesem Beitrag möchte der Verfasser dazu anregen, derartige prinzipielle Alternativen zu bedenken und Antworten anzustreben, die am Ende für die TU Bergakademie von strategischer Bedeutung sein können. Das 21. Jahrhundert stellt Wissenschaft und Gesellschaft vor Herausforderungen, die in mancher Hinsicht auch strukturell eine andere Qualität haben als jene vergangener Zeiten. Hier kann die – freilich noch junge – Erdsystemwissenschaft erhebliche Beiträge leisten, und sie tut dies bereits jetzt.

Erdsystemwissenschaft

Die Erdsystemwissenschaft (auch: Erdsystemforschung, Erdsystemanalyse; engl. *earth system science, earth system analysis*) ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die sich mit der Erforschung des „Systems Erde“ befasst. Als Erdsystem wird dabei die Gesamtheit physikalischer, chemischer, biologischer und sozialer Komponenten sowie der zwischen ihnen ablaufenden Prozesse und Wechselwirkungen bezeichnet, die den Zustand und die Veränderungen des Planeten Erde beeinflussen [Wikipedia 2015a]. Dabei versteht sich von selbst, dass diese Betrachtungsweise auf das engste mit dem Zustand und der Entwicklung menschlicher Gesellschaften verbunden sein muss. Wie bereits angemerkt, startete die Genese dieses neuen Erkenntnisfelds

mit dem Fortschritt der Satelliten- und Fernerkundungstechnik sowie empfindlichster Sensorik und der Knüpfung von Beobachtungsnetzwerken sowohl im terrestrischen als auch im ozeanischen Bereich sowie in der Atmosphäre. Ohne die einschlägigen Monitoring-Fähigkeiten wäre die Menschheit nicht in der Lage, die Dynamik des Systems Erde und dessen Wechselwirkung mit dem Menschen zu begreifen und zu bewerten. Jegliche, auch nur annähernd qualifizierte Reaktion auf unerwünschte Prozessentwicklungen wäre dann unmöglich.

Millennium-Entwicklungsziele und Globaler Wandel

Derzeit (Juli 2015) leben mehr als 7,25 Milliarden Menschen auf unserem Planeten [Wikipedia 2015b]. Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden sich – je nach Schätzung der Demographen (und nach Maßgabe des weiteren Verhaltens derjenigen Gesellschaften, die seit geraumer Zeit einen geringeren Bevölkerungszuwachs vermelden) – 9 bis 11 Milliarden Menschen den Planeten teilen – mit relativ guten Chancen, dass diese Zahl eher bei 9 als bei 11 liegen wird. Neun Milliarden Menschen entsprechen dem Dreifachen der Weltbevölkerung um das Jahr 1960. Diese Zahl und deren Wachstum verdeutlichen, welche Herausforderungen es zu meistern gilt, wenn wir eine halbwegs Gerechtigkeit sichernde Entwicklung anstreben wollen, in der ein Zugang zu gesunder Ernährung (einschließlich Trinkwasser), zu angemessener Gesundheitsversorgung und zu Bildung gegeben ist. Selbst ohne eine weitere Erhöhung des weltdurchschnittlichen Lebensstandards erfordert dies gewaltige Anstrengungen in Land- und Forstwirtschaft, der Wasserwirtschaft und in der Industrie. Dies gilt insbesondere für alle diejenigen Gesellschaften, die noch erhebliche Anpassungsaufgaben zu bewältigen haben.

Hinter dieser formalen Auflistung stehen abstrakt wirkende Begriffe wie die Millennium-Entwicklungsziele der Vereinten Nationen [*Millennium Development Goals*, MDG; UN 2015] und das Paket von Herausforderungen des Globalen Wandels [*Global Change*; Wikipedia 2015c]. Der erste Meilenstein der MDG wurde in diesem Jahr erreicht. Der Grad an bis heute realisierter Umsetzung der meisten Ziele lässt hoffen, denn es ist deutlich mehr gelungen, als manche Auguren es ehemals angenommen hatten (z. B. die Entschärfung von Szenarien extremen

Hungers und extremer Armut sowie die Senkung der [Kinder-]Sterblichkeit und eine Erhöhung des Anteils der Kinder, die Zugang zu primärer Schulbildung haben), doch zugleich müssen wir ehrlich eingestehen, dass weiterhin erhebliche Defizite bestehen bleiben – und dies genau dort, wo komplexe und erdsystemische Fragestellungen berührt sind, wie etwa Biodiversität und ökologische Nachhaltigkeit. Letztere überschneiden sich mit anderen Kernthemenfeldern des Globalen Wandels, zu denen u. a. die des anthropogenen Klimawandels, der Entwaldung und der Umwandlung von Wäldern und Steppen in Agrarland gehören, ferner auch die der Versauerung der Weltmeere sowie der Ausbreitung von Wüsten. Im Gegensatz zum durchaus erkennbaren Fortschritt bei den MDG sieht die aktuelle Bilanz des zu den Themen des globalen Wandels Erreichten viel ernüchternder aus. Woran liegt das und lässt sich etwas dagegen tun?

Herausforderungen

Hunger und Armut einzudämmen – das sind zweifellos wichtige und anspruchsvolle Ziele – besonders, wenn dieser Wettlauf für eine zahlenmäßig wachsende Bevölkerung geführt werden muss. Doch die damit verbundenen Herausforderungen sind zu bewältigen, denn es gibt bis auf Weiteres genug Lebensmittel auf der Erde, und an Geld herrscht zweifellos kein Mangel. Natürlich geht es dabei nicht allein um Verteilungsfragen. Die Ursache- und Wirkungszusammenhänge sind relativ transparent, und es ist bekannt, was zu tun ist, um die einschlägigen Probleme grundsätzlich zu lösen. Anders sieht es mit den systemischen Herausforderungen aus, deren Lösung von vornherein mit stärkeren Konflikten, Widersprüchen und Rückkopplungseffekten verbunden ist, die zum Teil nur mit nicht hinreichender Genauigkeit vorhersehbar bzw. bekannt sind. Dazu gehören die meisten der Herausforderungen, die mit dem Begriff „Globaler Wandel“ zusammenhängen.

In seinem Buch „Streitfall Klimawandel – Warum es für die größte Herausforderung keine einfachen Lösungen gibt“ (*Why we disagree about climate change*) bezeichnet Mike Hulme derartige Herausforderungen mit dem Terminus der „böartigen Probleme“ (*wicked problems*). Dabei bezeichnet „böartig“ die inhärente Komplexität eines Problems, das sich ihrerwegen einer Lösung gegenüber sperrt, wobei wir erkennen müssen, dass es für sie keine (relativ) einfachen Lösungen gibt.

Die Klärung z. B. des Ozonproblems der Stratosphäre wird manchmal als Vorbild für weitere Lösungen im Bereich des Klimawandels zitiert. Doch dieses Problem war (und bleibt) im erörterten Sinne ein relativ einfaches – mit klaren Ursache/Wirkung-Zusammenhängen sowie einer aus gesellschaftspolitischer Sicht eher simplen Struktur.

Themen wie anthropogener Klimawandel und ökologische Nachhaltigkeit im weitesten Sinne sind dagegen in der Tat „böartige“ Probleme. Rein disziplinäre Herangehensweisen verbieten sich da – in der etwaigen und natürlich naiven Annahme, dass es sich um rein rational ins Einzelne aufsplittbare Herausforderungen handele, denen mit technischen (Einzel-)Lösungen beizukommen wäre. An dieser Stelle sind belastbare Ergebnisse interdisziplinärer Denkfabriken unerlässlich, die sich engagiert, konstruktiv und phantasievoll sowie bestens (inter)national vernetzt um Beiträge zur Auffindung von Lösungswegen bemühen. Dafür gibt es, global betrachtet, bereits eine Reihe von Initiativen – und doch ist kein Ende des scheinbar vergeblichen Ringens um Lösungen in Sicht, während zugleich der Handlungsdruck eher zunimmt. Gerade eine kleine Universität mit einem Profil, wie dem der TU Bergakademie Freiberg, hat hier erkennbare Chancen, wie der bemerkenswerte, jüngst von der Leuphana Universität Lüneburg beschrittene Weg unter Beweis stellt.

Freiberg, ein MINT-betontes kleines Oxbridge in Deutschland

Im Folgenden wird aufzuzeigen versucht, welche Möglichkeiten an der Freiburger TU bestehen, um komplementär zu ihrer Rolle als Ressourcenuniversität eine weitere Profilierung zu erreichen, die nicht im Widerspruch zu den Grundsäulen Geo-Material-Energie-Umwelt steht und zugleich neue Horizonte eröffnet. Das Thema Ressourcentechnologie ist in Freiberg von Haus aus angesiedelt, reicht aber teilweise weit in den Themenkreis der Forschungen zum Globalen Wandel hinein. Ressourcen – das sind in erster Linie die zum Überleben notwendigen Naturgüter Boden, Wasser und Luft und erst in zweiter Linie energetische und mineralische Ressourcen. Mit einer solchen Erweiterung des Ressourcenbegriffs, der vielfach auch in Freiberg schon thematisiert und als stärker zu verfolgen gekennzeichnet wurde, sinkt auch das Abhängigkeitsrisiko, das bedauerlicherweise auch für eine

gut aufgestellte TU immer eng mit den Themen Energie und Mineralische Ressourcen verbunden ist. Selbst wenn die hiermit ins Bild gezogenen konjunkturellen Schwankungen, die sich erheblich auf das Fördermittelaufkommen, die Stenausstattung usw. auswirken können, künftig etwas gedämpfter ausfallen sollten, weil die wachsende Weltbevölkerung auf Gedeih und Verderb immer auf primäre energetische und mineralische Ressourcen angewiesen sein wird, ist anzunehmen, dass derartige Schwankungen auch zukünftig nicht ausbleiben. Allein deshalb sind für unsere TU weitere, tragfähige Standpfeiler erforderlich und zumindest im Kern bereits positioniert.

Während der Komplex Ressourcentechnologie um den geowissenschaftlich-geotechnischen Problemkreis herum erfolgreich Kompetenzen von der Mathematik und Informatik über solche der Material- und Werkstoffwissenschaften, der Verfahrenstechnik und des Maschinenbaus bis hin zu jenen der Wirtschaftswissenschaften einschließt, gilt diese Feststellung bislang weniger für einige der anderen traditionell starken Standpfeiler der Universität. Zugleich wird manchmal vielstimmig bedauert, dass das Ressourcenprofil der TU Bergakademie Freiberg in seiner Außenwirkung missverständlich und teilweise irreführend sei, weil es bei Vielen vornehmlich Assoziationen zu Bergbau- und Geothemen wecke. Ob diese Aussage tatsächlich zutrifft, sei dahingestellt, doch in jedem Fall ist es wünschenswert und hilfreich, wenn der Name einer Universität von vornherein mit hoher Qualität in Lehre und Forschung assoziiert wird und mit dem Bemühen, gesellschaftlich wirklich relevante, zukunftssträchtige Themen und Arbeitsgebiete auch in einer gewissen Breite anzugehen und anzubieten.

Die Bezeichnung „Erdsystemwissenschaften“ mag wiederum Einigen nicht sonderlich gefallen, weil das Stichwort „Erde“ zunächst wohl unvermeidlich auf Geowissenschaften und Geotechnik i.e.S. hindeutet. Doch sobald der gedankliche Bezug weniger auf das rein Nomenklatorische als vielmehr auf die objektiv anliegenden Herausforderungen gerichtet ist, nämlich die Probleme des Globalen Wandels möglichst erfolgreich lösen zu helfen, erscheint die Frage der Namensgebung für den in Rede stehenden Kompetenzkreis in einem anderen Licht.

Im Folgenden soll daher eine Konstellation skizziert werden, die dem Gedanken verpflichtet ist, hier in Freiberg ein

solches zweites, fachübergreifendes und leistungsfähiges Kompetenzfeld zu etablieren. Das Konzept lässt sich mit Blick auf die Profile der einzelnen Fakultäten ebenso gut vertreten wie bezogen auf die Profilsäulen der Universität als Ganzes. Die sich anbietenden Querverbindungen und die Möglichkeit der zwanglosen Vernetzung mit den bislang verfolgten Schwerpunkten und Kompetenzfeldern dürften sich dem Leser ohne weiteren Kommentar erschließen.

Bestandsaufnahme

Mathematik und Informatik (Fakultät 1) bieten Kompetenzen in Numerik und Optimierung, in Angewandter Analysis und in Stochastik, in Diskreter Mathematik und Algebra, in Informatik und Modellierung. Auf diesen Gebieten beruhen Schlüsselkompetenzen für die Erdsystemwissenschaften, die in den Rahmen einschlägiger Projektforschung nutzbringend einzubringen wären. Bereits heute gibt es dafür Ansätze zu erfolgreicher Kooperation, die es auszuweiten gilt. Die Dynamik zahlloser Prozesse in Raum und Zeit – von den großen Stoffkreisläufen von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel über die Massentransporte in Erdkruste und -mantel bis hin zum Verhalten von Spurenstoffen auf regionaler, kontinentaler und globaler Ebene – erfordert nach wie vor erhebliche Forschungsanstrengungen im Interesse einer besseren Aufklärung dieser hochkomplexen Zusammenhänge. Dabei geht es auch darum, vor dem Hintergrund begrenzter Datensätze in Raum und Zeit dennoch tragfähige Skalierungs- und Extrapolationsalgorithmen zu entwickeln, die dazu beitragen können, Projektionen mit größerer Robustheit zu berechnen.

Chemie, Physik und Biowissenschaften (Fakultät 2) mit ihrem breiten und teilweise ebenfalls stark interdisziplinär ausstrahlenden Spektrum in Forschung und Lehre sind traditionell wichtige Integratoren für große und zukunftssträchtige Projekte. Dennoch bleiben ihre Potenziale für die Lösung brennender Fragen des Globalen Wandels noch weitgehend unausgeschöpft. Ob diese Potenziale strategisch klüger im Rahmen von Kompetenzzentren oder Forschungsschulen zur Geltung gebracht werden, ist sicherlich von nachgeordneter Bedeutung. Wesentlich ist dagegen die Frage, welche konkreten Teilprobleme mit ihrer Hilfe prioritär zu bearbeiten wären. Im Juli dieses Jahres hat die NASA-Sonde „New Horizons“ den äußeren Bezirk unseres Sonnensystems



© NASA 2015. <http://www.nasa.gov/mision/newhorizons/images/index.html>

Der Pluto-Mond Charon in verstärkten Farben: Die NASA Sonde »New Horizons« nahm dieses Bild am 14. Juli 2015 auf, kurz vor ihrer mondnächsten Flugbahn. Das Bild kombiniert Aufnahmen, die mit der multispektralen Kamera (MVIC) aufgenommen wurden. Die Farben wurden bearbeitet, um die vielfältigen Oberflächenstrukturen des Mondes optimal zeigen zu können.

erreicht und hilft, bislang unbeantwortete, und sehr wesentliche Fragen zu klären. Wie viel Physik, Chemie, Mathematik und Ingenieurtechnik im Dienste dieses ehrgeizigen Unterfangens stehen, ist sicherlich nur zu ahnen. An diesem Projekt ist die TU Bergakademie Freiberg zwar nicht beteiligt, doch sind dort Köpfe versammelt, die wesentlich zu einer deutlichen Verbesserung der Erdsystembeobachtung beitragen können. Leistungsfähigere Sensoren für die Analytik terrestrischer (Spuren)gase, extreme Herausforderungen im Bereich der nanoskaligen Prozesse gilt es zu bewältigen – und diese erfolgreich zu modellieren und die Resultate zu extrapolieren. Auch wenn die Biowissenschaften Freibergs, gemessen an der Zahl der mit der Materie befassten Fachleute, klein sind, so haben sie doch ihre Leistungsfähigkeit und Kreativität bereits mehrfach unter Beweis gestellt. Diese Erfahrung kann und sollte stärker auch für die Lösung der großen Fragen zum Verständnis des Globalen Wandels berücksichtigt werden.

Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau (Fakultät 3) stehen mitnichten nur für Bergbau und Ressourcen im engeren Sinn. Obwohl die Fakultät auf diesem Gebiet auch aktuell hohen Respekt genießt und sich glücklicherweise einschlägige Kompetenzen erhalten konnte, sind ihr Potenzial und ihr realer Wirkungsradius eigentlich doch deutlich größer. Die Erdsystemwissenschaften brauchen u. a.

die Tektonophysik, die Fernerkundungskompetenz, die Hydrogeologie, die geophysikalischen und geomathematischen Methoden neben dem schon etablierten Spektrum – ebenso wie eine Geoökologie, die sich als starker Partner der Erdsystemwissenschaft versteht. Woran es fehlt, sind wiederum einschlägige gemeinsame Großprojekte, deren internationale Sichtbarkeit zu noch ausgeprägterem Respekt und Gehör auf regionaler und überregionaler Ebene führen würde.

Die Kompetenzfelder Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik (Fakultät 4) gehen weit über ihre unmittelbare Nützlichkeit und Anwendbarkeit für Industriepartner hinaus. Allein der Komplex Energieverfahrenstechnik mit (Energie-) Konversion und Speicherung als Teilthemen ist ein kaum zu überschätzendes Zukunftsfeld. Gleiches gilt für die schon erwähnte Sensortechnik sowie auch für Transporttechnologien aller Art und für ein Umdenken in zahlreichen verfahrenstechnischen Bereichen, deren aktueller Stand nicht weniger konstruktiv-kritisch hinterfragt zu werden verdient, wie es ein Elon Musk in den USA für das Gebiet der Fahrzeug- und Transporttechnologien versucht. „Da geht noch mehr“ wäre ein probater Slogan, unter dessen Eindruck die Bergakademie 10 % ihres Budgets für risikoreiche, innovative Projekte mit ausreichender Laufzeit zur Verfügung stellt, die nicht von dem Zwang getrieben sind, unmittelbar industriell

umsetz- und machbare „kleine“ Lösungen zu entwickeln.

Werkstoffwissenschaften und Werkstofftechnologie (Fakultät 5) gehören zu den tragenden Säulen des Fächerspektrums der Universität und sind bestens positioniert – sowohl in der einschlägigen Grundlagen- als auch in der Angewandten Forschung. Diverse Entwicklungen der letzten Jahre – auch in Zusammenarbeit mit Gruppen der Fakultät 2 – sind unter dem Stichwort Mitigation, also positiver Signaldämpfung in Bezug auf globale Negativentwicklungen, zu subsumieren. Im Kontext mit dem Aufbau des neuen Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung² in Freiberg deuten sich verheißungsvolle Entwicklungen an, die unmittelbar zum Konvolut vielversprechender Lösungsansätze – nicht nur im Bereich Energiewende – gehören und die in ihrer Struktur von vornherein hoch interdisziplinär angelegt sind.

In den Wirtschaftswissenschaften (Fakultät 6), die sich in den letzten Jahren deutlich enger an die Profillinien der Universität angepasst haben, schlummert ein noch ausbaufähiges Potenzial im Hinblick auf eine stärkere Beteiligung am Thema Globaler Wandel. Gerade die Wirtschaftswissenschaften *sensu libero* sind wie kein anderes Kompetenzgebiet der TU Bergakademie Freiberg dazu geeignet, die Schnittstelle zwischen den MINT-Wissenschaften

² vgl. Beitrag Meyer/Lemser ab S. 93 – d. Red.

und der Gesellschaft erfolgreich zu bespielen. Während es Naturwissenschaftlern und Ingenieuren oft gelingt, sehr spezifische „technische“ Lösungen oder Optimierungen zu entwickeln, tun sich diese Zünfte deutlich schwerer darin, ihr Können so zu kommunizieren, dass die Entwicklungen oder Erkenntnisse auch als potenzielle Innovation oder als relevant für Entscheidungsprozesse auf gesellschaftspolitischer Ebene erkannt werden. Die Zusammenarbeit von Kompetenz aus Fakultät 6 mit der anderer Fakultäten eröffnet die große Chance, rechtzeitig die „richtigen“ Fragen zu stellen und damit die Aufmerksamkeit für sie und ihre Akzeptanz in der Öffentlichkeit zu verstärken. Darüber hinaus sind es sowohl rechtliche als auch wirtschaftliche Zusammenhänge, die wesentlich mit darüber entscheiden, ob Innovationen oder Ideen überhaupt eine Chance für ihre Umsetzung bekommen können – eine der Kernkompetenzen der Fakultät.

Im Fazit besteht wenig Zweifel, dass es die nötige kritische „intellektuelle Masse“ quer durch die Universität gibt, um Fragen des Globalen Wandels mit größerer Konsequenz, in größerer Breite und mit größerem Erfolgspotenzial als Arbeitsschwerpunkt auf ihrer Agenda zu etablieren.

Integration

Selbstverständlich ist es nahezu unmöglich, ganze Fakultäten oder einzelne Professuren in – egal welche – Arbeitsrichtung zu zwingen. Und es ist für den jeweiligen Kollegenkreis auch einigermaßen ungläubig, wenn jemand, der für bestimmte Themenpräferenzen bekannt ist, mit einem Mal versucht, auf andere Themen umzuschwenken. Die akademische Welt ist diesbezüglich deutlich konservativer und stärker selbstregulierend als die Wirtschaft, wengleich selbst dort eine gewisse Trägheit nicht gänzlich von der Hand zu weisen ist.

Dennoch gibt es Freiheitsgrade, die genutzt werden können. Dazu gehört der sog. Innovationsanteil an der staatlichen Grundfinanzierung, der als jährliches Stammkapital genutzt werden könnte, um Arbeitsgruppen aller Fakultäten eine gewisse Motivation und Anerkennung dafür zu geben, sich noch stärker in Verbundprojekten zu engagieren und so zur Stärkung von Standort und Universität beizutragen. Selbstverständlich ist es unerlässlich, erfolgreich größere Drittmittelprojekte zu stemmen. Auch dies ist ungeachtet des bereits sehr hohen Aufkommens an

solchen Mitteln an der Universität noch deutlich steigerbar, wenn man sich die sehr inhomogene Verteilung der größeren Drittmittelzuflüsse genauer betrachtet. Auf der Basis weniger, entsprechend positionierter BMBF- und EU-Anträge ließe sich bereits eine belastbare Kompetenzbasis errichten, im Verbund mit einer guten Publikationspraxis und engagiertem Auftreten bei internationalen Tagungen.

Mit knapp 6.000 Studierenden – vom gerade in das Grundstudium Eingetretenen bis zum Doktoranden – erreicht die TU Bergakademie zwar nur etwa ein Drittel der Studentenschaftsstärke der britischen Eliteuniversitäten Oxford und Cambridge (Oxbridge). Doch bei Betrachtung „nur“ der vergleichbaren Kompetenzbereiche in den Natur- und Ingenieurwissenschaften ähneln sich die Zahlen. In jedem Fall steht immer ein Pool an klugen und wissbegierigen Köpfen zur Verfügung, aus dem heraus sich wissenschaftlich schlagkräftige Teams für die Inangriffnahme auch hochkomplexer Projekte formieren bzw. laufend ergänzen und verjüngen lassen, die dazu motiviert sind, Zukunftsthemen zu bearbeiten und sich für die Lösung wirklich wesentlicher Probleme zu engagieren. Der Schub neuer Studierender, die sich seit 1996 speziell für die interdisziplinären Studiengänge Angewandte Naturwissenschaft, Geoökologie und Umweltengineering begeisterten, trug wesentlich zur Neuformierung und zum in der Folge starken Wachstum des Potenzials der TU Bergakademie bei – und mag als ein bemerkenswertes, anspornendes Faktum dienen.

Der berechtigten Klageführung nicht weniger Hochschullehrer über verhältnismäßig hohe Lehrbelastung (weit oberhalb der offiziell genannten acht Semesterwochenstunden, SWS) ließe sich strukturell entgegenreten, und zwar durch die sukzessive Einführung von reinen Lehrprofessuren (Besetzungen durch *lecturers*) mit deutlich höherer Lehrbelastung (und ausgeprägtem -talent) und einer entsprechenden Entlastung der besonders forschungsstarken ProfessorInnen. Das langsam einsetzende Umdenken zum Status des Nachwuchswissenschaftlers auf der Ebene des Bundes und der Länder könnte hier zu schnelleren und sinnvoller Lösungen beitragen (zum Vergleich: Im angelsächsischen Hochschulraum sind vier SWS der Standard für forschungsstarke ProfessorInnen).

Die (absolut gesehen) moderaten Studierendenzahlen und die perspektivisch

sich weiter verbessernde Infrastruktur der Universität bieten bereits heute Vorteile, die nicht von allen an der TU Bergakademie Freiberg als solche gesehen werden. Das zumeist überdurchschnittlich gute Zahlenverhältnis von Lehrenden zu Studierenden, die anerkannt gute Betreuung, die überwiegend gute bis sehr gute technische Ausstattung: All dies sind objektive Pluspunkte Freibergs, die erhalten, ausgebaut und genutzt werden können und sollten, um die Bergakademie noch leistungsstärker und attraktiver zu machen – und zugleich robuster gegenüber konjunkturellen Schwankungen aller Art.

Bereits jetzt ist die TU Bergakademie Freiberg eine Forschungsuniversität. Wenn es gelänge – ohne ihre Kompetenz bei den mineralischen und energetischen Ressourcen aufs Spiel zu setzen –, diese Universität mit einer weiteren, über die Fachgrenzen hinweg reichenden anspruchsvollen Aufgabe zu betrauen, für die sie bereits den Nachweis unstrittiger Kompetenz in zahlreichen Einzelfeldern führen kann, dann könnte sich die Bergakademie tatsächlich zu DER Ressourcenuniversität nicht allein Deutschlands entwickeln. Ressourcen als die Grundlage für Leben und für Fortschritt, für Resilienz von (Öko)Systemen aller Art und für robuste Lösungen, die auch dann schadlos greifen, wenn die zukünftige Entwicklung die Pfade verläßt, die aktuell abzusehen sind: Dies wäre ein zukunftsfähiges Leitbild.

Literatur

- Goldschmidt VM (1954): *Geochemistry*. Posthumously edited by Muir A. Clarendon Press, London.
- Hulme M (2014): *Streitfall Klimawandel – Warum es für die größte Herausforderung keine einfachen Lösungen gibt*. Oekom Verlag, München; 400 S.
- Humboldt A von (2004) *Kosmos: Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Eichborn Verlag, 999 S. (Erstauflage ab 1845)
- IPCC (2015): *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <http://www.unep.org/geo/>. Zuletzt besucht am 5.07.2015
- UN (2015): *Millenniumsziele*. <http://www.un.org/millenniumgoals/>. Zuletzt besucht am 5.07.2015
- UNEP (2015): *Global Environmental Outlook*. <http://www.unep.org/geo/>. Zuletzt besucht am 5.07.2015
- Vernadski VI (1926): *The Biosphere*. First published in Russian. English translation by Langmuir DB, edited by McMenamin MAS; Copernicus, New York, 1998, 192 pp.
- Wikipedia (2015a): <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdsystemwissenschaft>. Zuletzt besucht am 5.07.2015
- Wikipedia (2015b): <https://de.wikipedia.org/wiki/Weltbevölkerung>. Zuletzt besucht am 5.07.2015
- Wikipedia (2015c): https://en.wikipedia.org/wiki/Global_change. Zuletzt besucht am 5.07.2015

Eine Erkenntnis nützt nur etwas, wenn man sie auch verständlich erklären kann

Matthias Reich

Das Ansehen verschiedener Berufsgruppen und Studiengänge ist leider ungleich ausgeprägt. Glaubt man einer forsa-Studie von 2013, so genießen vor allem Feuerwehrleute, Alten- und Krankenpfleger oder Ärzte ein besonders hohes Ansehen; aber auch Professoren liegen in der Gunst der Bevölkerung erfreulich weit oben. Allerdings unterrichten nicht alle Professoren auch die beliebtesten Fächer. Manche sonnen sich in Studiengängen, die unter den jungen Leuten extrem en vogue sind. Das trifft beispielsweise auf die Betriebswirtschaftslehre, den Maschinenbau oder die Rechtswissenschaften zu. Andere dagegen betreuen Studiengänge, die zwar ebenfalls enorm wichtig für unser Leben sind, aber in der Öffentlichkeit kaum oder gar nicht wahrgenommen werden. Zu diesen Studiengängen gehört auch der, in dem ich tätig bin, und insbesondere die Vertiefungsrichtung, die ich betreue.

Auf den Zeugnissen meiner Absolventen steht die Bezeichnung „Diplom-Ingenieur für Tiefbohrtechnik, Erdgas- und Erdölgewinnung“. Das ist ein Titel, den man in Deutschland nur an der TU Bergakademie Freiberg erwerben kann – und insofern erstaunlich, als es in Sachsen ja gar kein Öl und Gas gibt! Auch in den Schulen wird wenig oder gar nichts über die Gewinnung von Kohlenwasserstoffen unterrichtet. Entsprechend gering ist das Wissen in der Bevölkerung darüber, wo das Öl und das Gas, das wir so selbstverständlich verbrauchen, überhaupt herkommt. Die meisten Menschen glauben immer noch, dass sich diese Bodenschätze in großen Höhlen unter der Erdoberfläche befinden und dass man zur Förderung einen Schlauch dort hinunterlässt, durch den man die Höhle leersaugt. Die Arbeit des Erdöl-Ingenieurs wird deshalb auch nicht als besonders interessant oder gar spannend eingestuft – und das hat sich über viele Jahre in den Studentenzahlen der Vertiefungsrichtung niedergeschlagen; der ohnehin schon recht kleine „Hörsaal“ am Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau mit seinen gut 20 Sitzplätzen war oft nur sehr übersichtlich besetzt.

Ich habe diese Entwicklung lange

aus der anderen Perspektive betrachtet, nämlich aus Sicht der Industrie. Und ich weiß aus meiner 16-jährigen weltweiten Tätigkeit als „Testpilot“ für komplexe Bohrwerkzeuge auf Landbohranlagen und Bohrrinseln, dass die Tiefbohrtechnik alles andere als langweilig ist. Deshalb bin ich 2006 an die Bergakademie gekommen, um möglichst viele junge Menschen für die Öl- und Gasindustrie zu begeistern.

Die Zeiten, zu denen man schon in 25 Metern Tiefe auf sprudelnde Ölvorkommen stieß, sind längst vorbei. Heute, 160 Jahre nach dem Beginn des Ölzeitalters, sind die meisten Tiefbohrungen so lang und werden so kurvig im Untergrund angelegt, dass sich Vergleiche mit dem Blick aus dem Fenster eines Flugzeugs anbieten: Ein typischer Bohrstrang für eine Öl- oder Gasbohrung ist so dünn, dass er leicht durch das kleine Fenster des Flugzeugs hindurchpassen würde, und so lang, dass er vom Flugzeug in vielleicht sechs Kilometern Höhe bis unten auf die Erde – und dort sogar noch ein paar Kilometer horizontal liegend – bis ins nächste Dorf reichen würde. Moderne Ölbohrungen sehen tatsächlich so aus; die längsten erreichen inzwischen schon Längen von insgesamt fast 13 Kilometern. Solche extremen Bohrungen lassen sich nur unter Einsatz des besten verfügbaren Hightech-Equipments erfolgreich realisieren und präzise ins Zielgebiet führen. Hierzu zählt natürlich der leistungsfähige Bohrmeißel, der zur Gesteinszerstörung meist dicht mit Diamanten bestückt ist, weil Diamant ja das härteste Material ist, das es gibt. Darüber folgt der Steuerkopf, mit dem sich die Richtung der Bohrung beeinflussen lässt – und dann folgen sehr komplexe Messsysteme, die mit einer Vielzahl von Sensoren bestückt sind. Einige dieser Sensoren messen

während des Bohrprozesses kontinuierlich die Neigung und die Himmelsrichtung des Bohrlochs. Die Messergebnisse werden in Echtzeit zur Oberfläche übertragen und dienen dort der Berechnung des Bohrpfad, damit die Mannschaft immer genau weiß, wo die Bohrung im Untergrund verläuft. Wenn der aktuelle Bohrfad vom geplanten abweicht, werden Richtungskorrekturen eingeleitet. Wie das im Detail funktioniert, ist hier nicht so wichtig. Der Bohrmeißel ändert daraufhin jedenfalls seine Richtung und erreicht dadurch das geologisch vorgegebene Zielgebiet in der Lagerstätte.

Die Bohrgarnitur enthält aber auch noch andere Sensoren, beispielsweise solche, die Auskunft darüber geben, ob der Bohrprozess tief unten in der Erde optimal abläuft oder durch dynamische Probleme (Vibrationen, Schläge usw.) beeinträchtigt wird. Bei der eindrucksvollen Länge der Bohrung können wir das von der Oberfläche aus ja gar nicht beurteilen. Weitere Messgeräte erfassen bohrtechnische Daten, die zur Optimierung des Bohrprozesses benötigt werden. Dazu gehören beispielsweise das aktuelle Drehmoment am Bohrmeißel, der Meißelndruck auf die Bohrlochsohle, die Temperatur im Bohrloch, die Biegebelastung des Bohrstrangs und der Spülungsdruck. Eine noch andere Gruppe von Sensoren hat die Funktion, das umgebende Gestein beim Bohren zu untersuchen. Lagerstätten sind ja keine „Höhlen“, sondern das Öl oder Gas befindet sich in den mikroskopisch kleinen Poren des Gesteins. Es ist deshalb wichtig, während des Bohrprozesses auch die Eigenschaften des durchbohrten Gesteins, z. B. seine Porosität, Permeabilität oder Härte zu bestimmen, denn nur mit diesem Wissen kann die Bohrung so im Untergrund platziert werden, dass später eine optimale Produktion gewährleistet ist.

Die Arbeitsbedingungen für die erwähnten Bohr- und Messsysteme sind extrem. In den Lagerstätten herrschen Temperaturen, wie wir sie zum Pizzabacken im Backofen einstellen, Drücke, wie sie unter den Reifen landender Großflugzeuge entstehen, und Schläge und Vibrationen,



Foto: Marko Bormann

die uns Menschen sofort bewusstlos werden lassen würden. Normale elektrische Geräte arbeiten in so einer Umgebung nicht. Die Bohrgarnitur mit ihren zahlreichen elektronischen, hydraulischen und mechanischen Komponenten muss hier aber trotzdem zuverlässig und präzise funktionieren, denn Ausfälle und die damit verbundenen Stillstandzeiten der gewaltig teuren Bohranlagen treiben die Bohrkosten sonst extrem in die Höhe.

Aber nicht nur unter Tage wird Hightech eingesetzt, auch die übertägigen Bohranlagen sind Meisterwerke der Ingenieurkunst. Große Bohrinseln sind kleine Städte im Meer, in denen rund um die Uhr mehrere hundert Menschen darum bemüht sind, die Bohrarbeiten ohne Zwischenfälle und Beeinträchtigungen der Umwelt durchzuführen. Einige Bohrinseln sind so konstruiert, dass sie Kollisionen mit Eisbergen unbeschadet überstehen können. Um die Bohrkosten in vertretbaren Dimensionen zu halten, dürfen keine Ausfallzeiten entstehen – und deshalb werden Menschen und Material mit emsigen Hubschrauberflotten zwischen den Installationen hin- und hergeflogen. Überall wird Hightech vom Feinsten eingesetzt, damit der unstillbare Hunger der Menschheit nach Öl und Gas gelindert werden kann.

Alles das wird aber von den meisten Menschen außerhalb der Erdölindustrie weder gesehen, noch gewürdigt. Im Gegenteil: Sie assoziieren mit der Ölindustrie eher sorglose Umweltverschmutzung, den Klimawandel oder maßlose Profitgier, als dass sie ihr zutrauen, extreme technische Herausforderungen im Sinne der Verbraucher kompetent, effektiv und vor allem verantwortungsbewusst zu meistern.

Als einziger universitärer „Tiefbohr-Professor“ Deutschlands sehe ich meine Kernaufgabe – neben der zeitgemäßen Ausbildung möglichst vieler *Petroleum Engineers* – in erster Linie darin, zwischen der Erdölindustrie und der Bevölkerung zu vermitteln und den Menschen zu erklären, was bei der Gewinnung von Öl und Gas genau passiert. Dazu gehört insbesondere auch, die Ursachen eventueller Unfälle zu erklären und den Sinn und Zweck der danach eingeleiteten Maßnahmen zu erläutern. Im Jahr 2010, als die Deepwater Horizon-Bohrinsel im Golf von Mexiko explodiert war, gaben sich deshalb die Fernsehteams am Tiefbohrinstitut die Klinke in die Hand. Momentan wird das Fracking extrem kontrovers diskutiert. In diesem Zusammenhang schätzen es die

Menschen erfahrungsgemäß sehr, wenn man ihnen genau erklärt, was bei diesem Prozess eigentlich passiert, in welchen Tiefen und Dimensionen er verläuft und unter welchen Randbedingungen er ausgeführt wird. Denn meist ist mangelndes Verständnis der Details der Hauptgrund für die Ablehnung technischer Neuerungen.

Die Gewinnung von Öl und Gas ist ein extrem komplexer Vorgang. Unsere Studenten befassen sich im Hauptstudium mindestens fünf Semester lang intensiv mit der Materie, um dann im Berufsleben festzustellen, dass sie immer noch viel zu wenig gelernt haben und in zusätzlichen jahrelangen Traineeprogrammen weiter auf ihren Berufseinsatz vorbereitet werden müssen. Fachliteratur auf Deutsch, die auch Laien verstehen können, gibt es praktisch nicht. Das bewog mich im Jahr 2009 dazu, mein erstes Buch „Auf Jagd im Untergrund“ zu schreiben und selbst zu illustrieren. Es beschreibt in möglichst unterhaltsamer Weise, wie Tiefbohrungen hergestellt werden. Da zunächst kein Verlag ein solches Buch herausgeben wollte, gründete ein Bekannter, der bereits das Layout für mein Buch gemacht hatte, spontan den add-books-Verlag und brachte das Werk mit beträchtlichem finanziellen Risiko selbst auf den Markt. Der Verein für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg gab uns für dieses abenteuerlich anmutende Unternehmen eine Starthilfe, für die ich immer noch sehr dankbar bin! Letztlich hat es sich gelohnt. Das Buch konnte sich auf dem Markt erstaunlich gut etablieren. Das nahm auch der Springer-Verlag zur Kenntnis, der das Buch im Jahr 2015 übernahm, um es nun speziell an Schulen zu vermitteln.

Wie bereits erwähnt, stand im Jahr 2010 die Ölkatastrophe im Golf von Mexiko im Zentrum des Medieninteresses. In zahlreichen Nachrichtensendungen und Dokumentationen erklärten und kommentierten wir an unserem Institut den ganzen Sommer lang die aktuellen Arbeiten am Unglücksort und stellten unter anderem für die Sendung „Quarks & Co“ den Blowout bei uns in der Versuchshalle detailgetreu nach.

Seit einigen Jahren bewegt das Thema „Fracking“ die Gemüter stark. Meist wird dieses Verfahren von der Bevölkerung strikt abgelehnt, weil es aus ihrer Sicht fast zwangsläufig zu Vergiftungen des Trinkwassers und zu Erdbeben führt. Natürlich müssen die Sorgen der Bürger ernst genommen werden! Meist sind diese aber in einem mangelnden Verständnis



Foto: Matthias Reich

Dreharbeiten am Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau zur Sendung „Quarks & Co“

der technologischen Arbeitsschritte und der geologischen Gegebenheiten begründet. Hier helfen aufklärende Vorträge und Veröffentlichungen erfahrungsgemäß dabei, die verhärteten Fronten wieder aufzuweichen, Vorurteile zu beheben und die Diskussionen wieder auf eine sachliche Ebene zu führen. Diese Erkenntnisbewegungen meinen Kollegen Prof. Amro und mich, ein weiteres Buch zu schreiben. Es heißt „Schätze aus dem Untergrund“ und kam im Jahr 2015 auf den Markt. Das neue Buch behandelt die verschiedenen Kohlenwasserstoff-Lagerstättentypen, die Fördertechniken für Öl und Gas sowie die zahlreichen Stimulierungsmaßnahmen, zu denen auch das Fracking zählt. Das Buch wurde wieder so verfasst, dass es sich speziell an den interessierten Laien richtet. Diesmal war die Nachfrage schon vor dem Erscheinen beeindruckend; zum Zeitpunkt der Veröffentlichung lagen bereits mehrere tausend Vorbestellungen vor, die meisten vonseiten der Erdölindustrie. Der Veröffentlichungszeitraum fiel zufällig mit mehreren Fernsehsendungen über das Fracking zusammen, die ebenfalls an unserem Institut gedreht wurden. Das Echo war überwiegend positiv und die verständliche, sachliche und neutrale Aufklärung wurde sowohl von der Industrie als auch von den Zuschauern gelobt – insbesondere auch von den kritischen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die erwähnten Aktionen keine Taten von Einzelpersonen sind, sondern dass dahinter immer wieder das ganze Institut steht. Die Doktoranden und technischen Mitarbeiter unterstützen die Projekte ebenso mit Rat und Tat wie unsere Studenten und helfen bei Bedarf oft bis weit nach offiziellem „Büroschluss“ mit großem Engagement, indem sie sich etwa für Interviews vorlaufenden Kameras und Mikrofonen zur Verfügung stellen, in der Werkstatt und im

Labor Experimente aufbauen und vorführen, gute Ideen beitragen oder umfangreiche Hintergrundrecherchen durchführen. Die stark gestiegenen Studentenzahlen unserer Vertiefungsrichtung sind sicher teilweise auch diesem positiven Gemeinschaftssinn am Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau zuzuschreiben.

Natürlich wird bei uns am Institut nicht nur Medienarbeit gemacht, sondern auch intensiv geforscht. Einige Projekte sind relativ leicht verständlich, so beispielsweise die Forschungen zur Effektivitätssteigerung bei der Zerstörung von Hartgesteinen, für die wir spektakuläre Hämmer und sogar Blitze mit einer halben Million Volt Spannung einsetzen.

Andere Themen kommen dagegen nicht ohne umfangreiche theoretische Betrachtungen aus, wie dies etwa bei der Datenübertragung in tiefen Bohrlöchern der Fall ist. Speziell bei der Vermittlung der Lehre im zweiten Themengebiet kommt mir aber mein liebstes privates Hobby zugute: die Rockmusik ... Da erfolgreiche



Der Autor live on stage mit Studenten: Band Combo Caracho

Hobbymusiker ihre Werke auf CDs brennen und möglichst weit verbreiten wollen, aber meist nicht genug Geld für längere Aufenthalte in richtigen Tonstudios haben, müssen sie sich zwangsläufig selbst mit der tontechnischen Aufbereitung von Signalen befassen. Und in meinem Fall fließen die dabei gewonnenen Erkenntnisse dann wieder in die Forschung

ein. Am Bohrtechnik-Institut wurde so beispielsweise ein einfaches Verfahren entwickelt, mit dem man Dinge hörbar machen kann, die mit den Ohren von Menschen normalerweise nicht wahrnehmbar sind. Wir nutzen es unter anderem, um die komplexen Vorgänge bei der Datenübertragung und insbesondere die sonst nur mathematisch erfassbaren Verfahren, mit denen man intensitätsschwache Nutzsignale aus starken Störsignalen extrahiert, für die menschlichen Sinne begreifbar zu machen. Die multimedialen Vorträge darüber, die wir auf bohrtechnischen Fachvorträgen gehalten haben, verwandelten schon manchen Konferenzsaal in ein futuristisch blubberndes „U-Boot“, in dem die schmunzelnden Gesichter mit hochgezogenen Augenbrauen der zumeist betagten und erfahrenen „Passagiere“ offensichtlich viel Spaß und Interesse an den neuen Präsentationsmöglichkeiten bezeugten.

Es ist einfach gut, wenn man etwas Schwieriges anschaulich erklärt bekommt – und es dann tatsächlich versteht!

Die Suche nach einem Endlager für hoch radioaktive Abfälle: ein Neustart!?

Wolfram Kudla

Das Standortauswahlgesetz zur Suche eines Endlagers für hochradioaktive Abfallstoffe wurde im Juli 2013 verabschiedet. Dieses Gesetz soll durch die „Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe“ (Endlagerkommission) evaluiert werden. Die Kommission hat die schwierige Aufgabe, geowissenschaftliche Mindestanforderungen, Ausschlusskriterien und Abwägungskriterien, die im Gesetz nicht näher spezifiziert sind, für die Standortsuche festzulegen, sowie die Art und Weise der Bürgerbeteiligung bei der Standortsuche genauer zu spezifizieren. Im Rahmen dieses Beitrags wird vom Autor¹ als Mitglied der Endlagerkommission über die Arbeit der Kommission zur Halbzeit ihres Wirkens berichtet.

The site selection act on the disposal for high radioactive waste was passed in 2013 in Germany. This act should be evaluated by a „Commission on the Disposal of High Radioactive Waste“. The Commission has the difficult task to define geoscientific exclusion criteria, geoscientific minimum requirements and assessment criteria, which are not specified within the act.

1 Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla,
Professur Erdbau und Spezialtiefbau,
Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

The Commission has also to fix the widespread public participation within the site selection process. In this essay the author¹ (member of the Commission) reports about the commission work flow at half time of the active time.

Endlager, Standortsuche, hochradioaktive Abfallstoffe, Endlagerkommission, geowissenschaftliche Kriterien, Bürgerbeteiligung / nuclear waste repository, radioactive waste, repository commission, geoscience criteria, public participation

Endlager in Deutschland

Die Standortsuche für ein Endlager für hochradioaktive Abfallstoffe hat in den letzten 30 Jahren zu höchst kontroversen Diskussionen, Protesten und rational nicht mehr nachvollziehbaren Verwerfungen geführt. Ursprünglich war für die Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe das „Erkundungsbergwerk Gorleben“ perspektivisch als Endlagerstandort vorgesehen. Massive Proteste gegen den Standort und gegen die Transporte von Castorbehältern in das von den Energieversorgern finanzierte Zwischenlager in Gorleben haben zu bürgerkriegsähnlichen Zuständen, zu enormen Kosten für die Aufwendungen

der Polizei zur Sicherung der Castortransporte und nicht zuletzt zu Verletzten auf Seiten der Polizei und der Kernenergiegegner geführt.

Für schwach- und mittelradioaktive Abfälle existieren in Deutschland folgende Endlager (siehe auch [3]):

Endlager Morsleben

Das Endlager Morsleben (ca. 30 km westlich von Magdeburg im ehemaligen Kali- und Steinsalzbergwerk Bartensleben) wurde nach verschiedenen Teilgenehmigungen (ab 1971) im Jahr 1978 von der Regierung der DDR genehmigt. Die Einlagerung endete im Jahr 1997. Die gesamte Einlagerungsmenge beträgt knapp 37.000 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfallstoffe sowie ca. 6.900 umschlossene Strahlenquellen. Derzeit wird die Stilllegung des Endlagers betrieben.

Endlager Asse

In dem ehemaligen Forschungsbergwerk bzw. der Schachanlage bzw. dem heutigen „Endlager Asse“ (in der Nähe von Wolfenbüttel) wurde vom Bundesforschungsministerium die Lagerung

von radioaktiven Abfallstoffen erprobt. Dabei wurden zwischen 1967 und 1978 insgesamt ca. 47.000 m³ schwach- und mittlerradioaktive Abfallstoffe eingelagert. Auf Grund von Salzlösungszutritten in die Schachtanlage wurde nach dem Vergleich verschiedener Optionen im Jahr 2013 beschlossen, die radioaktiven Abfälle wieder zurückzuholen. Die vorbereitenden Arbeiten dazu sind derzeit im Gange. Wie die Abfälle konditioniert, und wo die Abfälle später eingelagert werden, ist derzeit offen. Wahrscheinlich werden die geborgenen Abfallstoffe – sofern eine Bergung überhaupt möglich ist, was vom Autor bezweifelt wird – in das noch zu suchende Endlager für hochradioaktive Abfallstoffe eingelagert.

Schacht Konrad

Im ehemaligen Eisenerzbergwerk bei Salzgitter, dem Schacht Konrad, sollen bis zu 303.000 m³ radioaktive Abfallstoffe mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (schwach und mittlerradioaktiv) eingelagert werden. Im August 1982 wurde das Planfeststellungsverfahren eingeleitet. Der zugehörige Erörterungstermin zog sich über sechs Monate von September 1992 bis März 1993 hin. Im Mai 2001 wurde der Planfeststellungsbeschluss erteilt. Nach diversen Klagen gegen den Planfeststellungsbeschluss wurde mit Urteil des Bundesverwaltungsgerichts am 26. März 2007 die letzte Klage gegen den Planfeststellungsbeschluss (bzw. die Nichtzulassungsbeschwerde) abgewiesen. Mit einer Einlagerung radioaktiver Abfallstoffe ist ab dem Jahr 2022 zu rechnen. Der Zeitraum von der Einleitung des Planfeststellungsverfahrens bis zur Einlagerung radioaktiver Abfallstoffe wird damit ca. 40 Jahre dauern.

Die Diskussionen um die Genehmigung und die Einlagerung bzw. geplante Einlagerungen in den genannten Endlagerstandorten führten aus diversen, hier nicht näher beleuchteten, sehr unterschiedlichen Gründen zu manchmal gewaltsamen Protesten. Die Proteste waren teilweise fachlich begründet, teilweise emotional und ideologisch durch politische Gruppierungen und Initiativen angeheizt.

Hinsichtlich der Auswahl des Standorts Gorleben als zukünftigen Endlagerstandort wurde ein Untersuchungsausschuss eingesetzt [U10], dessen Aufgabe es war, die Hintergründe für die Auswahl von Gorleben als geplanten Endlagerstandort für hochradioaktive Abfälle nachzuvollziehen.

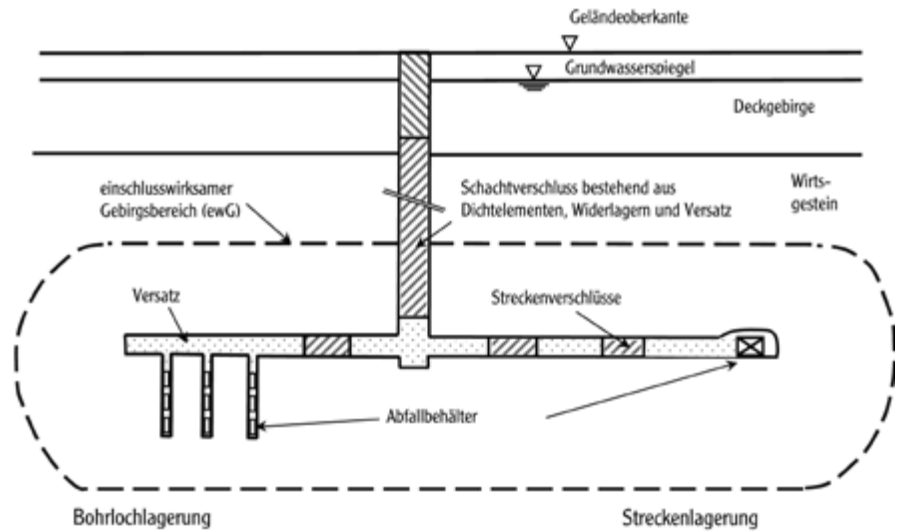


Abb. 1: Prinzipskizze eines verschlossenen Endlagers (Flächenausdehnung mindestens 3 km² im Salz und mindestens 10 km² im Tonstein [2])

Der Neustart mit dem Standortauswahlgesetz

Auf Grund der Proteste gegen den Standort Gorleben auf verschiedenen Ebenen hatte der Bundestag nach mehrmonatigen diversen Vorsondierungen am 23.07.2013 mit den Stimmen der CDU/CSU, FDP, SPD und der Grünen das „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standorts für ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle“ (Standortauswahlgesetz – StandAG) [1] beschlossen. Das Gesetz regelt, nach welchen Kriterien und mit welcher Bürgerbeteiligung die Auswahl eines Standorts für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle erfolgen soll. „Ziel des Standortauswahlverfahrens ist, in einem wissenschaftsbasierten und transparenten Verfahren für die im Inland verursachten, insbesondere hochradioaktiven Abfälle, den Standort für eine Anlage zur Endlagerung nach § 9a Abs. 3 Satz 1 des Atomgesetzes der Bundesrepublik Deutschland zu finden, der die bestmögliche Sicherheit für einen Zeitraum von 1 Mill. Jahren gewährleistet.“ (StandAG § 1 (1)). Wesentliche politische Grundlage für das Gesetz und damit für die Zustimmung der SPD und der Grünen war der zuvor beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland (der letztlich auf Grund des Reaktorunglücks in Fukushima zustande kam). Das Standortauswahlgesetz markiert tatsächlich einen Neustart, denn nur selten konnten sich fünf Parteien auf ein Gesetz einigen. Entsprechend dem Gesetz soll die Auswahl des Standorts im Rahmen eines wissenschaftsbasierten, transparenten Verfahrens mit Bürgerbeteiligung erfolgen, wie dies auch in anderen

Ländern (z. B. Schweiz oder Frankreich oder Schweden) in jeweils an die politischen und kulturellen Gegebenheiten in den jeweiligen Ländern angepasster Form üblich ist. Eine Prinzipskizze zu einem Endlager enthält Abb. 1.

Die Endlagerkommission

Mitglieder und Zeithorizont

In § 3 des StandAG heißt es: „Zur Vorbereitung des Standortauswahlverfahrens wird eine ‚Kommission Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe‘ gebildet.“ Diese Kommission besteht aus

- 8 Vertretern aus der Wissenschaft
- je 2 Vertretern aus der Wirtschaft, den Gewerkschaften, den Religionsgemeinschaften und den Umweltverbänden,
- 8 Mitgliedern des Deutschen Bundestags
- 8 Mitgliedern der Landesregierungen

Nach dem Beschluss des Standortauswahlgesetzes im Juli 2013 sollte die Endlagerkommission im September 2014 mit ihrer Arbeit beginnen. Die Mitglieder der Endlagerkommission wurden von den Parteien vorgeschlagen. Die Umweltverbände konnten sich jedoch nicht einigen, ob sie in der Endlagerkommission überhaupt mitarbeiten oder die Arbeit der Endlagerkommission „nur kritisch begleiten“ – was auch immer dies heißen mag. Nach diversen Auseinandersetzungen innerhalb der Umweltverbände haben sich dann – von ihren Verbänden legitimiert – Klaus Brunsmeier (stellvertretender Vorsitzender des BUND) und Jörg Sommer (Vorstandsvorsitzender Deutsche Umweltstiftung) bereit erklärt, in der Endlagerkommission mitzuarbeiten. Folgende Mitglieder der Endlagerkommis-

Tabelle 1: vom Dt. Bundestag 2014 gewählte Mitglieder der Endlagerkommission

Vertreter der Wissenschaft	Vertreter der Zivilgesellschaft
Dr. Detlef Appel, Geologe	Edeltraud Glänzer (Gewerkschaft, IG BCE)
Hartmut Gaßner, Jurist	Dr. h.c. Bernhard Fischer (Wirtschaft, EON)
Prof. Dr. Armin Grunwald, Philosoph u. Physiker	Prof. Dr. Gerd Jäger (Wirtschaft, RWE)
Dr. Ulrich Kleemann, Geologe	Ralf Meister (Bischof der ev. Landeskirche)
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Bauingenieur	Prof. Dr. Georg Milbradt (für die kath. Kirche)
Michael Sailer, Verfahrensingenieur	Erhard Ott (Gewerkschaft, ver.di)
Hubert Steinkemper, Jurist	Klaus Brunsmeier (Umweltverband, BUND)
Prof. Dr. Bruno Thomauske, Physiker	Jörg Sommer (Umweltverband, Deutsche Umweltstiftung)
Mitglieder des Dt. Bundestags	Mitglieder der Landesregierungen
Andreas Jung, CDU	Min. Franz Untersteller, SPD, Baden-Württemberg
Steffen Kanitz, CDU	St.-Min. Ulrike Scharf, CSU, Bayern
Florian Oßner, CSU	Min. Christian Pegel, SPD, Mecklenburg-Vorpommern
Eckhard Pols, CDU	Min. Stefan Wenzel, Grüne, Niedersachsen
Dr. Matthias Miersch, SPD	Min. Garrelt Duin, SPD, Nordrhein-Westfalen
Ute Vogt, SPD	St.-Min. Thomas Schmidt, CDU, Sachsen
Hubertus Zdebel, Die Linke	Min. Dr. Aeikens, CDU, Sachsen-Anhalt
Sylvia Kottling-Uhl, Grüne	Min. Dr. Robert Habeck, Grüne, Schleswig-Holstein

sion wurden sodann im April 2014 vom Dt. Bundestag gewählt² (Tabelle 1).

Nach der Wahl hat die Kommission im Mai 2014 ihre Arbeit aufgenommen. Die Fertigstellung des Berichts ist derzeit auf den 30.06.2016 terminiert.

Konnten sich die oben genannten fünf Parteien noch auf das Standortauswahlgesetz einigen, so kam eine Einigung auf einen Vorsitzenden bzw. eine Vorsitzende der Endlagerkommission nicht mehr zu Stande. Den Vorsitz teilen sich deshalb die ehemaligen parlamentarischen Staatssekretäre im Bundesumweltministerium Ursula Heinen-Esser (CDU) und Michael Müller (SPD).

Aufgabe der Endlagerkommission

Die Kommission hat die Aufgabe, einen Bericht entsprechend § 4 des StandAG vorzulegen, in dem sie die für das Auswahlverfahren relevanten Grundsatzfragen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle untersucht und bewertet sowie Vorschläge für die Entscheidungsgrundlagen und eine entsprechende Handlungsempfehlung für den Bundestag und den Bundesrat erarbeitet (§ 4 Abs. 2 StandAG):

„Die Kommission soll Vorschläge erarbeiten

1) zur Beurteilung und Entscheidung der Frage, ob anstelle einer unverzüglichen Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen andere Möglichkeiten für eine geordnete Entsorgung dieser Abfälle wissenschaftlich untersucht und bis zum Abschluss der Untersuchungen die

Abfälle in oberirdischen Zwischenlagern aufbewahrt werden sollen,

2) für die Entscheidungsgrundlagen (allgemeine Sicherheitsanforderungen an die Lagerung, geowissenschaftliche, wasserwirtschaftliche und raumplanerische Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen im Hinblick auf die Eignung geologischer Formationen für die Endlagerung sowie wirtsgesteinsspezifische Ausschluss- und Auswahlkriterien für die möglichen Wirtsgesteine Salz, Ton und Kristallin sowie wirtsgesteinsunabhängige Abwägungskriterien und die Methodik für die durchzuführenden vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen),

3) für Kriterien einer möglichen Fehlerkorrektur (Anforderungen an die Konzeption der Lagerung, insbesondere zu den Fragen der Rückholung, Bergung, und Wiederauffindbarkeit der radioaktiven Abfälle sowie der Frage von Rücksprüngen im Standortauswahlverfahren),

4) für Anforderungen an die Organisation und das Verfahren des Auswahlprozesses und für die Prüfung von Alternativen,

5) für Anforderungen an die Beteiligung und Information der Öffentlichkeit sowie zur Sicherstellung der Transparenz sowie gesellschaftspolitische und technisch-wissenschaftliche Fragen erörtern und dabei Empfehlungen zum Umgang mit bisher getroffenen Entscheidungen und Festlegungen in der Endlagerfrage aussprechen und daraus folgende Empfehlungen für ein Lagerkonzept formulieren.“

Zu den genannten Punkten soll ein Bericht verfasst werden. Dieser Bericht wird allerdings nur von den Vertretern der Wissenschaft und den Vertretern der Zivilgesellschaft beschlossen. Die Mitglieder des Bundestags und der Landesregierungen

haben kein Stimmrecht für den Bericht. Ebenso hat die bzw. der Vorsitzende kein Stimmrecht. Bei allen anderen Punkten, die im Rahmen der Ausschussarbeit diskutiert werden (beispielsweise Vergabe von Gutachten, Einladung von weiteren Experten für Anhörungen), sind die Mitglieder des Bundestages und der Landesregierungen allerdings stimmberechtigt.

Der Bericht der Endlagerkommission soll dann vom Bundestag verabschiedet werden und daran anschließend soll die Endlagersuche beginnen.

Arbeitsgruppen

Zur Bewältigung des gewaltigen Arbeitspensums hat die Endlagerkommission verschiedene Arbeitsgruppen (AG) eingerichtet. Diese sind:

- AG 1: Gesellschaftlicher Dialog, Öffentlichkeitsbeteiligung und Transparenz
- AG 2: Evaluierung des Standortauswahlgesetzes
- AG 3: Entscheidungskriterien und Kriterien für Fehlerkorrekturen

Des Weiteren wurden zwei Ad-hoc-Gruppen eingerichtet:

- EVU-Klagen (Klagen der Energieversorger)
- Grundlagen und Leitbild

Die Ad-hoc-Gruppe „Grundlagen und Leitbild“ wurde eingerichtet, da sich die 32-köpfige Kommission in den ersten fünf Sitzungen nicht auf ein Leitbild einigen konnte. Auch nach der Halbzeit der Kommissionarbeit konnte noch kein Leitbild verabschiedet werden. Die fehlende Einigung ist vor allem darin begründet, dass bereits bei der Abfassung des Leitbilds einige Mitglieder der Endlagerkommission eine „scharfe Abrechnung“ mit der gesamten Kernenergie vornehmen wollen.

Die Ad-hoc-Gruppe „EVU-Klagen“ beschäftigt sich mit den verschiedenen Klagen der Energieversorgungsunternehmen im Zusammenhang mit dem Standortauswahlgesetz und der Abschaltung der Kernkraftwerke nach dem Unglück von Fukushima. Diese Ad-hoc-Gruppe kam dadurch zustande, dass die Vertreter der Umweltverbände die Mitarbeit von Mitgliedern von Energieversorgungsunternehmen in der Endlagerkommission auf Grund dieser Klagen scharf kritisierten und den Vertretern der Energieversorgungsunternehmen die Legitimation für die Mitarbeit in der Endlagerkommission absprachen. Auch diese Ad-hoc-Gruppe ist bisher zu keinem abschließenden Ergebnis gekommen.

Die Arbeitsgruppen AG1, AG2 und AG3

² Stand 7/2015. Die ursprünglich gewählten Ministerpräsidenten Tillich und Haseloff wurden durch die Minister Schmidt und Aeikens ersetzt.

werden jeweils von zwei Mitgliedern der Endlagerkommission geleitet (AG1 von Hrn. Gassner und Hrn. Meister; AG2 von Hrn. Brunsmeier und Hrn. Steinkemper; AG3 von Hrn. Sailer und Hrn. Grunwald). Diese Arbeitsgruppen arbeiten mehr oder weniger produktiv.

Diese Arbeitsgruppen haben die Aufgabe, Tischvorlagen zu den gem. § 4 StandAG zu bearbeitenden Punkten zu erarbeiten, die dann in der Endlagerkommission beschlossen werden sollen. Die AG selbst haben keine Entscheidungsbefugnis.

Transparenz

Großer Wert wurde von Anfang an auf größtmögliche Transparenz der gesamten Diskussionen, der zu diskutierenden Arbeitspapiere und der Begründung von Entscheidungen gelegt. Es sollte auf keinen Fall in der Bevölkerung der Eindruck erweckt werden, dass hier ein abgezirkelter („Experten“-)Kreis Entscheidungen „ausbrütet“, die dann nicht klar nachvollzogen werden können. Ziel ist es, durch ein nachvollziehbares Verfahren unter Beteiligung der Bürger zu einem möglichst umfassend akzeptierten Endlagerstandort zu kommen. Im Rahmen der Kommissionsarbeit geht es jetzt allerdings erst einmal darum, zu einer transparenten Festlegung der Kriterien (geowissenschaftlich, planerisch usw.) für die Standortsuche zu kommen.

Die Sitzungen der Kommission finden im Paul-Löbe-Haus in Berlin statt, in dem nahezu alle Ausschüsse des Bundestags tagen. Alle Sitzungen werden durch zu meist fünf Fernsehkameras aufgezeichnet. Der Sitzungsablauf wird direkt im Internet übertragen und „unbegrenzt“ gespeichert. Alle Sitzungen sind öffentlich. Jeder Bürger kann nach einer Voranmeldung an Sitzungen der Kommission und auch den Arbeitsgruppen teilnehmen (ohne Rederecht). Für alle Sitzungen werden Wortprotokolle angefertigt, die im Internet veröffentlicht werden. Alle Sitzungsvorlagen, Protokolle, Kommissionsdrucksachen und Kommissionsmaterialien können von der Internetseite der Kommission (siehe www.bundestag.de/endlager/) heruntergeladen werden.

Diese Art von Transparenz hat ihren Preis! Die Debatten werden oft langatmig, da einzelne politische Vertreter nicht nur ihre eigene Meinung darlegen, sondern auch die Meinung der Partei zu bestimmten Themen breit austreten. Transparenz in dieser Form fördert auch nicht gerade die Fähigkeit zu Kompromissen bzw. zu

einem „Kuhhandel“ im positiven Sinne in der Diskussion. Jedes Wort ist „für immer“ im Wortprotokoll nachzulesen, in der Filmsequenz nachzusehen und nachzuhören, und damit letztlich „in Stein gemeißelt“. Trotzdem wird von der Mehrheit der Kommissionsmitglieder dazu keine Alternative gesehen.

Was wurde bis jetzt erreicht?

Nachstehend werden in loser Abfolge einige (aber nicht alle!) Punkte genannt, die bis zur Halbzeit der Kommissionsarbeit (Juli 2015) erreicht wurden:

Zwischen den Mitgliedern der Endlagerkommission ist ein gewisses Vertrauen gewachsen. Ohne Vertrauen lässt sich keine Einigung erzielen – unabhängig davon, um welches Thema es sich handelt. Die meisten Mitglieder der Endlagerkommission kannten einander vorab nicht. Erstmals sitzen Vertreter von Energieversorgungsunternehmen und Umweltverbänden an einem Tisch. Das auch durch einzelne Abendveranstaltungen gewachsene Vertrauen und gegenseitige Sichkennen fördert das Verständnis für die Positionen der einzelnen Mitglieder und damit auch die Wahrscheinlichkeit, noch zu einem Kompromiss zu kommen. Bei der ersten Sitzung der Endlagerkommission bat Bundestagspräsident Lammert in seiner „Kick-off-Ansprache“, den Bericht, wenn schon nicht im Konsens, so doch mit einer sehr großen Mehrheit zu verabschieden, da dieser sonst nicht gesellschaftlich akzeptiert werden würde. Nur, wenn das Vertrauen unter den Mitgliedern wächst, sind die Mitglieder überhaupt in der Lage, zu einem weitgehenden Konsens zu kommen.

Zu den Themen „Evaluation des Standortauswahlgesetzes“, „Bürgerbeteiligung im Rahmen der Kommissionsarbeit“, „Tiefe Bohrlochlagerung“ fanden Anhörungen in der Kommission bzw. den Arbeitsgruppen statt, zu denen verschiedene Experten geladen wurden. Weitere Anhörungen sollen folgen. Die Anhörungen zeigten allerdings auch, dass die Experten (hier insbesondere Juristen) beispielsweise zum Thema Finanzierung der Standortsuche nach dem Standortauswahlgesetz sehr unterschiedliche Meinungen vertraten.

Innerhalb der Arbeitsgruppe 3 wurde ein Arbeitspapier verabschiedet, das die wichtigsten Entsorgungsoptionen (Endlagerung in einem Bergwerk; Lagerung an der Geländeoberfläche über mehrere hundert Jahre und anschließende Endlagerung; Endlagerung in tiefen Bohrlöchern; Versenken im arktischen

Eis; Entsorgung im Weltraum usw.) bewertet und in drei Kategorien unterteilt. Wesentliches Ergebnis dabei ist, dass die Endlagerkommission voraussichtlich die Endlagerung der hochradioaktiven Abfallstoffe in einem Endlagerbergwerk in einer tiefen geologischen Formation präferieren wird (siehe Kommissionsdrucksache (K.-Drs.) AG3-11 [4]).

Die Arbeitsgruppe 3 hat im Juli 2015 – basierend auf einer Tischvorlage des Autors (siehe K.-Drs. AG3-29, siehe [5]) – erstmals die geowissenschaftlichen Mindestanforderungen, Ausschlusskriterien und Abwägungskriterien für einen Endlagerstandort andiskutiert. Die vorgeschlagenen Kriterien basieren auf den Kriterien, die bereits im Bericht des „Arbeitskreises Endlagerung“ im Jahr 2002 vorgeschlagen worden sind (siehe [2]). Da die Zusammensetzung der Kommission recht heterogen ist, diskutieren naturgemäß bei den Kriterien nur wenige Personen mit, die über das entsprechende fachliche Vorwissen verfügen.

Acht Mitglieder der Endlagerkommission waren Anfang Juni 2015 in der Schweiz, um mit den dortigen Verantwortlichen für die Endlagersuche in der Schweiz gemäß dem „Sachplan Tiefenlager“ (siehe [9]) über den Ablauf und die Kriterien für die Endlagersuche zu diskutieren. Dazu fanden Gespräche mit Abgeordneten des „Großen Rats des Kantons Bern“ (Kantonsregierung), mit Vertretern der „Kommission des Nationalrates für Umwelt, Raumplanung und Energie (UREK)“ (vergleichbar mit dem Deutschen Umweltausschuss) und mit Vertretern des „Bundesamtes für Energie“ statt. Des Weiteren wurden am Schweizer Paul-Scherrer-Institut mit Vertretern der Regionalkonferenzen für die einzelnen Standortregionen Gespräche zur Bürgerbeteiligung im Rahmen des Standortauswahlverfahrens geführt (siehe Abb. 2 und 3). Gemäß dem „Sachplan Tiefenlager“ hat die NAGRA in der Schweiz sechs Standortregionen identifiziert, in denen ein Endlager potenziell errichtet werden könnte. Für jede Standortregion wurde eine sog. Regionalkonferenz eingerichtet, die über eine Geschäftsstelle verfügt und die die Bürgerbeteiligung im Rahmen der Standortsuche organisiert. Im Januar 2015 wurde in der Schweiz im Rahmen des Auswahlprozesses die Auswahl von sechs Standortregionen auf zwei Standortregionen eingengt (Standortregion „Züricher Weinland“ und „Region Bözberg“ im Norden des Kantons Aargau). Beide Standortregionen liegen nahe der



Abb. 2: Vertreter der NAGRA und des Bundesamtes für Energie erklären einigen Mitgliedern der Endlagerkommission den Standort für die oberirdische Anlage bei der Standortregion „Zürich Nordost“



Abb. 3: Erster Entwurf für die oberirdische Anlage beim Standort Zürich Nordost

deutschen Grenze, da in der Schweiz auf Grund der Hebungsrates der Alpen das Endlager in der Nordschweiz errichtet werden muss. Die Endlagerung wird in ca. 500 m Tiefe im Tonstein erfolgen.

Die Arbeitsgruppe 1 hat mit der Unterstützung der Beratungsfirmen Prognos und Demos ein Konzept für die Bürgerbeteiligung im Rahmen der Arbeit der Endlagerkommission aufgestellt. Der Auftakt der Bürgerbeteiligung fand am 20.06.2015 in Berlin im Rahmen des „Bürgerdialogs Standortsuche“ statt. An dieser Veranstaltung haben etwa 200 Personen teilgenommen. Innerhalb von fünf Fokusgruppen wurden die Themen

- Wie ist eine Standortsuche im gesellschaftlichen Konsens möglich?
- Welchen Einfluss soll die Öffentlichkeit auf das Suchverfahren haben?
- Gibt es zur Endlagerung in tiefen Bergwerken Alternativen?
- Wie wird sichergestellt, dass die Kosten verursachergerecht getragen werden?
- Sollte die Bundesregierung Bau, Betrieb und Kontrolle von Endlagern neu organisieren?

diskutiert. Im Rahmen des *World-Café* wurden weitere nicht vorher festgelegte Themen bearbeitet. Ziel des Bürgerdialogs Standortsuche war insbesondere auch die Diskussion zum Konzept der Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Standortsuche (siehe K.-Drs AG1-108 [7]). Die Ergebnisse des Bürgerdialogs sind in der Kommissionsdrucksache AG-1-43 [8] und K.-Mat. 34 zu finden, wobei diese Drucksache nur einen Zwischenbericht darstellt. In und nach der Veranstaltung wurde ein Befragung der Teilnehmenden durch die

Arbeitsgemeinschaft „Dialogik/European Institute for Public Participation“ ausgeführt. Die Befragung ist in der „K.-Drs. 117 neu“ ausgewertet [6].

Weitere Veranstaltungen, bei denen gezielt einzelne Gruppen angesprochen werden sollen, werden folgen (siehe [7]).

Was sind die größten Schwierigkeiten?

Folgende Punkte lassen sich derzeit als Hauptschwierigkeiten ausmachen:

1. Der Diskussionsstil der einzelnen Mitglieder ist stark unterschiedlich - Juristen argumentieren anders als Ingenieure, Minister argumentieren verdeckt parteipolitisch und teilweise auch stark auf ihr Bundesland bezogen. Das Gremium ist insgesamt weder eine Gruppe aus Endlager-Fachleuten noch ein rein politisch besetztes Gremium. Gemäß Standortauswahlgesetz soll die Standortsuche von einer *Weißten Landkarte* ausgehen. Dies bedeutet, dass prinzipiell keine Region in Deutschland von einer Endlagersuche ausgenommen wird. Auch der Standort Gorleben gehört zur *Weißten Landkarte* und wird nicht ausgenommen. Wenn dann jedoch einzelne Minister zwischen den Kommissionssitzungen - direkt oder indirekt - in ihren Heimatbundesländern verkünden, dass sie kein Endlager in ihrem Bundesland wollen, muss natürlich jede Äußerung des Ministers in der Endlagerkommission vor diesem Hintergrund gesehen werden. Eine Suche nach einem Endlagerstandort, der auf wissenschaftlicher Basis aufbaut, wird damit konterka-

2. Eine Endlagerung ist prinzipiell in den Wirtsgesteinen Salz, Tonstein und Kristallingestein möglich. In der Schweiz und in Frankreich wird voraussichtlich im Tonstein eingelagert. In Schweden und Finnland sind die Planungen für ein Endlager im Kristallingestein weit fortgeschritten. Salz bietet durch sein Kriechvermögen und seine hohe Wärmeleitfähigkeit große Vorteile für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Ein Endlagerstandort im Salz ist beispielsweise in der Schweiz, in Frankreich, in Schweden und Finnland ausgeschlossen, da keines dieser Länder über entsprechend höfliche Salzformationen verfügt. Nun gibt es von einzelnen Mitgliedern in der Endlagerkommission nach wie vor das Bestreben, möglichst alle drei Wirtsgesteine bei der Standortsuche in Deutschland mit einzubeziehen. Dies erschwert sowohl die Diskussionen als auch die Festlegung der Kriterien. Nach Meinung des Autors ist die Öffnung der Standortsuche für drei Wirtsgesteine jedoch nur politisch bedingt, da bei der Einbeziehung des Wirtsgesteins Kristallin in die Endlagersuche auch die Bundesländer Bayern und Sachsen als mögliche Standorte in Frage kommen. Bei der Festlegung auf ein Endlager im Salz oder Tonstein würde ein Endlager voraussichtlich in einem der Bundesländer Baden-Württemberg oder Niedersachsen oder Schleswig-Holstein oder Sachsen-Anhalt oder Mecklenburg-Vorpommern errichtet werden.

3. Stark unterschiedliche Meinungen gibt es nach wie vor zur Bürgerbeteiligung und zu Volksabstimmungen zu einem Endlagerstandort. Einige Mitglieder sind der Meinung, dass ein Standort seine Beteiligungsbereitschaft erklären muss und ein Veto der Bevölkerung an einem Standort gegen ein Endlager möglich sein muss. Offen ist hier die Frage, wer bei einer Volksabstimmung überhaupt abstimmen darf - die Bürger in der Gemeinde, im Landkreis, im Bundesland? Wie wird verfahren, wenn das Endlager an einer Landkreis- oder Bundeslandgrenze liegt? Der Autor ist hier eher der Meinung, dass man aus den Erfahrungen in der Schweiz lernen sollte. In der Schweiz war ursprünglich ein Endlager am Standort Wellenberg vorgesehen. Bei zwei Volksabstimmungen im dortigen Kanton wurde der Standort Wellenberg abgelehnt. Daraufhin hat man das Schweizer Energiegesetz so abgeändert, dass Volksabstimmungen zu einem Endlager nur noch in der gesamten Schweiz stattfinden dürfen und keine „lokalen Vetos“ mehr möglich sind. Die ausschließliche Zulassung von Abstimmungen in der gesamten Schweiz wird so begründet, dass die Entsorgung der radioaktiven Abfälle als gesamtschweizerische Aufgabe gesehen wird und nicht als Aufgabe eines einzelnen Kantons. Deshalb dürfen nur die Bürger in der gesamten Schweiz abstimmen.
4. Nach wie vor breiten Raum erfordert in den Diskussionen die Einbeziehung des bisherigen „Erkundungsbergwerks Gorleben“. Ziel einzelner Mitglieder ist es, den Standort Gorleben so schnell wie möglich aus der Standortsuche auszuschließen (auch wenn sie sich offiziell zur *Weißten Landkarte* bekennen, die den Standort Gorleben beinhaltet). Gemäß Standortauswahlgesetz soll der Standort Gorleben jedoch bis zu einem Ausschluss anhand von geowissenschaftlichen Kriterien als Teil der *Weißten Landkarte* in der Standortsuche verbleiben.
5. Nicht zu unterschätzen ist der Zeitaufwand für die Mitglieder im Rahmen der Kommissionsarbeit. Pro Arbeitsgruppe und in der Endlagerkommission sind je zehn Sitzungen pro Jahr angesetzt. Da der Autor in der AG 1, der AG 3 und der Endlagerkommission mitarbeitet, fallen 30 Sitzungen pro Jahr in Berlin an. Zuzüglich mindestens eines Tages Vor- und eines Tages Nachberei-

tung bedeutet dies einen extrem hohen Arbeitsaufwand für die allermeisten Mitglieder. Dieser ist nur schwer zu bewältigen, da alle Mitglieder in leitenden Positionen tätig sind. Die Mitarbeit wird zudem nicht bezahlt, sondern nur geringfügig entschädigt.

Was kann jeder Bürger zur Standortsuche beitragen?

Ziel der Endlagerkommission ist es, ein Standortsuchverfahren festzulegen, das weitgehende Akzeptanz in der Bevölkerung erfährt. Die Bevölkerung soll sich im Rahmen noch festzulegender partizipativer Prozesse in die Standortsuche einbringen. Dabei ist es enorm wichtig, dass sich nicht nur diejenigen einbringen, die beruflich mit radioaktiven Stoffen befasst sind (z.B. in Kernforschungszentren oder „Berufsgegner“ (wie in einzelnen Umweltorganisationen), sondern auch diejenigen, die letztlich die „schweigende Mehrheit“ in der Bevölkerung bilden, und häufig rational und wenig ideologisch vorgefestigt denken. Diese „Mehrheit“ muss im Rahmen der Arbeit der Endlagerkommission und der späteren Standortsuche wesentlich umfassender aktiviert werden.

Die Endlagerkommission hat auf ihrer Internet-Seite ein Bürgerforum eingerichtet, in dem zu einzelnen Themen diskutiert werden kann, siehe www.bundestag.de/endlager/forum/. Das Bürgerforum ist allerdings von Beginn an von einzelnen Aktivisten aus der Umweltszene beherrscht worden, so dass die Beteiligung am Bürgerforum nach einigen Wochen und nach insgesamt etwa 250 Einträgen weitgehend zum Erliegen gekommen ist. Dies muss nicht sein! Die ursprüngliche Hoffnung bestand darin, dass sich am Bürgerforum ein einigermaßen repräsentativer Querschnitt von Meinungen aus der Bevölkerung abbildet. Dieses Ziel wurde bisher verfehlt. Trotzdem sollten sich nach wie vor möglichst viele Bürger daran beteiligen.

Die Endlagerkommission bekommt vereinzelt Zuschriften mit Entsorgungsideen, Vorschlägen für Kriterien, Vorschlägen für Kompensationszahlungen bei der Festlegung eines Endlagerstandorts, Vorschlägen für Bürgerbeteiligungsverfahren usw. Alle Vorschläge werden in der Kommission oder den Arbeitsgruppen diskutiert. Jeder Absender erhält eine Stellungnahme. Die Endlagerkommission hofft weiter auf eine rege Bürgerbeteiligung, damit diese Beteiligung einen repräsentativen Querschnitt

über die Bevölkerung erfasst. Die Bürgerbeteiligung kann beispielsweise auch im Rahmen der weiteren Beteiligungsverfahren erfolgen, die in [7] beschrieben sind.

Fazit

Die bisherige Arbeit der Endlagerkommission zur Halbzeit der Kommissionslaufzeit lässt erwarten, dass die Kommissionsarbeit Mitte 2016 erfolgreich abgeschlossen werden kann. Die bisher erzielten schriftlichen Ergebnisse sind in Relation zum bisherigen Arbeitsaufwand allerdings nicht allzu umfassend. Dabei muss man jedoch auch die heterogene Ausgangslage der Kommission beachten. Eine Kommission in dieser Zusammensetzung ist politisches Neuland. Der Autor sieht zur Einsetzung der Kommission und zu einem Standortauswahlverfahren, wie es im derzeitigen Standortauswahlgesetz in Grundsätzen beschrieben ist (und in den Feinheiten noch von der Endlagerkommission verbessert wird), keine sinnvolle Alternative.

Literatur

- 1 Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG), vom 23.07.2013
- 2 „Auswahlverfahren für Endlagerstandorte“, Empfehlungen des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd), vom Dezember 2002
- 3 Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz (www.bfs.de)
- 4 K.-Drs. AG3-11 Beschlussvorlage Entsorgungspfade.pdf: „Darstellung und erste Bewertung möglicher Pfade zum Umgang mit hochradioaktiven Abfallstoffen“, siehe www.bundestag.de/endlager/
- 5 K.-Drs. AG3-29_10.Sitzung Geowiss. Kriterien.pdf: „Geowissenschaftliche Kriterien im Rahmen des Standortauswahlverfahrens“, siehe www.bundestag.de/endlager/
- 6 K.-Drs. 117 neu_Bürgerdialog-Standortsuche für hochradioaktive Abfallstoffe_DIALOGIK.pdf: „Bürgerdialog Standortsuche für hochradioaktive Abfallstoffe“ Darstellung der Ergebnisse der quantitativen Befragung im Rahmen der Evaluation - aktualisierte Fassung“, siehe www.bundestag.de/endlager/
- 7 K.-Drs. 108_Konzept für die Beteiligung der Öffentlichkeit am Bericht der Kommission DEMOS und PROGNOSE.pdf: „Konzept für die Beteiligung der Öffentlichkeit am Bericht der Kommission (DEMOS / PROGNOSE)“, Stand: 29. Mai 2015, siehe www.bundestag.de/endlager/
- 8 K.-Drs. AG1-43-13.Si_DEMOS_Arbeitsdokument Auswertung Öffentlichkeitsarbeit.pdf: „Arbeitsdokument zur fortlaufenden Sammlung und Auswertung der Ergebnisse der Öffentlichkeitsbeteiligung (DEMOS/Prognos)“, siehe www.bundestag.de/endlager/
- 9 080402_sachplan_geologische_tiefenlager.pdf: „Sachplan geologische Tiefenlager - Konzeptteil“ vom 02.04.2008, herausgegeben vom Schweizerischen Bundesamt für Energie
- 10 Schlussbericht des Untersuchungsausschusses Gorleben, Drucksache 17/13700 vom 23.05.2013 des Dt. Bundestages, 836 Seiten

EIT Raw Materials: Neue Perspektiven für die europäische Rohstoffforschung

Jens Gutzmer¹, Andreas Klossek², Tina Schulz³

Obwohl Europa über ein enormes Innovationspotenzial verfügt, entstehen besonders im Rohstoffsektor nur wenige Start-up-Unternehmen. Neuartige Technologien und Prozesse schaffen – trotz exzellenter Forschung – zu selten den Sprung auf den Markt. Zwar stehen den meisten Start-ups in der frühen Entwicklungsphase öffentliche Fördermittel, wie z. B. Gründer-Fonds, zur Verfügung, doch fehlt ihnen danach oft das nötige Geld für den entscheidenden Wachstumsschub hin zu einer kapitalmarktbasierten Eigenfinanzierung. Häufig wird diese Phase als „Tal des Todes“ bezeichnet (Abb. 1). Ein Unternehmen, das sie überlebt, erhält Zugang zu einem Markt, der Investoren bereithält, die voraussichtlich tragfähige Geschäftsmodelle im Weiteren unterstützen.

Damit mehr Start-up-Unternehmen zukünftig dieses Tal des Todes überwinden und so das Innovationspotenzial des europäischen Rohstoffsektors auch ausgeschöpft werden kann, wollen 115 europäische Partner – zu denen das zum Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf gehörige Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie und die TU Bergakademie Freiberg zählen – gemeinsam einen wichtigen Paradigmenwechsel anstoßen. Wettbewerbsfähigkeit, Wachstum und Attraktivität des europäischen Rohstoffsektors sollen durch radikale Innovation, aber auch Unternehmergeist gesteigert werden. Ziel ist es, diesen wichtigen Industriesektor zu einer strategischen Säule der Wirtschaft der EU zu machen. Das Europäische Institut für Innovation und Technologie (EIT) – eine Organisation der EU – teilt diese Vision. Es hat deshalb Anfang Dezember 2014 ein Konsortium, koordiniert vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf und von der Fraunhofer-Gesellschaft, damit beauftragt, eine Wissens- und Innovationsgemeinschaft

1 Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, Halsbrücker Str. 34, 09599 Freiberg
Prof. Jens Gutzmer, j.gutzmer@hzdr.de, Tel. 0351 260-4400
2 Dr. Andreas Klossek, a.klossek@hzdr.de
3 Tina Schulz, t.schulz@hzdr.de, Tel. 0351 260-4427

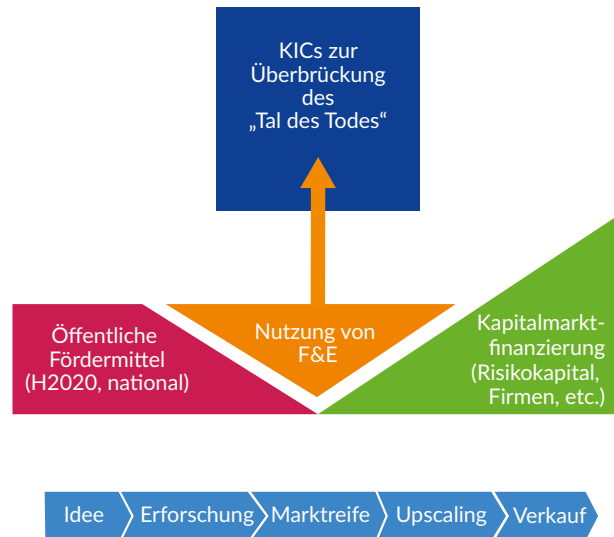


Abb. 1: Tal des Todes (orange)

(*Knowledge and Innovation Community, KIC*) für den Rohstoffsektor zu etablieren. Das neue KIC trägt den Namen „EIT Raw Materials“. Es bringt Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus 22 EU-Mitgliedsstaaten unter einem Dach zusammen. Damit ist EIT Raw Materials das größte Rohstoffnetzwerk der Welt, das auf ideale Weise ein für alle KIC charakteristisches Wissensdreieck aus Ausbildung, Forschung und Industrie erzeugt (Abb. 2). Durch seine enorme Anzahl von Partnern

verfügt das Netzwerk über Kompetenzen aus dem gesamten Spektrum des Wissens und Forschens über die mineralischen und metallhaltigen Rohstoffe und deckt alle Glieder der Rohstoff-Wertschöpfungskette vollständig ab – von der Erkundung über die Aufbereitung bis hin zu Recycling und der Substitution von Ressourcen. Diesen strategischen Vorteil will das KIC dazu nutzen, um Barrieren, die die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen

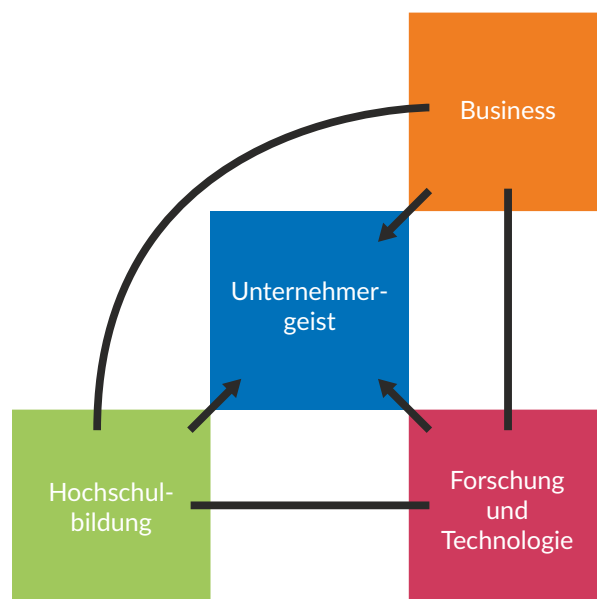


Abb. 2: Charakteristisches Wissensdreieck für Knowledge- und Innovation Communities (KIC)

behindern, zu überwinden. Auf diese Weise soll der Dialog zwischen diesen Bereichen vor allem durch Verständigung über jeweils anzugehende Ziele sowie durch den Austausch von Ideen und Forschungsergebnissen vereinfacht werden. Nur so können sich der europäische Rohstoffsektor und die an ihn angrenzenden Branchen in einen Wachstumsmarkt für Investitionen, Innovationen und talentierte Entrepreneurure verwandeln.

Damit dies gelingt, müssen sich Politiker, Unternehmer und Wissenschaftler darüber im Klaren sein, welche Herausforderungen der europäische Rohstoffsektor zu bewältigen hat. Denn im Vergleich zu Ländern wie China, Russland oder den USA ist die EU bei der Versorgung mit existenziell wichtigen mineralischen und metallischen Rohstoffen noch deutlich stärker vom globalen Handel abhängig.

Eine der wichtigsten Aufgaben des EIT Raw Materials wird es deshalb sein, neue ökonomisch und ökologisch fundierte Konzepte zu entwickeln: für die Nutzung heimischer Lagerstätten, den Bergbau unter schwierigen, oft urbanen Bedingungen – ebenso wie für den Ausbau einer wettbewerbsfähigen rohstoffverarbeitenden und sonstigen rohstoffnahen Industrie.

Eine weitere Herausforderung wird sein, mit neuen Technologien und Nutzungskonzepten den Weg für eine effiziente und nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu ebnet. Ausgediente Hightech-Produkte etwa, wie Smartphones oder Laptops, dürfen nicht mehr als Müll angesehen werden, sondern vielmehr als Quelle für die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe.

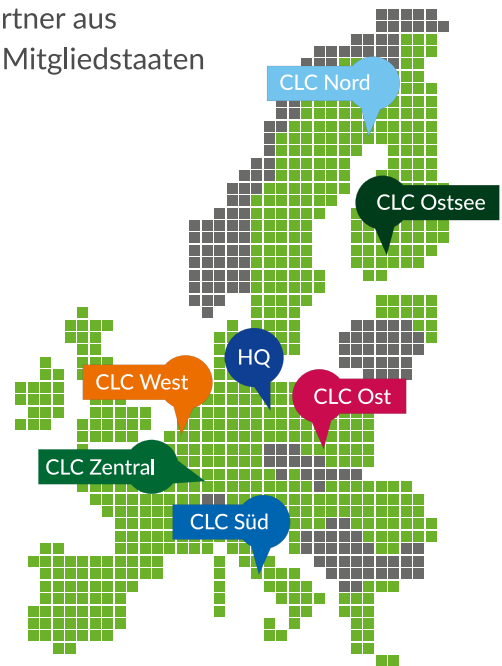
Um diese und weitere Aufgaben meistern zu können, gilt es, alle Partner des KIC optimal miteinander zu verknüpfen. In lokalen Zentren, den sog. *Co-Location Centers* (CLC), bündelt das Netzwerk dafür transnationale Regionen mit thematischen Schwerpunkten. Insgesamt gibt es sechs solcher Zentren, und zwar in Italien, Frankreich, Polen, Belgien, Finnland und Schweden (Abb. 3). Das EIT Raw Materials koordiniert sie von seinem Hauptsitz in Berlin aus. Die deutschen Partner beteiligen sich an den drei CLC in Frankreich, Belgien und Polen.

KIC-Aktivitäten als Service-Angebote

Das Start-Jahr 2015 ist zunächst dem Aufbau einer Grundstruktur für das KIC-System gewidmet. Zudem definiert das KIC sog. Aktivitätsbereiche. Das sind Service-Angebote, die Gründer oder Studenten einzeln oder aufeinander aufbauend

Abb. 3: Die Co-Location Centers von EIT Raw Materials (grün: Länder mit Partnern)

115 Partner aus 22 EU-Mitgliedstaaten



KIC Aktivitäten	Start-up-Pfad	KMU Pfad	Innovations-pfad	Job-Pfad
Unternehmensgründung & Start-up-Förderung	○	4 Wachstums- & Förderinstrumente	○	○
Aus- & Weiterbildung	○	3 Weiterbildung für Entrepreneur	○	○
Validierung & Skalierung	○	2 Upscaling-Projekte & Infrastruktur-Netzwerk	○	○
Anbahnung & Kooperation	○	1 EIT RawMaterials Anbahnungen & Ideen-Workshops	○	○

Abb. 4: Service-Angebote der KIC mit dem Fokus auf kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU)

in Anspruch nehmen können. Sie sind gegliedert in die Bereiche 1) Unternehmensgründung und Start-up-Förderung, 2) Aus- und Weiterbildung, 3) Validierung und Skalierung sowie 4) Anbahnung und Kooperation (Abb. 4).

Um die verschiedenen Angebote gut begründeten Projekten vorzubehalten, werden neu eingereichte Vorschläge stringent bewertet und der Fortschritt

bereits laufender Projekte durchgehend überwacht. So sollen nur die wirklich besten Vorhaben identifiziert und finanziell unterstützt werden, um Ideen in neue Unternehmen zu überführen, bahnbrechende Innovationen anzustoßen und das Wachstum kleiner und mittelständischer Unternehmen zu fördern. Ein wesentliches Anliegen einer KIC ist dabei die Förderung des Unternehmergeistes

Abb. 5: Zeitschiene für die Umsetzung der KIC-Initiative bis 2022



in der Aus- und Weiterbildung, um die Studenten langfristig zu befähigen, ihre Ideen in neue Produkte, Prozesse und eigene Ausgründungen umzusetzen. Für junge und engagierte Forscher wird der Rohstoffsektor dadurch noch attraktiver und auf lange Sicht trägt das KIC dazu bei, neue Arbeitsplätze zu schaffen.

Ziele für die kommenden sieben Jahre

Nach dem erfolgreichen Aufbau der Grundstrukturen soll das EIT Raw

Materials bis 2018 bereits an der Gründung von mindestens 16 Start-ups beteiligt sein. Bis 2020 soll das Netzwerk vollständig funktionieren und bis 2022 mehr als 70 patentierte Produkte auf den Markt bringen sowie rund 8.000 Entrepreneur ausbilden (Abb. 5).

Um dieses breite Aufgabenspektrum zu bewältigen, wird das EIT Raw Materials in den kommenden sieben Jahren mit bis zu 410 Millionen Euro aus dem EIT unterstützt. Dies sind allerdings nur knapp 25 Prozent der Mittel, die dem Netzwerk

und seinen Partnern in dieser Zeit zur Verfügung stehen. Das Konsortium wird u. a. auch auf die Mitgliedsbeiträge seiner Partner, die Unterstützung aus nationalen und Strukturförderertöpfen sowie auf die finanziellen Rückflüsse aus den eigenen Service- und Investitionstätigkeiten zurückgreifen können. Nach einer Gesamtförderperiode von maximal zweimal sieben Jahren soll das Netzwerk dann wie ein finanziell unabhängiges Unternehmen arbeiten und dem europäischen Rohstoffsektor als Innovationsmotor dienen.

Ein Forschungsneubau in Freiberg für 41,5 Mio. Euro – Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)

Dirk C. Meyer¹, Theresa Lemser²

Im Zeitraum 2012 bis 2015 beteiligte sich die TU Bergakademie Freiberg mit einem Antrag für ein „Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung“ (ZeHS) am Wettbewerb um eine Förderempfehlung für Forschungs(neu)bauten an Hochschulen gemäß Art. 91b GG. Nach erfolgreicher Verteidigung vor dem Wissenschaftsrat und der Bestätigung durch die gemeinsame Wissenschaftskonferenz des Bundes und der Länder stehen der Universität in den Jahren 2016 bis 2020 41,5 Mio. Euro zur Finanzierung der Baukosten und für die Beschaffung ausgewählter Großgeräte zur Verfügung.

Im Rahmen eines bundesweiten Wettbewerbs soll für die Absicherung exzellenter und national bedeutsamer Forschungsprogramme an Hochschulen deren bauliche Infrastruktur mit einem Gesamtvolumen in Höhe von knapp 367 Mio. Euro bis 2020 gefördert werden. Es geht dabei darum, den Gebäude- und Ausrüstungspark der Hochschulen – eine der wesentlichen Prämissen für dauerhaft erfolgreiches Mithalten im nationalen und internationalen Vergleich – zu komplettieren und zu modernisieren. Die Förderung der Vorhaben unterliegt strengen Kriterien. Wichtigste Voraussetzungen sind, dass sich diese durch einen herausragenden wissenschaftlichen Anspruch auszeichnen und die Forschungsprogramm

von überregionaler und/oder nationaler Bedeutung ist.

Zum mehrstufigen Antragsverfahren gehörten die Vorlage einer Antragsskizze wie auch eines umfangreichen Vollantrags beim Wissenschaftsrat, wobei der TU Bergakademie Freiberg in allen Schritten volle Unterstützung durch das Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) zuteil wurde. Eine wichtige Rolle für die Auswahlentscheidung zugunsten unserer Universität spielte die am 4. März 2015 von Prof. Dirk C. Meyer, dem Sprecher des ZeHS und federführendem Verfasser der Antragsdokumente, erfolgreich absolvierte Verteidigung des Vorhabens vor Vertretern des Wissenschaftsrates in Bonn. Am 24. April 2015 veröffentlichte der Wissenschaftsrat seine Förderempfehlung zugunsten des ZeHS, in der er der von der Bergakademie dargelegten Forschungsprogramm eine sehr hohe nationale Bedeutung zusprach, da diese einen technologisch und wirtschaftlich markanten Beitrag zur Problematik der Energiewende verheißt.³ Schließlich bestätigte die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern diese Empfehlung am 19. Juni 2015. Eine wichtige Basis für die Forschungsprogramm bilden an der TU Bergakademie u. a. die

bereits etablierten Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG)



und mehrere durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie den Freistaat Sachsen finanzierte Verbundforschungsvorhaben. In vorderster Linie sind dies die DFG-Sonderforschungsbereiche 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ (Sprecher: Prof. Christos Aneziris) bzw. 799 „TRIP-Matrix-Composite“ (Sprecher: Prof. Horst Biermann), das Innovationskompetenzzentrum „Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse – VIRTUHCON“ (Sprecher: Prof. Bernd Meyer) sowie der Spitzentechnologiecluster ADDE des Freistaates Sachsen (Sprecher: Prof. David Rafaja).

Bündelung vorhandener Kompetenzen

Mit der Etablierung des ZeHS folgt die TU ihrer im Hochschulentwicklungsplan 2020 deklarierten Absicht, Forschung und Lehre über die gesamte Wertschöpfungskette enger zu vernetzen. Dabei wird deren lückenlose Knüpfung angestrebt – ausgehend von Forschungsaktivitäten zur Theorieentwicklung über den Laborversuch, Testläufe in Technikums- und Pilotversuchsanlagen bis hin zur Großversuchstechnik, und das in einer

¹ Prof. Dr. rer. nat. Dirk C. Meyer, Prorektor für Strukturentwicklung bis Juli 2015

² Ass. iur. Theresa Lemser, Referentin

³ Empfehlungen zur Förderung von Forschungsbauten (2016), Drs. 4548-15, S. 58 ff.

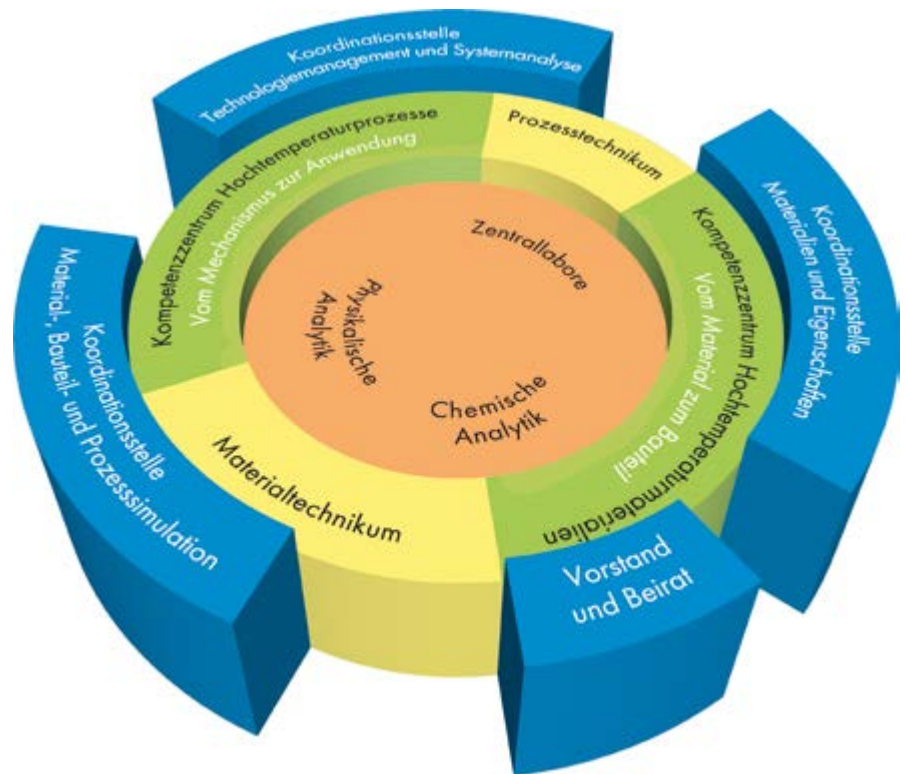
für die industrielle Nutzung erforderlichen skalenmäßigen Auslegung. Der konzipierte Forschungsneubau wird die strukturelle Bündelung der an der TU Bergakademie in den Bereichen Hochtemperatur(HT)-Prozesse und -Materialien in einzigartiger Weise vertretenen Kompetenzen ermöglichen. Die HT-Stoffwandlung umfasst dabei alle Prozesse, die bei Temperaturen oberhalb von 500 °C ablaufen. Der Fokus des ZeHS liegt auf der Entwicklung innovativer, ressourcen- und energieeffizienter Technologien in Bereichen der Grundstoffindustrie, wobei Prozess- und Materialanforderungen – namentlich in der chemischen Industrie, der Metallurgie sowie der Keramik-, Glas- und Baustoffindustrie – im Kontext betrachtet werden, so dass die Ergebnisse dann auch auf andere Branchen übertragbar sein dürften.

Maßgebliche Beiträge zur Energiewende

In seiner o. g. Empfehlung zur Förderung des Vorhabens unterstreicht der Wissenschaftsrat die herausragende strategische Bedeutung einer Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Energiewende. Hierbei kommen der flexibleren Nutzung erneuerbarer Ressourcen und der Schaffung geschlossener Stoff- und Energiekreisläufe sowie der Ausrichtung von Industrieprozessen auf zeitlich fluktuierende Angebote an Überschussenergie – insbesondere aus der Solar- und Windkraftbranche – unter Einbezug der Energiespeicherung besondere Bedeutung zu. Dabei stehen die Anforderungen an die Prozesse und die jeweils involvierten Materialien im unmittelbaren Zusammenhang. Die zu durchlaufenden Entwicklungs- und Prozessketten erstrecken sich von den Grundlagenrecherchen bis hin zu den Anwendungen in industrieeskaligen Pilotanlagen. Das ZeHS soll im Ergebnis dazu beitragen, dass die ressourcen- und energieintensive Grundstoffindustrie am Standort Deutschland verbleibt; strategisch werden auch Neuansiedlungen angestrebt.

Strukturelle Kennzeichen

Das ZeHS ist als Fokus für interdisziplinäre Arbeitsfelder der Forschungsprogrammatische aller Professuren der TU Bergakademie Freiberg gegenüber offen, womit deren Mitarbeiter die mit dem Forschungsgebäude dann verfügbare Infrastruktur sowie auch die Zentrallabore kooperativ in Nutzung nehmen können. Die beteiligten Professuren verbleiben an ihren Instituten,



Teilbereiche des ZeHS

um die Verflechtung mit den Fakultäten zu erhalten. Die gewachsene Forschungsinfrastruktur der Bergakademie wird durch das Prozess- und Materialtechnikum des ZeHS abgerundet. Zur Umsetzung der Forschungsprogrammatische des ZeHS wurde eine gleichnamige Zentrale Einrichtung gegründet. In ihre Zuständigkeit eingeschlossen ist die Unterstützung von Aufgaben in Lehre und Weiterbildung. Das Rektorat verabschiedete nach Anhörung des Senats eine entsprechende Ordnung, die Einzelheiten zur Struktur und zur Arbeitsweise des Zentrums regelt.

Teilbereiche Hochtemperaturprozesse und Hochtemperaturmaterialien

Die Forschungsschwerpunkte des ZeHS werden durch die zwei komplementären Kompetenzzentren „HT-Prozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“ sowie „HT-Materialien – Vom Material zum Bauteil“ repräsentiert. Sie beide sollen die wissenschaftlichen Entwicklungslinien des ZeHS kooperativ bearbeiten. Sie bestehen aus jeweils mehreren Arbeitsgruppen; spezifische Quervernetzungen sind vorgesehen und unverzichtbar. Die projektierte Gliederung des Forschungsbaus sieht vor: ein gemeinsames Büro- und Laborgebäude sowie zwei Hallen für das Prozess- und Materialtechnikum als infrastrukturelle Basen für die Bearbeitung fachübergreifender wissenschaftlicher Fragestellungen.

Im Kompetenzzentrum HT-Prozesse werden die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZeHS zu neuen Technologien für effiziente HT-Prozesse bis hin zu chemischen HT-Prozess-Reaktoren und allgemein HT-Prozess-Anlagen gebündelt, die für die Erzeugung der meisten industriellen Grundmaterialien (z. B. Metalle, Keramik, Glas und Basischemikalien) von essenzieller Bedeutung sind. Generell soll und muss die HT-Prozesstechnik dahingehend weiterentwickelt werden, dass deren Ressourceneffizienz unter Erhöhung der Energiedichte entscheidend gesteigert werden kann. Mittel- bis langfristig soll die zzt. schon prominente Expertise zu chemischen Reaktoren und Öfen der Thermoprozesstechnik mit dem Ziel, ein umfassendes Stoff-, Prozess-, Material- und Modellierungswissen der beteiligten Fachdisziplinen für eine neue Generation von HT-Prozessen bereitzustellen, zusammengeführt werden.

Im Kompetenzzentrum HT-Materialien werden auch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZeHS für synthetische feuerfeste Materialien gebündelt. Diese sind die Voraussetzung für den Aufbau der Prozessumgebung bei allen wichtigen HT-Prozessen. Die Forschungsprogrammatische des Kompetenzzentrums HT-Materialien überwölbt das ausgesprochen breite Spektrum von Anforderungen bezüglich der Eigenschaften der HT-Materialien, bei denen es gelingen sollte, ihre Belastungsgrenzen

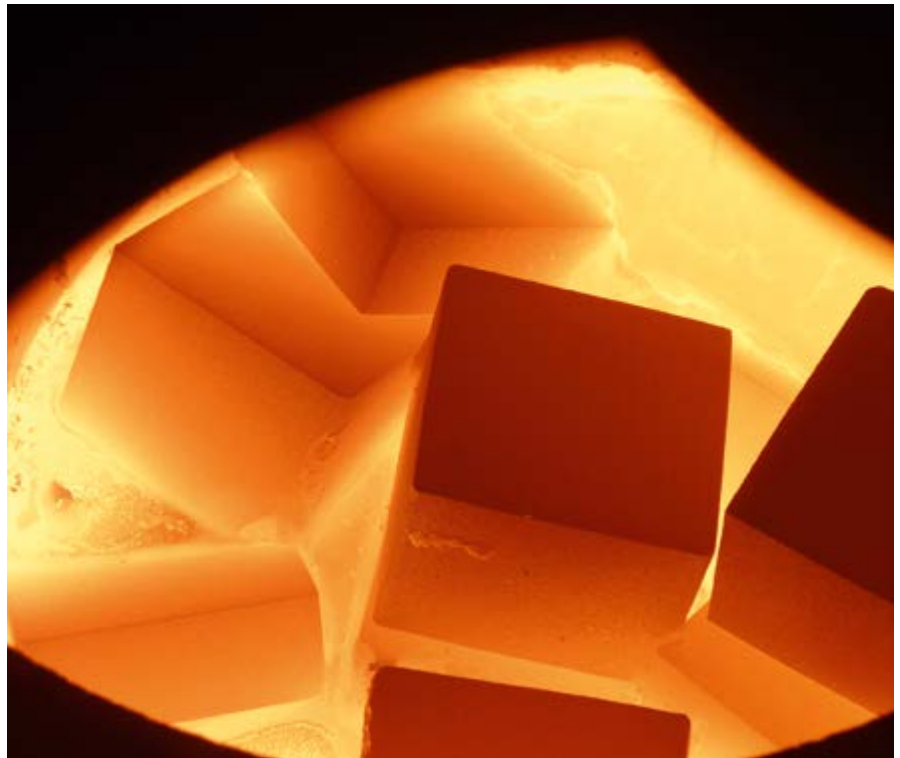
deutlich auszuweiten und neue Anwendungsfelder für sie zu erschließen. Die Kategorie der HT-Materialien ist - außer durch hohe Schmelztemperaturen - durch enorme, auch das dynamische Verhalten bestimmende mechanische Festigkeitsanforderungen charakterisiert - und das im gesamten Temperaturbereich in allen in Betracht kommenden Einsatzfeldern. Es ist vorgesehen, alle Einzelproblematiken - angefangen von denen der Ressourcenverfügbarkeit über technologische Fragen, etwa zur Fügetechnik, bis hin zum Recycling in geschlossener Form abzubilden.

Koordinationsstellen

Die beiden Kompetenzzentren bestimmen zusammen mit drei Koordinationsstellen die fachliche Gliederung des ZeHS. Die Koordinationsstellen „Materialien und Eigenschaften“, „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“ sowie „Technologiemanagement und Systemanalyse“ koordinieren einerseits die methodischen Kompetenzen sowie die Geräteinfrastruktur innerhalb des ZeHS, insbesondere für die geplanten Zentrallabore Physikalische und Chemische Analytik. Dabei begleiten sie Verbundforschungsvorhaben mittels betriebswirtschaftlicher Methoden. Sie fungieren andererseits als Schnittstellen für die Integration der an diversen Instituten der Bergakademie erarbeiteten Kompetenzen auf den Gebieten der Materialanalytik, Synthese, Modellierung, Simulation wie auch in den Wirtschaftswissenschaften und fördern fakultätsübergreifend den interdisziplinären Austausch. Die Koordinationsstelle „Technologiemanagement und Systemanalyse“ hat neben ihrer Verantwortlichkeit für Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter HT-Prozesse auch Aufgaben im Innovationsmanagement und beim Wissenstransfer zu erfüllen. Daneben sind die Koordinationsstellen auch Ansprechpartner für Kontakte zwischen dem ZeHS und externen wissenschaftlichen Einrichtungen sowie für den Wissenstransfer in das Feld der industriellen Anwendungen.

Prozess- und Materialtechnika

Darüber hinaus sollen zwei Hallen für ein Prozess- und für ein Materialtechnikum als kooperativ nutzbare Infrastrukturen gebaut werden. Auf Basis der Großgeräte im Prozess- bzw. im Materialtechnikum kann die Forschungsinfrastruktur der Bergakademie zu geschlossenen Ketten



Stahlgusssimulator zum Aufschmelzen von Stahlstücken sowie zum Umfüllen der Schmelze am IKGB

formiert werden. Das Prozesstechnikum wird sich dabei in ein Synthese- und in ein Ofentechnikum gliedern sowie ein Korrosions- und Nitrierlabor mit jeweils passenden Geräten und Versuchsständen umfassen. Im Materialtechnikum soll der Hauptstrang einer pulvermetallurgischen Fertigungslinie für HT-Materialien bzw. refraktäre Verbundwerkstoffe angelegt werden.

Ausbau der Studienangebote

Die TU Bergakademie Freiberg plant im Zusammenhang mit der Forschungsprogramm des ZeHS die Einrichtung einschlägiger interdisziplinärer Bachelor- und (internationaler) Masterstudiengänge. Damit sollen die internationale Verankerung des ZeHS im Bereich der Lehre sowie die Entwicklung profilierten wissenschaftlichen Nachwuchses gewährleistet werden.

Bauliche Realisierung

Der Forschungsneubau soll in den Jahren 2016 bis 2020 zentral auf dem Campus der TU errichtet werden. Die Gesamtkosten von 41,51 Mio. € lassen sich in Baukosten (28,67 Mio. €), Kosten für die Anschaffung von Großgeräten (9,75 Mio. €) und Kosten für die Erstausrüstung (3,09 Mio. €) gliedern. Das Gebäude soll eine Gesamtfläche von 6.011 m² aufweisen, die u. a. Büroräumen, Laborflächen, Versuchshallen und einem Computerpool Platz bietet. Im Zusammenhang mit der

anteiligen Übernahme der Finanzierung durch den Freistaat Sachsen, die Hälfte der Baukosten betreffend, wurde durch das Sächsische Staatsministerium für Finanzen mit Datum vom 27. Mai 2015 bereits der Planungsauftrag an das SMWK erteilt. Die organisatorische Verantwortung für die inhaltliche Planung, Nutzung und den Betrieb des Forschungsneubaus liegt beim Direktor/Sprecher und beim Vorstand des ZeHS. Der Forschungsneubau schafft Raum für bis zu 145 wissenschaftliche und 33 weitere Mitarbeiter.

Startpunkt und Ausblick

Am 9. Juli 2015 fand die erste Mitgliederversammlung des ZeHS statt. Dort wurden die nächsten Schritte erörtert, die neben der Vorbereitung von Verbundforschungsvorhaben für das ZeHS insbesondere der Konkretisierung der Bauplanungen gelten. Bis zu diesem Zeitpunkt erfolgte eine erste Bauberatung mit Vertretern des SMWK, der TU BAF und des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Baumanagement. Absprachen zum weiteren Vorgehen betreffen in erster Linie die Erarbeitung und Genehmigung entsprechender Entscheidungs- und Entwurfsunterlagen sowie die Erstellung eines Gebäudeentwurfs.

Der Baubeginn ist für Ende des Jahres 2016 vorgesehen. Mit dem Abschluss der Bauausführung ist etwa Mitte 2020 zu rechnen.

Bergbaurelevantes Hochschulstudium im Zeichen gesellschaftlicher und globaler Veränderungen

Herausforderungen und Lösungsansätze

Carsten Drebenstedt

Montanwesen und Innovation

Bergbau und Hüttenwesen erfordern zur Aufrechterhaltung ihrer Produktion eine ständige Anpassung der technischen Prozesse an die differenzierten natürlichen Lagerstättenbedingungen bzw. Rohstoffzusammensetzungen. Während die Rohstoffgewinnung an Stellen, an denen das Erz verwittert zu Tage tritt, relativ einfach zu bewerkstelligen ist, verkomplizieren sich die mechanischen und chemischen Eigenschaften der Gesteine sowie die Ablagerungsverhältnisse insbesondere mit zunehmender Abbautiefe. So nehmen z. B. die Festigkeiten der Gesteine zu, und der Chemismus der Erze ändert sich von einer vorherrschend oxydischen Ausprägung hin zu einer vorwiegend sulfidischen.

Mit zunehmender Tiefe ergeben sich neue Anforderungen an den Vertikaltransport, die Standsicherheit des Gebirges, die Bewetterung oder die Wasserhebung, d. h. Prozesse, die vor allem viel Energie benötigen. So reichte in der Vergangenheit die Muskelkraft des Menschen bald nicht mehr aus, um Rohstoffe effektiv abzubauen und zu Tage zu fördern. Maschinen zur Nutzung von Zugtieren, Wasser, Dampf, Elektroenergie, Druckluft oder flüssigem/gasförmigem Treibstoff wurden entwickelt und gebaut. Auch die Hüttenleute waren und sind stets auf der Suche nach Lösungen, die es erlauben, das Ausbringen an Metall und anderen nutzbaren Komponenten aus dem Erz zu steigern. Spätestens seit dem ersten Silberfund im heutigen Freiberg – Ende des 12. Jahrhunderts – waren der Bergbau und das Hüttenwesen nicht mehr aus dem Leben und Werden der Region Erzgebirge und Sachsens wegzudenken. Die Entwicklung führte im Montanwesen bereits frühzeitig zu einem hohen Grad an Arbeitsteilung, Spezialisierung und Kooperation sowie an Disziplin, Kameradschaft und Organisation. Für letztere wurden bald spezielle Institutionen, z. B. die Knappschaften und die Bergämter, eingerichtet. So etwas war damals in den anderen Bereichen der

Urproduktion, wie in der Fischerei sowie in der Land- und Forstwirtschaft, oder im Handwerk unbekannt. Und noch etwas war neu: die ständige Notwendigkeit von Innovationen. Dies bedingte die Herausbildung von systematischen Formen der Wissensgenerierung und -weitergabe, erstmals aus dem Bürgertum heraus, etwas, was bis dahin nur dem Militär oder den Klöstern vorbehalten war. Die herkömmliche Art der Weitergabe des Wissens – zunächst einfach nur vom Vater auf den Sohn – reichte bald nicht mehr aus.

Mit Bildung und Rohstoffen aus der Krise zu Wohlstand

Es war eine weitsichtige und mutige Entscheidung, als der sächsische Prinzregent Franz Xaver in seinem Brief vom 21. November 1765 an das Kammer- und Bergkollegium, schrieb, dass mit der Einrichtung eines jährlichen Fonds nun *„jungen Leuten, die sich den Bergwerkswissenschaften widmen wollen, der nötige Unterricht ... umsonst zu erteilen ...“* sei.

Kostenloser Unterricht in den Bergwerkswissenschaften – und das in einer tiefen Krise nach dem für Sachsen gerade erst verloren gegangenen Siebenjährigen Krieg, verbunden mit Gebietsabtretungen und erheblichen Entschädigungszahlungen an die Kriegsgegner? Die Entscheidung, in Bildung zu investieren, um durch Nutzung der heimischen Rohstoffpotenziale die Krise zu überwinden, erwies sich als richtig und verhalf dem Freistaat bald wieder zu beachtlichem Wohlstand.

Die Gründung der Bergakademie Freiberg, die 1766 ihren Lehrbetrieb aufnahm, fand dank dieses Erfolgs bald Nachahmer – zuerst 1770 in Preußen mit der Gründung der Bergakademie zu Berlin, danach 1773 der Bergschule (*Gornoye utshiliche*) im russischen St. Petersburg und 1775 der Clausthaler montanistischen Lehrstätte in Hannover, 1777 im spanischen Almaden und 1783 in Paris. Zahlreiche weitere montanistische Bildungseinrichtungen folgten dem Bergbau – oft hinein in die Reviere – in Europa und weltweit (1783 Mexiko, 1864 USA, 1869 Neuseeland, 1871 Kanada, 1875 Japan, 1876 Brasilien, 1892 China,

1896 Afrika, 1902 Australien) [1]. Das Konzept, eine gedeihliche Entwicklung von Wirtschaft, Gesellschaft und Wohlstand durch die effektive Nutzung der Naturpotenziale durch die Förderung von Bildung zu erreichen, hat an Aktualität nichts verloren. So hoffen heute Krisenländer wie Afghanistan auf Investoren für den Bergbau, um aus dem Teufelskreis von geringer Wirtschafts- und Steuerkraft, geringem Bildungsniveau und damit verbundener armutsbedingter Radikalisierung herauszukommen [2]. Selbstbestimmtes Handeln ist aber für einen Staat ohne eigene Einnahmen, denen eine inländische Wertschöpfung zugrunde liegt, nicht möglich.

Es scheint also ganz einfach: Wenn sich ein Staat entwickeln will, benötigt er Wertschöpfung. Diese entsteht durch Arbeit. Entsprechend dem Grad der Wertschöpfung finanziert die Arbeit den Lebensunterhalt (Konsum) und über Steuern/Abgaben den Staat. Dieser wiederum sollte in Bildung, Sicherheit, Rechtssystem, Verwaltung, Wirtschaftsförderung/Infrastruktur und andere strategische Bereiche investieren, um möglichst noch mehr und anspruchsvollere Beschäftigung und damit weitere Wertschöpfung zu generieren. Dann sollten auch soziale Spannungen und Auseinandersetzungen um die Verteilung des Wohlstands, gekoppelt mit Kapitalflucht, Korruption und Abwanderung, insbesondere der gebildeten Bevölkerung, ausbleiben (*Abb. 1*).

Die natürlichen Potenziale einer Region, z. B. fruchtbarer Boden und für eine ertragreiche Land- und Forstwirtschaft günstiges Klima – oder auch Gewässer für den Fischfang und den Transport, können eine gute Grundlage dafür sein, Arbeit und Wertschöpfung in Gang zu bringen. Dies gilt genauso für die Erschließung der Bodenschätze.

Auch das Territorium der heutigen Bundesrepublik Deutschland hat sich zunächst sehr langsam auf Grundlage der Urproduktion entwickelt und dann dank Kohle- und Eisenerzgewinnung und -verarbeitung die frühe industrielle Entwicklung in Europa mit anführen können. Heute sind wir als BRD eine der

1 Prof. Dr. Carsten Drebenstedt,
TU Bergakademie Freiberg

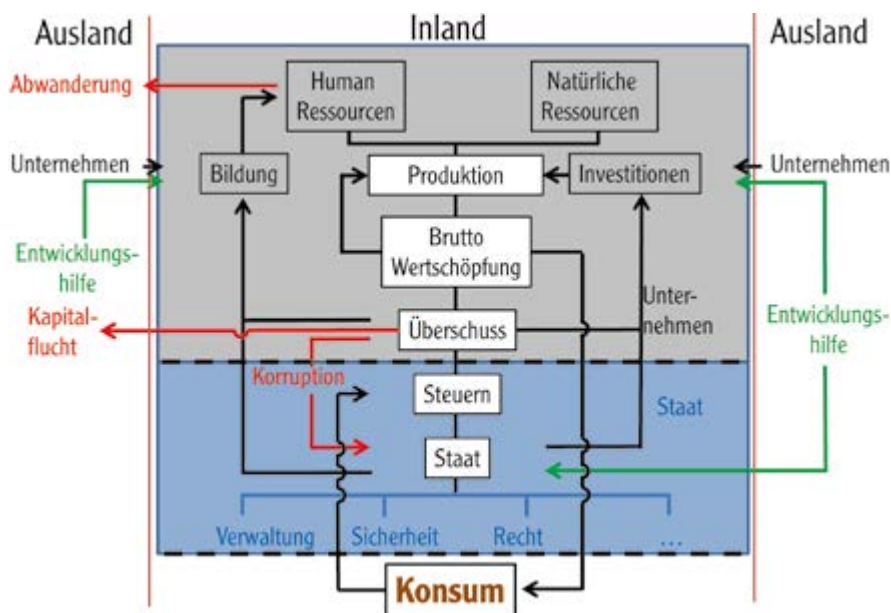


Abb. 1: Finanzströme in der Gesellschaft und die Rolle verschiedener Akteure (stark vereinfacht)

weltweit führenden Exportnationen bei Konsum- und Industriegütern, für deren Erzeugung wir die notwendigen Energie- und mineralischen Rohstoffe aber überwiegend einführen müssen.

Für den Beginn der Erschließung und Nutzung der natürlichen Potenziale bedarf es, je nach Gegebenheiten und Zielen, erheblicher finanzieller Mittel. In der Vergangenheit und heute fanden bzw. finden sich unter nicht allzu widrigen Umständen in- und/oder ausländische Kapitalgeber, die mit der Aussicht auf eine gute Verzinsung dafür Geld zur Verfügung stellen.

Fehlen private Investoren, z. B. wegen einer prekären Sicherheits- und/oder Rechtslage, werden relativ reiche Staaten (Geber) oder die internationale Staatengemeinschaft (etwa die Weltbank) Geld zur Verfügung stellen (Entwicklungshilfe). Die „Verzinsung“ kann dann zunächst darin bestehen, dass Unrecht, Menschenrechtsverletzungen oder gar kriegerische Auseinandersetzungen ausbleiben und auch anderweitige Investitionshemmnisse für Unternehmen entfallen.

Die Unterstützung von Rohstoffprojekten kann im ausdrücklichen Interesse der Geberländer/Industrienationen liegen, wenn diese – wie Deutschland – auf Rohstoffimporte angewiesen sind. Neue Rohstoffprojekte können das Angebot an den Märkten und den Kreis der Lieferregionen erweitern und so für die Nachfrage verbesserte Randbedingungen schaffen (faire Preise, weniger Monopole). Um das zu erreichen, können die Geberländer Wissen, Maschinen und Ausrüstungen in über interessante Rohstoffvorkommen

verfügende Staaten exportieren und mit der Ausbildung von Fachkräften – nicht zuletzt für deren dauerhafte Bindung an das Land – sorgen.

Zur Entwicklung des Rohstoffsektors gehören neben erfolgreicher Exploration, dem Aufbau von Bergbaubetrieben und zugehöriger Infrastruktur mittels oftmals milliardenschwerer Investitionen sowie einer effektiven Bergverwaltung vor allem auch einheimische Fach- und Führungskräfte auf allen Qualifikationsebenen.

Heute kommen den montanistischen Fakultäten in den „alten“ Industrieregionen in puncto Ausbildung zwei Aufgaben zu: Erhaltung bzw. Stärkung der Kompetenz für die Nutzung einheimischer Lagerstätten plus Entwicklung von Montan-Kompetenz in den Entwicklungs- und Schwellenländern.

Die Bergbauausbildung an der TU Bergakademie Freiberg folgt diesen Trends in ihrer nationalen und internationalen Dimension.

Der Einfluss der gesellschaftlichen Entwicklung auf die Bergbauausbildung in Freiberg

Entwicklung der Ausbildung im nationalen Fokus

In den ersten 100 Jahren ab Gründung unserer Alma mater war die Bergbaukunde-Ausbildung zunächst auf den damaligen Schwerpunkt Erzbergbau fokussiert. Mit ihrer rasanten industriellen Entwicklung erlangten ab 1870 der Steinkohlentiefbau und ab 1900 der Braunkohlenbergbau als Quellen der „treibenden“ Energierohstoffe größere Bedeutung.

Vorlesungen über Braunkohlenbergbau wurden 1919 eingeführt, über die Gewinnung von Steinen und Erden 1926. 1946 wurde in Freibergs Laboren und Hörsälen der Kali- und Salzbergbau etabliert, später kam der Uranerzbergbau hinzu.

Wurden die Vorlesungen zur Bergbaukunst ab 1768 zunächst von den Professoren für Mineralogie gelesen, hatte man mit Karl Adamus Kühn 1818 den ersten Professor eigens für „Bergbaukunst und Geognosie“ berufen. Ihm folgten 1835 Moritz Ferdinand Gätzschmann, 1871 Karl Gustav Kreischer, 1891 Emil Treptow und 1918 Karl Kegel. 1779 führte Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier die „Lehre vom Wetterzuge“ ein.

Mit der Teilung Deutschlands und der Welt nach 1945 in zwei getrennte politische und wirtschaftliche Systeme konzentrierte sich die DDR auf die Nutzung der heimischen Rohstoffe: Kohle, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Flussspat, Uran, Kalkstein, Ton. Namentlich auch Steine und Erden wurden in wachsendem Umfang abgebaut, da man sie zum Wiederaufbau des Landes nach dem Krieg dringend benötigte. Freiberg wurde zum Zentrum der Montanbildung in der DDR entwickelt, und die Studenten-Kapazität der Bergakademie von bis dahin ca. 400 auf 3.000 erweitert. Befand sich am Stadtrand Freibergs seit den 20er-Jahren lediglich das Braunkohlenforschungsinstitut, entstand hier Anfang der 50er-Jahre der heutige Campus, 1956 u. a. mit dem Institut für Tagebaukunde (Gustav-Zeuner-Straße 1).

Das Fachgebiet Bergbau wurde im Zuge des Ausbaus der Lehre und Forschung erheblich erweitert und 1953 zwei separate Institute mit getrennten Studiengängen für den Bergbau eröffnet: das Institut/die Professur für Tagebaukunde unter der Leitung von Helmut Härtig sowie das Institut/die Professur für Bergbaukunde-Tiefbau unter Otto Schubert. Weitere Möglichkeiten der Spezialisierung wurden mit der Errichtung der Professuren für Bergwirtschaftslehre, für Braunkohlenbrikettierung und bergmännische Wasserwirtschaft u. a. geschaffen, (s. Abb. 2).

Im Zuge der Hochschulreform 1968 wurden aus den Bergbauprofessuren die Fachgebiete der Geotechnik als eigene Strukturen ausgegliedert und erweitert; zuvor war das bereits mit den Lehrstühlen für Bohrtechnik und Gewinnung von Erdöl und Erdgas geschehen (Abb. 2).

Nachdem das Image des Bergbaus in Deutschland und Europa gegen Ende des 20. Jahrhunderts einen Tiefpunkt

erlangt hatte, die Studentenzahlen zurückgegangen sowie Forschungsaufträge zunehmend ausgeblieben waren, führte man 1993 die Institute für Tagebau und Bergbau-Tiefbau zum Institut für Bergbau zusammen.

Studium und Studenten

In den Gründungsjahren der Bergakademie kamen nur vereinzelt Studenten nach Freiberg; sie wohnten und lernten in den Privathäusern der ausbildenden Bergbeamten. Langsam wuchs die Studentenschaft auf ca. 100 Personen an, um nach der deutschen Reichsgründung Ende des 19. Jahrhunderts eine Kopfzahl von ca. 400 zu erreichen.

Vom Ende der 50er- bis zum Ende der 80er-Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden an der Bergakademie für das Fach Bergbau jährlich ca. 100 Studienbewerber gemäß staatlichen Bedarfsvorgaben immatrikuliert. Studiert wurde in Seminargruppen zu je ca. 25 Personen. Die damalige Studienorganisation ließ ein Studium über die Regelstudienzeit hinaus nur im Ausnahmefall zu, sodass die Studiengruppen geschlossen zum geplanten Termin das Studium absolvierten.

Abb. 3 verdeutlicht die Veränderungen der Absolventenzahlen in den verschiedenen Studienformen am Beispiel der Fachrichtung Tagebautechnik. Neben den Vollzeit-Studenten (rot), die überwiegend als Diplom-Ingenieur abschlossen (teilweise auch als Hochschul-Ingenieur ohne Diplom), absolvierten auch Studenten des Industrie-Instituts mit dem Abschluss Dipl.-Ing.-Ök. (gelb), zusätzlich auch solche im Fern- (grün) und im Sonderstudium (WISMUT, blau) [3, 4].

Außer der Dynamik der Studienformen widerspiegelt der Verlauf der Absolventenzahlen in Abb. 3 auch die gesellschaftliche Grundhaltung gegenüber dem Bergbau:

In der Zeit von 1956 bis 1963 stieg diese Zahl mit der Einführung des Studiengangs Tagebautechnik 1953 - parallel zum Aufbau der braunkohlebasierten Energie- und Chemiesektoren, der Baustoffindustrie und des Uranerzbergbaus - auf bis zu 50 jährlich an

Zum Jahr 1972 fiel die Anzahl der Absolventen dramatisch ab, da zu diesem Zeitpunkt - mit der Fertigstellung der Öl- und Gaspipelines aus der Sowjetunion - große Hoffnungen auf die Substitution der Braunkohle durch preiswertes Erdöl- und Erdgas gesetzt wurden. In diesem Kontext erlangten auch die Fachgebiete Tiefbohrtechnik und Erdöl-/

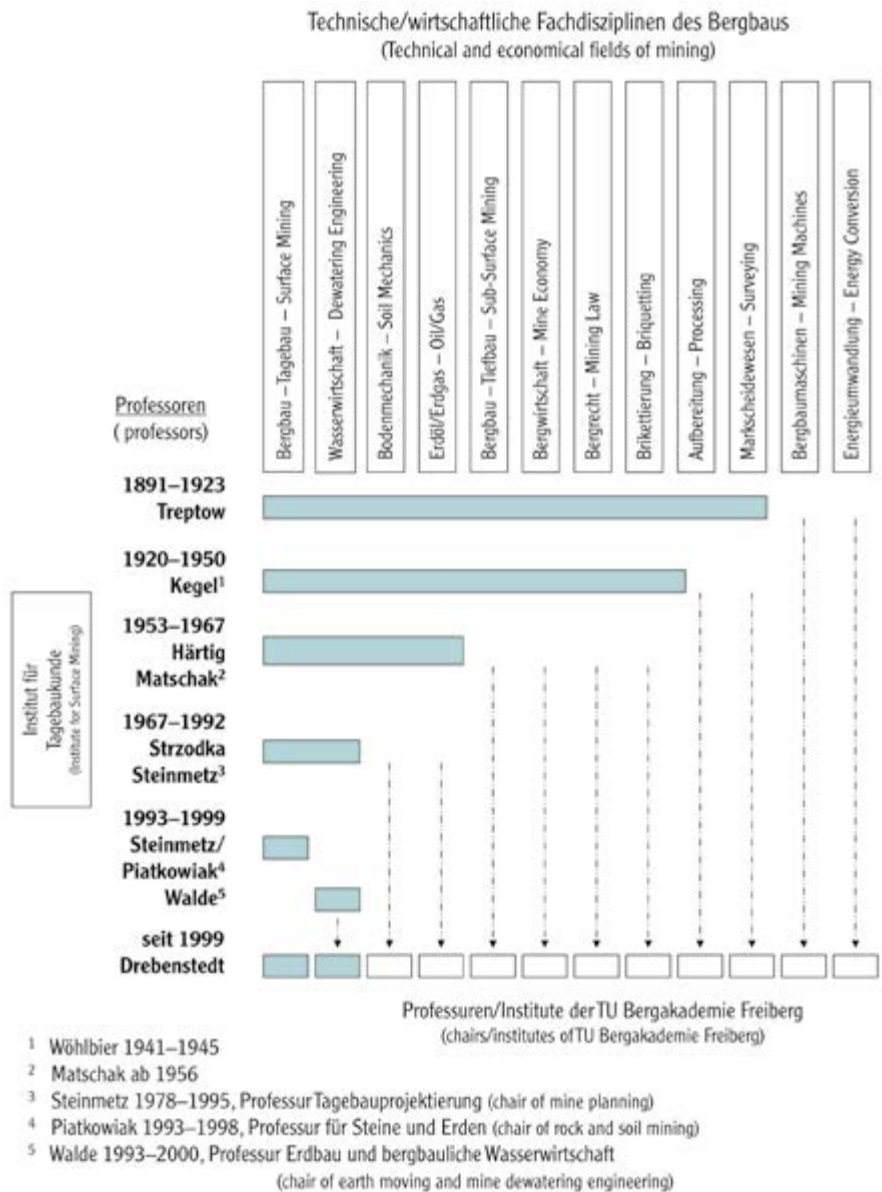


Abb. 2: Entwicklung des Fachgebiets Bergbau-Tagebau

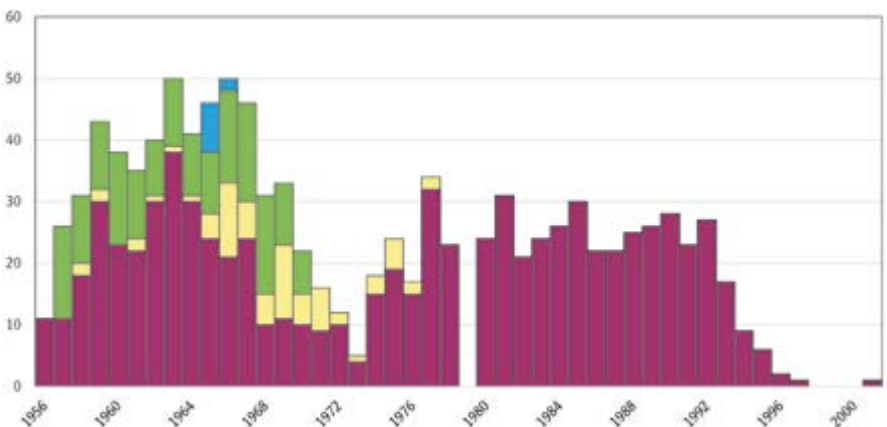


Abb. 3: Dynamik der Absolventenzahlen Bergbau-Tagebau als Spiegel der wirtschaftlichen Entwicklung

Erdgasgewinnung in Gestalt eines Instituts ihre Eigenständigkeit.

Nachdem sich mit der ersten Ölkrise 1973 die Erdöl- und Erdgasimporte deutlich verteuert hatten, gewannen die

Braunkohle und mit ihr die Ausbildung in der Tagebautechnik wieder an Bedeutung, und bis 1989 absolvierten dann ca. 25 Studenten pro Jahr das Studium in diesem Fach.

Ab 1990 verringerte sich – mit der drastischen Einschränkung des Braunkohlenbergbaus um ca. 75 % (aber auch der Steine&Erden-Gewinnung) – die Anzahl der Absolventen wieder deutlich, was schließlich zur Einstellung des bis dahin eigenständigen Studiengangs „Tagebautechnik“ führte.

In den ersten drei Zeitabschnitten sind die Studenten-/Absolventenzahlen unter dem Gesichtspunkt der Planwirtschaft zu bewerten, bei der die Anzahl der Studienplätze staatliche Vorgabe war. Im Zeitraum von 1953 bis 1997 wurden im Fachgebiet Tagebautechnik 1.047 Studenten ausgebildet. Im Fach Bergbau/Tiefbau verlief die Entwicklung von 1950 bis 1990 analog, allerdings ohne die ölkrisenbedingte, in der Statistik manifestierte Delle.

1993 wurden die getrennten Studiengänge in Bergbautechnik, Geotechnik und Bohrtechnik/Fluidbergbau zu einem Diplomstudiengang „Geotechnik und Bergbau“ mit einem gemeinsamen Grundstudium und ab dem 5. Semester für die Spezialisierung dienenden Vertiefungsrichtungen zusammengeführt. Eine relativ kurze Studiendauer von lediglich neun Semestern mit studienbegleitender praktischer Ausbildung im Umfang von einem Semester sollte das Studium für interessierte Abiturienten attraktiver erscheinen lassen.

Als neue Fachrichtung wurde im Jahr 2000 der Spezialtiefbau, zwischenzeitlich auch der Sanierungs- und Entsorgungsbergbau, am Institut für Bergbau etabliert, um zusätzliche Lehr- und Forschungsangebote für die veränderten Aufgaben im vereinigten Deutschland zu entwickeln. Es galt immerhin, eine große Anzahl von unrentablen und umwelttechnisch nicht mehr akzeptablen Bergbaubetrieben zu schließen, großräumig Bergbaufolgelandschaften zu gestalten und die Infrastruktur im Osten Deutschlands an die modernen Erfordernisse anzupassen. Eine Honorarprofessur für Arbeitssicherheit und Gastprofessuren für Sanierungs- bzw. Braunkohlensanierungsbergbau wurden eingerichtet, die Studienpläne um relevante Lehrveranstaltungen – wie Rekultivierung – erweitert. Moderne Methoden der Informatik wurden verstärkt implementiert [5].

Erst mit dem 2004 beginnenden neuerlichen Rohstoffboom erhöhte sich die Anzahl der Einschreibungen im Studiengang Geotechnik und Bergbau (GTB) wieder deutlich (Abb. 4) und pegelte sich in den letzten Jahren bei stabil ca. 100

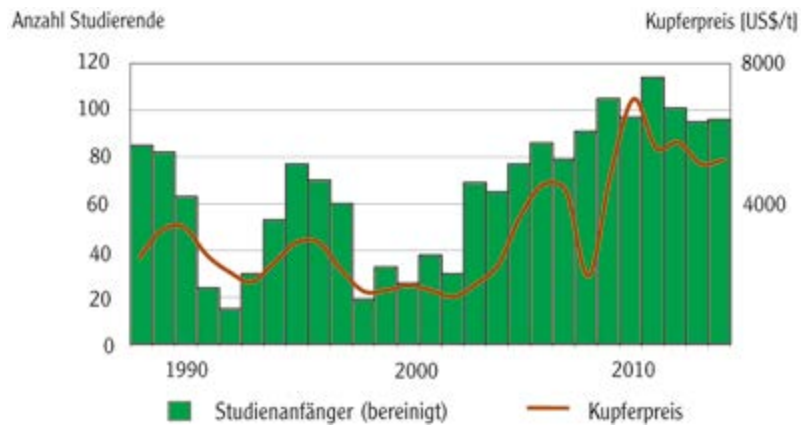


Abb. 4: Einschreibungen für den Studiengang Geotechnik und Bergbau im Kontext mit dem Kupferpreis

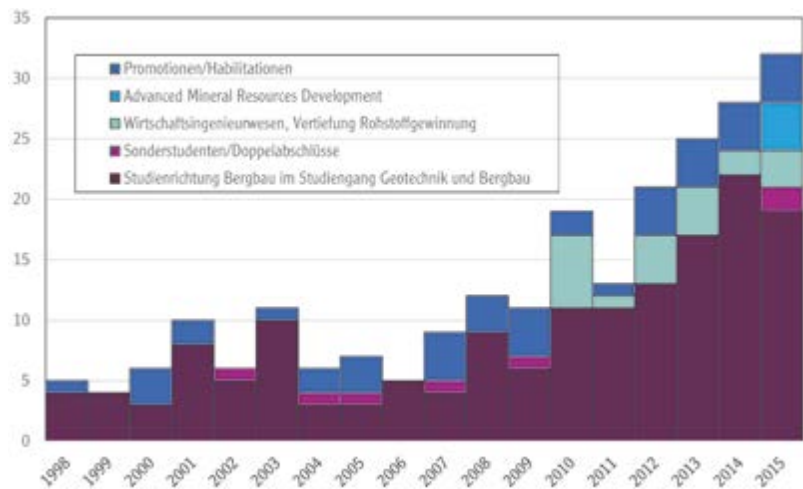


Abb. 5: Absolventen der Fachrichtung Bergbau von 1998 bis 2015

ein. Die Abbildung verdeutlicht, wie sehr die Berufswahl an die Wahrnehmung des jeweiligen Metiers in der Gesellschaft gekoppelt ist: Zunächst ist Mitte der 90er-Jahre ein spürbarer Anstieg der Studentenzahlen zu verzeichnen, nachdem diese zuvor deutlich abgefallen waren. Als ein Grund dafür gilt das von der Politik abgegebene Versprechen vom Aufschwung und den „blühenden Landschaften“ nach der Wiedervereinigung Deutschlands 1990 – insbesondere in den östlichen Bundesländern – sowie ein parallel dazu erwarteter Bauboom. Diese Verheißung machte vor allem die Studienrichtung Geotechnik wieder attraktiv. Schnell erwiesen sich diese Erwartungen als Fehleinschätzung, und die Studentenzahlen sanken Ende der 90er-Jahre wieder auf unter 40 Neumatrikulierte ab. 2004 stieg unerwartet die Nachfrage nach Rohstoffen in den Schwellenländern, insbesondere in China, stark an. Mit der dadurch ausgelösten Verknappung des Rohstoffangebots stiegen die Rohstoffpreise z. B. für Erze und Kohlenwasserstoffe in kurzer Zeit um das Fünf- bis Zehnfache. Deutschland hatte

sich während der Tiefpreisphase von 1988 bis 2003 weitgehend aus dem heimischen und internationalen Bergbau zurückgezogen und auf gegen Zahlung leicht realisierbare billige Rohstoffimporte gesetzt. Die Verknappung und Verteuerung der Rohstoffe avancierten nun zu den meistdiskutierten Themen in Wirtschaft, Politik und Medien. In Abb. 4 ist zu erkennen, wie im Zuge dieser Entwicklung auch die Studentenzahlen wieder kontinuierlich anstiegen. Die Bergbauunternehmen wurden an den Börsen hoch bewertet, die Jobaussichten waren positiv, und das fast entschlummerte Rohstoffbewusstsein in der Gesellschaft wurde wieder geweckt. Auch die Wirtschafts- und Finanzkrise 2008–2010 stoppte diesen Trend nicht.

Seit 2014 aber fallen die Rohstoffpreise mangels Nachfrage wieder. Um mögliche negative Auswirkungen auf die Studentenzahlen zu vermeiden, sind Maßnahmen notwendig. Ein Konzept ist die Internationalisierung der Lehre, der Forschung und des Studierendenpools. Die zeitversetzt sich erholenden Absolventenzahlen in der Studienrichtung Bergbau zeigt Abb. 5.

Mit einem Schlupf von fünf Jahren nach dem Beginn des Rohstoffbooms erhöhte sich die Anzahl der Bergbau-Absolventen (ohne Geotechnik, Spezialtiefbau und Bohrtechnik/Fluidbergbau) wieder und erreichte 2014 die Zahl 24. Neben regulären Absolventen kommen seit 2002 vereinzelt solche mit Doppelabschlüssen (s. unten) in Kooperation mit ausländischen Partner-Universitäten und seit 2011 Master-Studenten des Studiengangs Wirtschaftsingenieurwesen mit der Vertiefung Rohstoffgewinnung hinzu.

Bei der Entwicklung der Bergbau-Ausbildung soll der Bologna-Prozess nicht unerwähnt bleiben, der 1999 mit dem Ziel der Etablierung eines wettbewerbsfähigen europäischen Hochschulraums gestartet worden ist. Eine wichtige Maßnahme war die Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen. Auch die in der Regel zehensemestrigen deutschen Diplomstudiengänge sollten in eine Bachelor- (sechs bis sieben Semester) und in eine Masterphase (entsprechend vier bis drei Semester) unterteilt werden, was auch überwiegend so geschah. Allein der Freistaat Sachsen hat es seinen Hochschulen überlassen, die Form des Studienablaufs zu wählen. Mangels erkennbarer Vorteile gegenüber dem von der Praxis nach wie vor nachgefragten Berufsbild des Diplomingenieurs und angesichts eines fehlenden solchen Bildes für den Bachelor im Bergbau behält Freiberg den Diplomstudiengang für Bergleute bis heute bei.

Internationale Aspekte der Freiburger Bergbauausbildung Allgemeine Entwicklung

Bereits kurz nach Gründung der Bergakademie kam als erster ausländischer Student 1771 Albert Vergeel (Matr. 77) aus Amsterdam nach Freiberg; ein Jahr später die ersten Studierwilligen aus Russland und aus Spanien [6]. Zur sprachlichen Vorbereitung wurden später spezielle Vorbereitungskurse für die damals natürlich in Deutsch zu absolvierenden Studiengänge angeboten. Die Herkunftsländer orientierten sich an den jeweiligen politischen und wirtschaftlichen Interessen und Erfordernissen (Abb. 6):

In der Zeit bis 1944 dominierten (bei 51 Herkunftstaaten) aus der nördlichen Hemisphäre stammende Studenten: Bis 1799 rekrutierten sich die ausländischen Studenten zunächst nur aus 14 europäischen Ländern sowie aus Brasilien (1792). Erste Studenten aus Nordamerika (USA) kamen 1819, aus Afrika (Ghana) 1847, aus

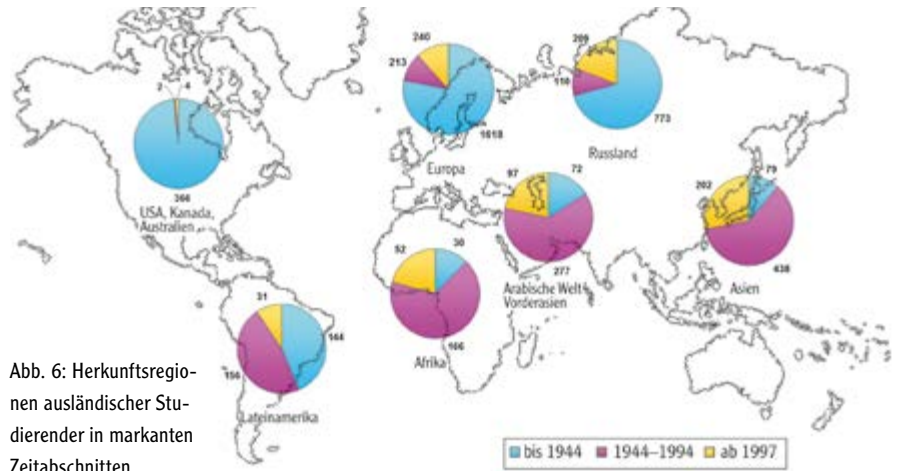


Abb. 6: Herkunftsregionen ausländischer Studierender in markanten Zeitabschnitten

Asien (Indien) 1859 und aus Australien 1869. Südamerika stellte in dieser Zeit die zahlenmäßig stärkste Gruppe, nach Europa, Russland und den USA. Der Ausländeranteil lag ab 1840 deutlich über 20% und um 1900 bei bis zu 60%.

In der Zeit der Teilung Deutschlands und der Welt nach dem 2. Weltkrieg bis zur deutsch-deutschen Wiedervereinigung verschob sich das Spektrum der Herkunftsländer: Es überwog die Zahl der Studierenden aus Asien (Vietnam, Nordkorea, Mongolei ...), Afrika (Algerien, Mocambique, Marokko ...), Europa, und Lateinamerika, die in ihrer politischen Grundhaltung dem sozialistischen Weltsystem einigermaßen nahestanden. Insgesamt kamen Studierwillige aus 89 Ländern, von denen 54 in der Liste der Herkunftsländer erstmalig auftauchen. Der Anteil ausländischer Studierender betrug damals deutlich weniger als 10%.

Seit 1997 kommen Studierende wieder aus fast allen Teilen der Welt, insgesamt aus 120 Staaten. Europa und Asien stellen gut 75% der ausländischen Studierenden. Der Ausländeranteil an der Studentenschaft insgesamt liegt 2015 mit ca. 900 Studenten (zzgl. Doktoranden) bei über 15%.

Internationalisierung der Ausbildung

Hierüber ist in der ACAMONTA 2014 bereits berichtet worden (s. S. 36f. sowie S. 64f. samt dortiger Abb. 4), sodass nur einige Fakten nachzutragen bleiben:

Allein in der Tagebautechnik wurden im Zeitraum 1953 bis 2003 41 ausländische Studierende aus 19 Ländern ausgebildet, darunter 17 junge Leute aus Ungarn (im Zusammenhang mit dem Aufschluss von Braunkohletagebauen in diesem Land) und zehn aus Afrika [4].

Mit der Reduzierung der Studentenzahlen nach 1990, auch in allen west-

europäischen Staaten, geriet die Bergbauausbildung unter erheblichen Druck und damit die Existenzfrage für die „zuständigen“ Hochschulen auf die Tagesordnung. In dieser Situation ergriffen 1996 die Royal School of Mines in London und die Universität Delft, Niederlande, die Initiative und etablierten gemeinsam mit der RWTH Aachen und der Universität Helsinki den European Mining Course (EMC). Die an diesem Programm beteiligten Studenten verbringen jeweils zwei Monate an einer der Gastuniversitäten und erwerben dort Ausbildungsinhalte, die an den Heimatuniversitäten anerkannt werden. Damit konnte dem Problem offenbar zu kleiner Studentengruppen fürs Erste begegnet werden. Zusätzlich erlangten die Studenten auf diese Weise wertvolle soziale und interkulturelle Kompetenzen. Einen analogen Kurs gibt es auf dem Gebiet der Metallurgie (EMEC) [7].

Auch die TU Bergakademie Freiberg entsandte regelmäßig Studenten zum EMC und wurde Mitbegründer des European Geotechnical and Environmental Course (EGEC) als eine der ausbildenden Institutionen neben Universitäten in Berlin, Wrocław, Miskolc und Kosice.

Nach der Phase einer Ausbildungskooperation im Rahmen dieses internationalen Netzwerks und stimuliert durch die ab 2004 wieder zunehmende Bedeutung des Bergbaus wurden auch an der TU Bergakademie Freiberg wieder spezielle Angebote für deutsche und ausländische Studierende entwickelt:

Seit 2010 wird der erste englischsprachige Masterstudiengang im Fach Bergbau in Deutschland angeboten: „Sustainable Mining and Remediation Management“ mit dem Schwerpunkt des verantwortungsbewussten Rohstoffabbaus, namentlich auf der Basis der teilweise exklusiven Erfahrungen auf dem Gebiet

des Sanierungsbergbaus. 2012 wurde der erste multinationale englischsprachige Masterstudiengang (*joint degree*) auf dem Gebiet des Bergbaus „*Advanced Mineral Resource Development*“ gemeinsam mit den Partneruniversitäten Leoben und Dnepropetrovsk, seit 2015 auch mit Peking, eingerichtet. Die Studenten verbringen dabei je eines der drei Semester an einer der Partneruniversitäten und erhalten den wechselseitig anerkannten Abschluss dieser drei Hochschulen zertifiziert. Die Masterthesis wird im vierten Semester an einer Partneruniversität eigener Wahl geschrieben.

Doppeldiplom-Verfahren für die Bergbaufachgebiete wurden deutschlandweit im Jahr 2001 erstmals mit der Partneruniversität in Krakau und im Folgenden mit Gliwice (Polen) sowie mit Dnepropetrovsk (Ukraine), Moskau und St. Petersburg (Russland) vereinbart. Dabei studieren die jungen Leute zunächst an ihrer Heimatuniversität und verbringen die beiden letzten Semester – auch mit dem Anfertigen der Abschlussarbeit – an der jeweiligen Partneruniversität. Die Studenten erhalten dann die Abschlüsse beider Hochschulen [8, 9]

Auch bei einer Doppelpromotion erhalten die Absolventen die Abschlüsse beider Partner. Erstmals wurde eine solche Vereinbarung 2006 mit Dnepropetrovsk und dann mit Petrosani (Rumänien) faktisch umgesetzt.

Das 3+2-Programm (drei Jahre Studium in Ulan Bator nach deutschem Studienplan mit Deutsch-Intensiv, danach Wechsel für zwei Jahre in den Bergbaudiplomstudiengang nach Freiberg) ermöglicht es Bergbaustudenten der Mongolischen Universität für Wissenschaft und Technologie, ihre Ausbildung in Freiberg fortzusetzen und abzuschließen.

Das 4+2-Programm mit der Universität für Bergbau und Technologie in Xuzhou, China, gibt den Studenten die Möglichkeit, nach einem in Xuzhou (4 Jahre) erworbenen Bachelorabschluss ein bergbaurelevantes Masterprogrammstudium (zwei Jahre) in Freiberg aufzunehmen.

Neben diesen speziellen Studienoptionen können selbstverständlich die vielfältigen Erasmus-Vereinbarungen mit Partneruniversitäten für ein Auslandssemester genutzt werden. Auch regelmäßige Auslandsexkursionen geben den Studenten Einblicke in die Welt des internationalen Bergbaus.

Die charakterisierten Programme eröffnen den Studenten den Blick über

den berühmten Tellerrand, verbessern ihre sprachlichen und kommunikativen Fähigkeiten, fördern ihre Teamfähigkeit und stärken die Selbstständigkeit sowie ihre Befähigung zum „barrierefreien“ Umgang mit anderen Kulturen.

Weitere Aktivitäten zur Internationalisierung der Bergbauausbildung zielen auf die Stärkung der einschlägigen Kompetenzen in den jeweiligen Heimatländern ab, z. B.:

- 2015 wurde in Freiberg die erste Summer School „From Dredging to Deep Sea Mining“ mit Teilnehmern aus fünf Ländern durchgeführt.
 - Seit 2006 wird speziell für junge Wissenschaftler jährlich ein fachübergreifendes internationales Kolloquium entlang der Rohstoff-Wertschöpfungskette im Rahmen des BHT ausgerichtet.
 - In den Jahren 2003 bis 2005 und 2010 bis 2011 wurde an der TU Bergakademie Freiberg ein Auslandssemester speziell für thailändische Studenten der KMITL Bangkok angeboten.
 - Projekte zur Modernisierung und Entwicklung von Bergbau- und bergbau-relevanten Studiengängen wurden in Bolivien und Vietnam und werden derzeit auch in Afghanistan realisiert [10].
 - Seit 2014 gibt es die Fachberatung und -koordination für den Aufbau der Deutsch-Mongolischen Hochschule für Bergbau und Technologie (GMIT) bei Ulan Bator.
 - Ferner: die Teilnahme an der Evaluierung von Hochschulen in Kasachstan und Rumänien sowie
 - Unterstützung für Weiterbildungsprojekte in Rumänien, Serbien und Chile.
- Seit dem Jahr 2000 haben an der Professur Bergbau-Tagebau 30 Studenten aus 14 Ländern promoviert. Gastwissenschaftler kamen bisher aus acht Ländern, Gastvorlesungen sowie Forschungs- und Entwicklungsprojekte wurden in sieben Ländern realisiert. Gemeinsam verfasste Lehr- und Fachbücher wurden in Russland, der Ukraine, der Mongolei und in der Slowakei veröffentlicht [11].

Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Der internationale Austausch zu den aktuellen und perspektivischen Entwicklungen in der Bergbauausbildung vollzieht sich in Netzwerken und speziellen Organisationen. So sind die Bergbauprofessoren der TU Bergakademie Freiberg Mitglied in der internationalen Societät der Bergbaukunde, die ihre Mitgliederversammlung 2015 aus Anlass des Jubiläums in Freiberg

abgehalten hat. 2006 wurde auf Initiative der TU Bergakademie Freiberg die University of Resources (IUR) mit Partnern in Polen, der Ukraine, Russland und Österreich in ihrer Eigenschaft als Länder mit starkem Montanbezug für Europa gegründet. Die IUR-Partner haben sich zum Ziel gesetzt, in den Bereichen Aus- und Weiterbildung, Forschung, Konferenzen und Publikationen eng zusammenzuwirken [12].

Schließlich verfolgt auch das 2012 ins Leben gerufene Weltforum der Ressourcen-Universitäten für Nachhaltigkeit (WFURS) das Ziel des Erfahrungsaustauschs zu den Anforderungen an eine moderne Ausbildung, zur Mobilität in der Lehre und zur Vernetzung von Nachhaltigkeits-Initiativen, um angesichts des steigenden Rohstoffbedarfs Versorgungslösungen zu finden, die mit den gesamtgesellschaftlichen Interessen, insbesondere mit sozialen und ökologischen Aspekten, vereinbar sein sollten [13].

Literatur

- 1 Habashi, F.: (2003) *Schools of Mines*, Laval University Quebec (ISBN 2-980-3247-9-5)
- 2 Griebel E (2014) *Entwicklung einer Methodik zur Bewertung von Handlungsalternativen im internationalen Kleinbergbau*, Dissertation, TU Bergakademie Freiberg
- 3 Drebenstedt C. (Hrsg.) *Tagebau in Lehre und Forschung (1953-2003)*, Freiberg, 2003, 120 Seiten (ISBN 3-86012-202-9)
- 4 Drebenstedt C., Kreßner M.: *50 Jahre Professur Tagebau an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg – Entwicklung, Stand und Perspektiven (in Deutsch und Englisch)*. *World of Mining*, 56/2004 No. 1, S. 15 – 31 (ISSN 1613-2408)
- 5 Drebenstedt C. et al.: *Mit der Erde leben*, In: ACAMONTA, Freiberg, 2014, S. 62-77
- 6 Drebenstedt C.: *Internationalisierung der TU Bergakademie Freiberg*, In: ACAMONTA, Freiberg, 2014, S. 32-37
- 7 <http://www.emmep.org/education/courses>
- 8 Drebenstedt C.: *Deutsch-Russische Montanbeziehungen im Wandel der Zeit (In Deutsch und Russisch)*, In: *Rohstoffbasis Russlands*, Freiburger Forschungsheft C 531, TU Bergakademie Freiberg, 2009, S. 86-101 (ISBN 978-3-86012-375-1)
- 9 Poluchin O.N., Komashenko W.I., Drebenstedt C.: *Potenzial der Zusammenarbeit zwischen russischen und deutschen Universitäten in bergbau-geologischen Spezialisierungen*, *Gornyi Zhurnal (Mining Journal)*, Verlag „Ruda i Metalyi“ (Ore & Metals), Moskau, No. 8, 2014 (ISSN 0017-2278)
- 10 Drebenstedt C., Griebel E.: *Bergbau und Bergbauausbildung in Afghanistan*, bergbau, Makossa Druck und Medien GmbH, Gelsenkirchen, No. 10, 2014, S. 440-448 (ISSN 0342-5681)
- 11 Drebenstedt C.: *Internationalisierung an der TU Bergakademie Freiberg*, bergbau, RDB Service GmbH, Essen, 1/ 2015, S. 4-15 (ISSN 0342-5681)
- 12 <http://www.iur-online.org/>
- 13 <http://www.worldforum-sustainability.org/>

Mittel- und langfristige Energie- und Rohstoff-Herausforderungen – die nächsten 50 Jahre

Jörg Matschullat

Die Marke von 7,3 Milliarden Menschen als Weltbevölkerung wurde gerade während des jüngsten Symposiums „Freiberger Innovationen“ im März 2015 überschritten [1]. Dieselbe – halboffizielle – Quelle nennt 9,55 Milliarden Menschen für das Jahr 2050 und 10,15 Milliarden für 2065, in also 50 Jahren. Dies entspricht in etwa dem, was man anderen Quellen entnimmt, wie den Veröffentlichungen des US Census Büros [2] und auch den Datenangaben der Vereinten Nationen, wobei letztere von 8,9 Milliarden Menschen im Jahr 2050 ausgehen [3]. Interessant und wesentlich sind hier die Minimal- und die Maximalschätzungen; die 8,9 Milliarden gelten als der wahrscheinlichste Mittelwert. Der Minimalwert liegt bei 7,4 Milliarden Menschen; der Maximalwert bei 10,6 Milliarden bis 2050. Allein die Differenz von 3,2 Milliarden ist größer als die gesamte Weltbevölkerung am Ende der 1950er Jahre [4]. Angesichts von 7,3 Milliarden Menschen heute müssen 7,4 Milliarden in 35 Jahren als eher unwahrscheinlich gelten. Genauso unwahrscheinlich mutet allerdings die für 2050 angenommene Obergrenze von 10,6 Milliarden an, weil fast alle Länder einen spürbaren Rückgang der Geburtenraten registrieren.

Es ist dennoch nicht zuletzt diese Differenz zwischen den Schätzwerten, die uns zu denken geben muss. Denn daran wird schlagartig deutlich, welche Herausforderungen die Menschheit jenseits des sich bis auf Weiteres noch fortsetzenden Populationswachstums zu bewältigen hat. Der reale ökologische Fußabdruck – ein vereinfachtes, vergleichendes Maß für den Flächenbedarf eines Menschen – bewegt sich zwischen 0,04 (Puerto Rico) und 10,68 Hektar pro Person (Vereinigte Arabische Emirate) [5] – eine doch gewaltige Spanne von mehr als zwei Größenordnungen! Meist werden global etwa 1,3 Hektar pro Person als das Maß angegeben, bei dem eine dauerhaft nachhaltige Entwicklung möglich erscheint. Der aktuelle globale Pro-Kopf-Abdruck dagegen liegt bei durchschnittlich etwa 2,7 Hektar [6]. Die gesamte Agrarfläche unseres Planeten beträgt mit 13,8 Millionen Quadratkilometern

etwa 10% der kontinentalen Oberfläche. Etwa 20% der kontinentalen Erdoberfläche von 144,5 Millionen Quadratkilometern können agrarisch genutzt werden (Pflanzen- und Tierproduktion); dies sind etwa 29 Millionen km² oder 2,9 Milliarden Hektar [7]. Auf die aktuelle Weltbevölkerung umgelegt entspricht dies knapp 0,4 Hektar pro Kopf. In Deutschland liegt der ökologische Fußabdruck bei ca. 5,1 Hektar pro Kopf, also mehr als zwölfmal so hoch. Auch ohne verlässliche Prognosen zur genauen Größe der Weltbevölkerung im Jahr 2050 (oder dann 2065) wird schnell deutlich, welche Brisanz in unserer Wachstumszahl liegt.

Analog zu der hier vor Augen geführten Inanspruchnahme von Fläche verhält sich der statistische Durchschnittsmensch der Welt oder einer bestimmten Region hinsichtlich seines Material- und Energiebedarfs. Auch die diesbezüglichen Berechnungen reflektieren einen Aspekt des ökologischen Fußabdrucks. Selbst wenn sich trefflich über Details dieser Berechnungen streiten lässt, so besteht doch kaum ernsthafter Zweifel an der grundsätzlichen Richtigkeit dieser Betrachtungsweise, die uns schnell verdeutlicht, dass die meisten Menschen bereits heute im wahrsten Sinne des Wortes über ihre – unser aller – Verhältnisse leben, und das ganz besonders wir in den hoch entwickelten Industrieländern. Um wie viel besorgniserregender würde eine solche Bilanz bei einer absehbaren Weltbevölkerung von 8,9 Milliarden Menschen ausfallen? Woher kommen dann die Rohstoffe, woher die nötigen Energiemengen? Gegenüber heute entspränge diesem Bevölkerungszuwachs ein Zusatzbedarf von mehr als 20%, also ein durchschnittlicher (zusätzlicher) Fußabdruck von knapp 0,54 Hektar pro Kopf. Woher soll diese Fläche kommen, woher die Energiemengen und woher die Rohstoffe, die zur Konversion von Energiearten unerlässlich sind, egal ob wir an Wind-, Solar- oder geothermische Energie denken oder an die Weiterentwicklung konventioneller Kraftwerke zur Nutzung fossiler Energieträger?

Genau darum ging es bei dem fünf-

ten Symposium „Freiberger Innovationen“ 2015, zum 250. Jubiläumsjahr unserer Alma mater fribergensis. Die Latte war hoch gehängt worden, ging es doch nicht mehr allein um Bestandsaufnahmen, sondern um die Diskussion von Strategien. Es galt, mit versammelter Ressourcenkompetenz Lösungsvorschläge für diese gewaltigen Herausforderungen zu entwickeln und zu diskutieren. Es versteht sich von selbst, dass es dabei nicht allein um technische Machbarkeiten geht, sondern zugleich um die soziologischen, politischen und psychologischen Randbedingungen (Matschullat 2015; Simonis 2015) [8].

Vollkommen unabhängig von der Diskussion, ob es neben Peak Oil ggf. auch Maxima der Metallförderung geben kann oder geben wird – eine Diskussion, die von Wellmer u. Dahlheimer (2012) geführt und für die absehbare Zukunft beantwortet wurde [9], müssen wir uns an den Gedanken gewöhnen, eine wachsende Weltbevölkerung auch in Zukunft mit primären Rohstoffen einschließlich Energieträgern versorgen zu müssen. Diese Aufgabe steht mitnichten im Widerspruch zu dem Wunsch, Technologien zunehmend zu dematerialisieren, kritische Komponenten zu substituieren [10] und eine zuverlässige Versorgung mit regenerativen Energieträgern bzw. -arten zu gewährleisten.

Dass allein durch die wachsende Weltbevölkerung eine Zunahme des Ressourcenumsatzes unausweichlich ist, leuchtet schnell ein, wenn man zugleich zugestehen möchte, dass diese wachsende Bevölkerung materiell nicht schlechter versorgt sein soll als die jetzige Generation. Derzeit technisch mögliche Recyclingraten genügen nicht annähernd, um auch nur den aktuellen Ressourcenbedarf zu decken (Reuter 2015) [11]. Sowohl die weitere Entwicklung regenerativer Energieumsetzungen als auch – ganz grundsätzlich – die weitere Entfaltung umweltfreundlicherer Technologien und dringend notwendiger Innovationen hin zu einer kohlenstoffärmeren (Industrie-) Gesellschaft sind von der Verfügbarkeit einer Vielzahl von Hightech-Elementen und -Ressourcen abhängig [12]. Den meisten Menschen ist leider nicht klar, dass unsere Gesellschaft sich innerhalb der anhaltenden Phase der zunehmenden Technisierung und Industrialisierung der Welt von der Nutzung ehemals nur einer Handvoll von chemischen Elementen hin zu einer bislang schon weit höheren aber immer noch steigenden Zahl dieser

Elemente entwickelt. Von den weniger als 90 verfügbaren Elementen des Periodensystems der chemischen Elemente werden heute gut 60 genutzt; ein Ende dieser Entwicklung ist nicht abzusehen.

Wissenschaftlich-technische Innovationen lassen sich zwar provozieren, jedoch nicht konkret planen. Deshalb greifen wir meist auf Erfahrungen der jüngeren Zeit zurück, um präzisere Vorstellungen über zukünftige Entwicklungen zu generieren und zu skizzieren. Zugleich muss man anerkennen, dass (nicht nur) die Bergbaubranche eher konservativ ist und technischen Innovationen gegenüber erst einmal sehr skeptisch reagiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zumeist sehr erhebliche Investitionsmittel erforderlich sind, um ein Bergwerk oder eine Metallhütte auf einen moderneren technischen Stand zu bringen oder gar neu aufzubauen. Neben der Tatsache der grundsätzlichen Verfügbarkeit mineralischer und energetischer Ressourcen [13] lautet die entscheidende Frage, ob und wie wir diese nutzen können. Vor weniger als 70 Jahren wurden z. B. nur jene Gold-Lagerstätten abgebaut, die bis zu 30 Gramm Gold pro Tonne Gestein enthielten, während der aktuelle Stand der Technik die wirtschaftliche Gewinnung von bis zu 0,1 Gramm Gold pro Tonne Material erlaubt. Die relativ starken Marktschwankungen für die meisten „Commodities“ erhöhen die Zurückhaltung der Branche, die lieber mit Altbewährtem arbeitet, als mögliche Fehlinvestitionen zu riskieren, die andererseits jedoch erhebliche Einsparungen und deutlich höhere Effizienz versprechen [14]. Lieberwirth (2015) stellte vor den Symposiumsteilnehmern in visionär anmutender Weise dar, wie ein Bergbau der Zukunft sehr wahrscheinlich aussehen wird: mit Robotik und (bio-)hydrometallurgischen Prozessen unter Tage in deutlich größerer Tiefe als heute; Menschen werden die Gewinnungs- und Voranreicherungsprozesse allenfalls von der Tagesoberfläche aus kontrollieren. Mit den diskutierten Szenarien wird es auch zunehmend wahrscheinlich, noch deutlich geringere Wertstoffkonzentrationen im Rohhaufwerk in Kauf zu nehmen als dies heute möglich ist – ohne dabei die Schutzgüter Wasser, Boden, Luft und Biota zu belasten. Eine größere Aufgeschlossenheit sowie unternehmerischer Mut zu entsprechenden Investitionen würden dazu beitragen können, zum einen die derzeitige Abhängigkeit des Weltmarkts für Seltenerd-Elemente von praktisch nur einem Anbieterland und zum anderen die

Fixierung auf ganz bestimmte Lagerstättentypen zu überwinden [15]. Dass es nicht allein die Bergbaubranche ist, der man eine zu große Zurückhaltung gegenüber technischen Neuerungen vorwerfen könnte, wird schnell deutlich, wenn man an die chemische Industrie denkt, einen der starken industriellen Leistungsträger in Deutschland. Selbst diese Branche ist in mancher Hinsicht verblüffend konservativ, wenn es darum geht, bereits heute mögliche Verfahrensalternativen umzusetzen. Am Beispiel der Energiespeicher- und (Wieder-)Gewinnungstechnik via Methanol konnte dies eindrucksvoll demonstriert werden [16].

Hinter den besprochenen Herausforderungen stehen sowohl sozioökonomische als auch politische Randbedingungen. Deshalb bleiben sämtliche Überlegungen zur Realisation technisch-wirtschaftlich nachhaltiger Lösungen weitgehend folgenlos, wenn diese Randbedingungen nicht ernsthaft berücksichtigt werden. Die Diskussion zu diesen Punkten wurde besonders intensiv geführt, da es zu den eher rein technischen Fragen kaum Dissens unter den Teilnehmern gab. Nach langem Zögern haben sowohl die Europäische Union als auch die Bundesrepublik Deutschland und sogar einzelne Bundesländer Rohstoffstrategien entwickelt und veröffentlicht [17]. Damit wurde Initiative gezeigt und wohl auch der Tatsache Rechnung getragen, dass ein wirtschaftlich gesundes Europa ohne einschlägige Strategien kaum vorstellbar ist. Sinnvolle Aktivitäten wie die Errichtung europäischer Kompetenzcluster, mutige Kurskorrekturen wie die deutsche Energiewende – all dies steht und fällt mit der erfolgreichen Umsetzung der Strategien und deren steter Fortschreibung und Anpassung [18].

Anfang 2016 können Sie die hier geführte Diskussion in sorgfältig editierter Form nachlesen unter: Kausch P, Matschullat J, Bertau M, Mischo H (Hrsg, 2016) Rohstoffwirtschaft und gesellschaftliche Entwicklung. Springer-Spektrum Verlag, Heidelberg.

Literatur

- 1 <http://www.worldometers.info/world-population/>
- 2 <http://www.census.gov/population/international/data/idb/worldpopgraph.php>
- 3 <http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf>
- 4 <http://pdwb.de/nd02.htm>
- 5 http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_ecological_footprint
- 6 http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/ecological_footprint/
- 7 [http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2008/wbgu_jg2008_ex09.pdf)

dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2008/wbgu_jg2008_ex09.pdf

- 8 Matschullat J (2015) Werden wir die Herausforderungen der kommenden 50 Jahre meistern und wenn ja, wie?; Simonis U (2015) Ressourcen-Entkopplung und Impakt-Entkopplung – Zentrale Elemente für eine globale ökologische Kehrtwende. Vorträge auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 26.03.2015
- 9 Wellmer FW, Dalheimer M (2012) The feedback control cycle as regulator of past and future mineral supply. *Mineralium Deposita* 47, 7: 713-729
- 10 Eggert R (2015) Kritische Materialien. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 25.03.2015
- 11 Reuter M (2015) Grenzen des Recyclings: Effekt auf die Kreislaufwirtschaft. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 25.03.2015
- 12 Arndt N (2015) Metalle für eine kohlenstoffarme Gesellschaft. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 25.03.2015
- 13 Buchholz P (2015) Verfügbarkeit mineralischer und energetischer Ressourcen. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 26.03.2015
- 14 Lieberwirth H (2015) Ressourcentechnologien 2065. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 26.03.2015. Siehe auch Matschullat J (2013) Strategische Rohstoffe – Risikoversorge. Ein Rück- und Ausblick mit einer Prise Fantasie ... *Acamonta* 20: 93-99
- 15 Watanabe Y (2015) Eine Lösung für die Ressourcenverfügbarkeit von Seltenen Erden; Kingsnorth D (2015) Die globale ökologische Wirtschaft – Gelegenheiten und Bedrohungen für die Seltenerd-Industrie; Gutfleisch O (2015) Seltene Erden überdenken: Nachfrage, Nachhaltigkeit und die Realität der Alternativen. Vorträge auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 25. und 26.03.2015
- 16 Bertau M (2015) Methanoltechnologien. Vortrag auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 26.03.2015
- 17 EC (2011) Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:DE:PDF>; BMWI (2010) Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen <http://www.bmw.de/Dateien/BMWi/PDF/rohstoffstrategie-der-bundesregierung>; SMWI (2012) Rohstoffstrategie für Sachsen. Rohstoffwirtschaft – eine Chance für den Freistaat Sachsen http://www.smwa.sachsen.de/download/SMWA_BR_Rohstoffstrategie_ES_3VL.pdf
- 18 Gehrckens U (2015) Energiewende – Die Industrieperspektive; Gutzmer J (2015) EIT Raw Materials – Wissens- und Innovationsgemeinschaften für den Rohstoffsektor; Kellermann G-A (2015) Ressourcennachfrage und Strategien; Mennicken L (2015) Forschung für Nachhaltigkeit; Posch PN (2015) Modernes Ressourcen- und Risikomanagement; Welsch H-J (2015) Aktuelle Herausforderungen für die Deutsche Industrie bei der Rohstoffversorgung. Vorträge auf dem 5. Symposium Freiburger Innovationen. TU Bergakademie Freiberg am 25. und 26.03.2015

Aus der Uni heraus ins eigene Unternehmen – Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg

Jens Weber, Matthias Fuhrland

Gründergeist hat in Sachsen Tradition. Aber kaum ein Ort kann so wie Freiberg sogar seine Wurzeln darauf zurückführen. Mit lautem „Bergeschrey“ begann vor inzwischen fast 850 Jahren die Gründung von Berg- und Hüttenwerken, wo sich vorher Fuchs und Hase gute Nacht sagten. Gründerpersönlichkeiten hatten schon damals ähnliche Probleme wie die Gründer von heute – sei es die Risikoaversion von Geldverleihern oder der Umgang mit technischen Risiken. Ob sich in Sachen Gründergeist seither Änderungen vollzogen haben, ist schwer zu belegen. In der Gründungsforschung unterschieden werden heutzutage zwei hauptsächliche Treiber für den Weg in die Selbstständigkeit, die auch schon zur Zeit unserer Vorfahren eine Rolle gespielt haben dürften: die sog. Chancen-Gründung und die Not-beziehungsweise Risiko-Gründung.

Das Ausnutzen von Chancen ist beispielsweise in Skandinavien noch heute das maßgebliche Motiv für Gründungen. Das lässt sich an der Proportionalität von Gründungszahlen und wirtschaftlicher Entwicklung festmachen. D. h. dort werden gehäuft Unternehmen gegründet, wenn es der Volkswirtschaft gut geht und Gründer die Chance sehen, von einer positiven wirtschaftlichen Entwicklung durch den Markteintritt mit einem eigenen Unternehmens entsprechend profitieren zu können.

In Deutschland finden wir nach wie vor einen hohen Anteil sog. Notgründer – will heißen: Neue Unternehmen werden oft dann gegründet, wenn sich in der Industrie oder in der Forschung mangels Konjunktur oder Finanzierung die eigenen Jobperspektiven verschlechtern. Zwar dominiert nach den aktuellen Zahlen des Global Entrepreneurship Monitors (GEM), Länderbericht Deutschland 2014, der Anteil der Opportunity-Gründer auch hierzulande mit etwa 76 Prozent; setzt man allerdings die Zahlen beider Gründungsmotive zueinander ins Verhältnis, so findet sich Deutschland mit einem Quotienten von 3,27 im letzten Drittel der untersuchten innovationsbasierten Volkswirtschaften wieder, wohingegen Quotienten von 24,50 für Norwegen, 16,78 für Dänemark oder 10,64 für Schweden im Vergleich dazu die Chancenorientierung der skandinavischen

Gründerszene sehr deutlich illustrieren.

Auch bei der Häufigkeit von Unternehmensgründungen befindet sich Deutschland unter den innovationsbasierten Volkswirtschaften in der Schlussgruppe. Mit einer TEA-Quote (Anteil der Gründer an der Bevölkerungsgruppe der 18- bis 64-jährigen) von 5,27 Prozent im Jahr 2014 belegt das Land Platz 27 von 29 in diesem Cluster untersuchten Staaten. Der Anteil technologieintensiver Gründungen signalisiert mit knapp sieben Prozent für die Verhältnisse einer rohstoffarmen und exportstarken Volkswirtschaft, deren komparative Stärke im internationalen Wettbewerb insbesondere bei wissens- und technologieintensiven Produkten und Dienstleistungen verortet ist, ebenfalls noch deutlich Spielraum nach oben.

Lässt man diese Bestandsaufnahme auf sich wirken, könnte man leicht schlussfolgern, dass es um die Rahmenbedingungen für neue Unternehmensgründungen hierzulande nicht zum Besten bestellt ist. Diese Schlussfolgerung wird der Realität aber nur unzureichend gerecht. Faktoren wie relativ gut ausgebildete physische Infrastruktur, wirksamer Schutz geistigen Eigentums, öffentliche Förderprogramme, Wertschätzung für Innovationen, neue Produkte und Dienstleistungen aus Unternehmer- wie aus Konsumentensicht sowie die Verfügbarkeit von Beratungsleistungen und Zulieferern für neue Unternehmen werden von Experten auch im internationalen Vergleich ausdrücklich gelobt und als Standortvorteile gekennzeichnet. Als problematisch hingegen wird eine traditionell schwach ausgeprägte Kultur der unternehmerischen Selbstständigkeit angesehen, die sich natürlich ungünstig auf die Gründungsneigung und -intention der Bevölkerung auswirkt. Deutlicher Nachholbedarf besteht auf dem Feld der schulischen und außerschulischen Gründungsausbildung, die ihrerseits eigentlich die Chance böte, zumindest auf mittlere Sicht die Einstellung junger Menschen zum Unternehmertum zu verbessern. Weitere Schwächen des Gründungsstandorts Deutschland im internationalen Vergleich werden in der mangelnden Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte für neue und wachsende Unternehmen, in der

unzureichenden Effizienz des Wissens- und Technologietransfers sowie in der oft kaum nachvollziehbaren Ausgestaltung von Regulierungen und Steuerbestimmungen gesehen.

Diese Befunde sind allerdings keineswegs neu und erstmalig in der Bestandsaufnahme des GEM-Länderberichts Deutschland 2014 nachlesbar, sondern ziehen sich mit leichten Variationen unverändert durch die Standortanalysen der vergangenen Jahre. Deutlich wird daran, dass ein langer Atem notwendig ist, um die für Deutschland attestierten „Problemfelder“ nachhaltig zu bereinigen.

Der Freistaat Sachsen hat daher bereits vor längerer Zeit flächendeckend an den Hochschulen und Forschungseinrichtungen die Voraussetzungen dafür geschaffen, Unterstützungsleistungen für gründungsinteressierte Mitarbeiter und Studenten anbieten zu können und damit den Technologietransfer aus den sächsischen Hochschulen heraus auch unter dem (Aus-)Gründungsaspekt zu verbessern. An der TU Bergakademie Freiberg sind die Mitarbeiter des Gründernetzwerks SAXEED dafür der hochschulinterne Ansprechpartner. Im Jahr 2002 zunächst als Kooperationsprojekt der TU Chemnitz und der Hochschulen in Mittweida und Zwickau ins Leben gerufen, ist die Bergakademie seit dem Beginn der Förderaktivitäten des Landes im Jahr 2006 vierter Partner im Netzwerk, wodurch für den gesamten Bereich Südwestsachsen abgestimmte Maßnahmen und Angebote in der Gründungsförderung und -unterstützung aufgebaut werden konnten. Finanziert wird das Gründernetzwerk durch EU-Mittel (ESF), Mittel des Freistaates Sachsen sowie auch durch Eigenmittel der beteiligten Hochschulen. Eingebettet sind die Aktivitäten in ein breites Netzwerk von Wirtschaftsförderern, Kammern, Unternehmen, Projektträgern und in eine Finanzierungslandschaft, zu der auch Risikokapitalgeber, wie Business Angels oder Venture-Capital-Gesellschaften, gehören. Aufgabenbereiche der Mitarbeiter, die als Stabstellen-Crew dem Prorektorat Forschung zugeordnet sind, sind dabei insbesondere die Sensibilisierung und die Motivation für das Thema

Selbstständigkeit als mögliche berufliche Perspektive, gezieltes Technologiescouting bei Instituten und Professuren, die Qualifizierung für gründungsrelevante Themenbereiche sowie die Betreuung und Beratung von konkreten Gründungsvorhaben.

Sensibilisierung

Der Aufgabenbereich Sensibilisierung und Motivation dient dem Finden und Informieren latent an einer Unternehmensgründung Interessierter und ihrer Heranführung an das Thema Gründung.

Gründung

Hierbei wird versucht, im Rahmen verschiedener Veranstaltungsformate das Interesse an der Thematik zu vertiefen und Gelegenheiten anzubieten, sich auch einmal „spielerisch“ mit einer Gründungsidee zu beschäftigen. Konkret richtet SAXEED daher beispielsweise in Freiberg einen Mini-Ideenwettbewerb aus, der sich hauptsächlich an die Zielgruppe Studenten wendet. In Form eines kurzen Konzepts sind bei diesem Wettbewerb Geschäftsideen einzureichen, bei denen sich die Wettbewerbsteilnehmer erstmalig mit Kriterien wie Alleinstellungsmerkmal der Idee, Marktvolumen oder Markteintrittsplanung auseinandersetzen. Alle eingereichten Ideen werden durch die Mitarbeiter der Stabstelle begutachtet, Feedbackgespräche zu deren Weiterentwicklung angeboten und die Preisträger bei einem kleinen Grillfest feierlich prämiert.

Dieser studentische Wettbewerb ist die Vorstufe zum „großen“ Geschäftskonzept-Wettbewerb „Schicke Ideen“, den das Gründernetzwerk über alle vier Hochschulstandorte hinweg ausrichtet und in dem eine prominent besetzte Jury aus Wissenschaft, Wirtschaft und Finanzierungspartnern den Teilnehmern eine Bewertung des Gründungsvorhabens aus drei verschiedenen Blickwinkeln ermöglicht. Im Jahr 2015 fand das Format bereits zum zehnten Mal statt.

Über diese Wettbewerbsaktivitäten hinaus sind die Mitarbeiter des Gründernetzwerks mit Beratungsständen zum Semesterauftakt, auf der Firmenkontaktmesse ORTE oder auf regionalen Messen präsent. Gemeinsam mit dem Career Center und der Graduierten- und Forschungsakademie wurde unter dem Titel „Wege aus der Hochschule mit Hilfe der Hochschule“ auch ein eigenständiges Kolloquium für Studierende im Rahmen des Berg- und Hüttenmännischen Tages



Bild 1: Häkelworkshop mit Thomas Jaenisch (stehend, l.) und Felix Rohland (stehend, r.) von myBoshi



Bild 2: Kanzler Dr. Andreas Handschuh, Dr. Constance Bornkamp (Alumni-Netzwerk) und Jens Weber (SAXEED) (v.l.n.r.) eröffnen die Bilderausstellung zur Kampagne „Eine Mütze geht um die Welt“



Abb. 3: Die Ausstellung vermittelt internationales Flair mit ihren Fotos aus aller Welt

ins Leben gerufen und der „SAXEED-Report“ informiert als zweimal jährlich erscheinendes Magazin über Neuigkeiten zum Gründungsgeschehen an unseren vier Standorten.

Da eine attraktive Gründungskultur sich auch stets über entsprechende Vorbilder transportiert, haben wir uns sehr gefreut, im Jubiläumsjahr der Bergakademie ebenfalls einen Beitrag leisten zu können. Bei einem Planungstreffen mit Mitarbeitern des Alumni-Netzwerks sowie der Abteilung Marketing und Studienberatung wurden Vorschläge gesucht und gefunden, die geeignet sind, generationenübergreifend Studenten, Mitarbeiter und Alumni emotional miteinander zu verbinden. Dabei entstand die Idee zur Kampagne „Eine Mütze geht um die Welt – 250 Jahre. 250 Boshis. 250 Bilder“ – unter Einbeziehung der Gründer von myBoshi, die noch als Freiburger Studenten im Jahr 2009 den Start in die Selbstständigkeit vollzogen. Gemeinsam mit den beiden Gründern wurde für die TU Bergakademie ein eigenständiges Boshi-Design entwickelt: die „Bergakademütze“ in den

Hochschulfarben blau und weiß. Für nicht ganz handarbeitsfeste Interessenten veranstalteten die beiden MyBoshi-Gründer im November des vergangenen Jahres zwei ausgebuchte Häkelworkshops an der Universität, so dass letztendlich jedes auf Reisen geschickte Exemplar ein Unikat „made in Freiberg“ war, *Abb. 1*. Der vorläufige Höhepunkt der Kampagne war die Eröffnung der Fotoausstellung im Rahmen der „Jubiläumsnacht der Wissenschaft und Wirtschaft“ am 20. Juni 2015 im Verwaltungshauptgebäude der Universität, *Abb. 2 und 3*. Das Projekt „Eine Mütze geht um die Welt“ begeisterte bisher gleichermaßen Studierende, Mitarbeiter und Alumni der Bergakademie. Am Ende war es gelungen, 250 Mützen zu verschicken und auch 250 Bilder von sieben Kontinenten, aus 54 Ländern und 122 Orten zu erhalten. Bis zur Ausstellungseröffnung wurden 34.375 Meter Garn zu 2.107.500 Maschen „verhäkelt“; 180 aktive und ehemalige Hochschulangehörige beteiligten sich an der Produktion der „Bergakademütze“, darunter auch zehn Professorinnen und Professoren.

Technologiescouting

Technologiescouting dient bei SAXEED als wichtiges Akquiseinstrument zur Identifizierung potenzialträchtiger Gründungs- und Technologietransferprojekte. Da die Projektziele mancher Forschungsvorhaben – etwa aus den Programmlinien der DFG oder des BMBF – oft auf andere Zielgrößen als auf eine sofortige wirtschaftliche Verwertung ausgelegt sind, wird eine mit dem F&E-Projekt möglichst parallel schon anzubahnende kommerzielle Ergebnisverwertung über eine direkte Ansprache der Wissenschaftler durch einen Scout und die gemeinsame Erarbeitung von Verwertungsplänen unterstützt.

Diese Unterstützung muss allerdings nicht unbedingt nur der Vorbereitung einer Ausgründung dienen, sondern das Scouting befördert regelmäßig auch die sonstigen Technologietransfer-Aktivitäten der Universität – in Kooperation mit Unternehmen, vorzugsweise aus der Region. Beispielhaft erwähnt sei das SepSelsa-Projekt in Zusammenarbeit mit der Firma FNE Entsorgungsdienste Freiberg, das für die Entwicklung und den Transfer eines Verfahrens zum Recycling von Seltenerdmetallen aus Leuchtstoffabfällen im November 2014 sogar den Technologietransferpreis des SMWK erhielt.

Forschungsergebnisse, für die Verwertungspartner außerhalb der Hochschule gesucht werden, fassen wir in Transfersteckbriefen zusammen, die über die Homepage des Gründernetzwerkes abrufbar sind und im Rahmen verschiedener Netzwerksformate präsentiert werden. Darüber hinaus tragen Veranstaltungsformate, wie das Freiburger INTERDISZIPLINARIUM, zur Vernetzung der Freiburger Forscher über Fachgrenzen hinweg und mit Unternehmen der Region bei.

Qualifikation

Der Aufgabenbereich Qualifizierung/Lehre soll Hochschulmitgliedern und Absolventen das für eine Unternehmensgründung notwendige Know-how vermitteln und vor allem helfen, Hemmschwellen gegenüber einer Unternehmensgründung abzubauen. In Freiberg werden unter dem Dach des Studium Generale durch SAXEED regelmäßig drei Vorlesungen angeboten – zu den Schwerpunkten Gründungsmanagement, Gründungsfinanzierung und Technischer Vertrieb. Tagesworkshops und Seminare zu unternehmerisch relevanten Themen wie Zeit- und Stressmanagement, Projektmanagement, Presse- und PR-Arbeit oder Kapitalakquise komplettieren das

Veranstaltungsprogramm, das pro Semester durchschnittlich von etwa 100 bis 120 Interessenten wahrgenommen wird.

Begleitung der Gründungsvorhaben

Ein Schwerpunkt der Arbeit des Gründernetzwerkes liegt natürlich bei der Begleitung, Betreuung und beim Coaching konkreter Gründungsprojekte. Hier gibt das SAXEED-Team Unterstützung bei der Geschäftsmodellentwicklung, hilft bei der Akquise von geeigneten Fördermitteln oder Finanzierungen und unterstützt bei der Suche nach notwendigen (Entwicklungs-)Partnern. Dabei ist aber, bedingt durch die Besonderheiten technologieorientierter Gründungsprojekte, oft ein langer Atem notwendig, um aus erfolgversprechenden, gründungsrelevanten Technologieentwicklungen marktreife Produkte oder Dienstleistungen entstehen zu lassen: In nicht wenigen Fällen haben wir bis zum eigentlichen Gründungsakt mit entwicklungsbedingten Vorlaufzeiten von bis zu sechs Jahren zu rechnen. Von November 2011 bis Dezember 2014 wurden an der Bergakademie etwa 120 Gründungsvorhaben unterschiedlicher „Reifestadien“ betreut. Aus diesem Pool heraus wurden im genannten Zeitraum 24 Unternehmensgründungen realisiert. Zwei beispielhafte Gründungen 2014 sollen kurz vorgestellt werden:

ancorro GmbH: Der Firmenname *ancorro* (griech./lat. „gegen Korrosion“) steht für langlebige Feuerfestmaterialien sowie für Energieeffizienz und Kompetenz in Hochtemperaturprozessen. Bei intensiven, seit 2008 laufenden Forschungsarbeiten ist ein leistungsfähiges und vielseitiges Veredelungsverfahren für Feuerfestmaterialien entstanden, das unabhängig vom Hersteller des Feuerfestmaterials angewendet werden kann und für alle Hochtemperaturprozesse geeignet und in diese integrierbar ist. Mithilfe des Verfahrens verringert sich der durch die heiße Schmelze verursachte Abtrag am porösen Feuerfeststein. Das Ergebnis sind länger haltbare Feuerfeststeine und -bauteile für den industriellen Einsatz. Die *ancorro GmbH* ist eine Ausgründung des Instituts für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg.

GeoWiD GmbH: Die *GeoWiD GmbH* ist ein Unternehmen, das auf die Bearbeitung geowissenschaftlicher Fragestellungen sowohl über als auch unter Wasser spezialisiert ist. Das Team besteht aus Geologen und Geoökologen mit zertifizierter Ausbildung zum wissenschaftlichen Taucher/

Scientific Diver. Außer einem umfangreichen Spektrum an Auftragsleistungen in verschiedenen Kompetenzbereichen der Geowissenschaften offeriert *GeoWiD* speziell die fachkundige Bearbeitung von Problemstellungen im Unterwasserbereich. Ergänzt wird das Angebotsprofil der Firma durch ein stetig wachsendes Sortiment an eigens entwickelten unterwassertauglichen Spezialgeräten.

Gründungsunterstützung an der Bergakademie: bundesweit spitze

Als wichtige Säule des Wissens- und Technologietransfers aus den Hochschulen heraus rücken die Aktivitäten zur Gründungsunterstützung zunehmend in den Fokus externer Rankings und Evaluationen. Besonders stolz sind wir daher auf die beachtliche Entwicklung, die die im SAXEED-Verbund aktiven südwestsächsischen Hochschulen allgemein und die TU Bergakademie Freiberg im Besonderen auf diesem Gebiet in den vergangenen Jahren nehmen konnten.

In der „Entrepreneurship-Szene“, umgangssprachlich als „Schmude-Ranking“ bekannt, untersuchte der Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung der Ludwig-Maximilians-Universität München bis zum Jahr 2011 im Auftrag des BMWi regelmäßig unter dem Titel „Vom Studenten zum Unternehmer: Welche Universität bietet die besten Chancen?“ das (Aus-)Gründungsklima an den deutschen Hochschulen. Im Jahr 2009 belegte die Bergakademie mit Platz 36 eine Position im unteren Mittelfeld, konnte dieses Ergebnis aber bereits bei der Evaluation im Jahr 2011 um neun Plätze verbessern. Unter dem Namen „Gründungsradar – Hochschulprofile in der Gründungsförderung“ übernahm im Folgejahr der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft die Evaluierung der Entrepreneurship-Aktivitäten an den Hochschulen des Landes. Die aktuelle Untersuchung, vorgestellt im November 2014, bescheinigt der Freiburger Universität nun den fünften Platz in der Kategorie „mittelgroße deutsche Hochschulen“. Damit ist die Bergakademie die bestplatzierte staatliche sächsische Hochschule im Gesamtranking, direkt gefolgt von der TU Chemnitz auf Platz sechs. Bei allen vier „Bausteinen“ des Rankings wurde den beiden SAXEED-Unis „Vorbildcharakter“ bescheinigt – ein schöner Ansporn, auch im Jubiläumsjahr das „Schätze heben“ aus dem Pool der Freiburger Innovationen heraus wieder bestmöglich zu unterstützen.



Forschungsprojekt „Mining-RoX“:
der Roboter „Innok Heros“ auf der Reichen Zeche (s. S. 109)

© Innok Robotics

Entscheidungen, Initiativen, Projekte

Auszug aus dem Rektoratsbericht der TU Bergakademie Freiberg 2014

Die TU Bergakademie Freiberg in Zahlen (31.12.2014)

Gesamtzahl der Studierenden: 5.304
Ausländische Studierende/Doktoranden: 900
Mitarbeiter: 2.421, davon 1.353 über Drittmittel
(einschl. wiss. und student. Hilfskräfte)

Eingeworbene Drittmittel (T€)	2011	2012	2013	2014
Gesamt (Mio€)	50,3	53,8	58,3	62,3
Pro Prof. (T€)	604	616	671	724
Graduierung				
Promotionen	82	72	109	113
Habilitationen	6	2	6	2

ERGEBNISSE IN DER FORSCHUNG

Leitgedanke und Profil der Forschung

Mit ihren Ergebnissen in der Forschung für das Jahr 2014 bestätigte die TU Bergakademie Freiberg ein weiteres Mal ihre Rolle als nationale Ressourcenuniversität und international gefragter Partner in Fragen der Sicherung von Rohstoffen und einer nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft. Die Freiburger Forschung hält fest am Prinzip der ganzheitlichen Herangehensweise: Sie betrachtet die gesamte Wertschöpfungskette, die die komplette Prozessabfolge beim Umgang mit natürlichen Rohstoffen umfasst – von

der Erkundung über die Gewinnung, Aufbereitung und Veredlung beziehungsweise Verarbeitung bis hin zum Recycling. Aus dieser Wertschöpfungskette leitet die TU Bergakademie auch ihre vier Profillinien in Lehre und Forschung ab: GEO-MATERIAL-ENERGIE-UMWELT.

Forschungsprojekte/Großprojekte DFG: Sonderforschungsbereiche und Schwerpunktprogramme

Auf dem Gebiet der Werkstoff- und Materialforschung wurden die Arbeiten in den beiden Sonderforschungsbereichen (SFB) erfolgreich weitergeführt.

Der SFB 799 „TRIP Matrix Composite“ arbeitete 2014 in der 2. Förderphase (2013 bis 2016, Budget 10 Mio. €). Geforscht wird an der Entwicklung einer neuen Klasse von Hochleistungsverbundwerkstoffen auf der Basis von TRIP-Stählen und Zirkoniumdioxid-Keramiken (TRIP: *transformation-induced plasticity*). Die entstehenden Werkstoffe sollen extrem beanspruchbar und dennoch gut verformbar sein und z. B. als *Crash Absorber* in der Automobilbranche eingesetzt werden. Schwerpunkt der Arbeiten bis 2016 sind

das gezielte Design der Verbundwerkstoffe und die Bestimmung anwendungsrelevanter Eigenschaften, so dass durch Innovationen in den Herstellungsverfahren weitere Potenziale (z. B. für den Leichtbau) erschlossen werden können. Im aus insgesamt 18 Teilprojekten bestehenden SFB 799 arbeiten Teilprojektleiter, Doktoranden, wissenschaftliche sowie technische Mitarbeiter aus vier Fakultäten unter Leitung des Instituts für Werkstofftechnik (Sprecher: Prof. Horst Biermann).

Ein weiteres Großprojekt in der Werkstoff- und Materialforschung ist der SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ in der 1. Förderperiode (2011 bis 2015) mit einer Förderung von ca. 2,3 Mio. € pro Jahr (26 Wissenschaftler der Hochschule in 21 Teilprojekten). Für keramische sowie auch für metallische Werkstoffe soll durch die spezifische Einstellung funktional angepasster und adaptiver mechanischer Eigenschaften ein Innovationsschub in Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen erreicht werden. Im Oktober 2014 verteidigte der erste Doktorand im SFB mit Auszeichnung

seine Dissertation („*Development of active and reactive carbon bonded filter materials for steel melt filtration*“). Teil der Arbeit war die erstmalige Entwicklung aktiver (Al₂O₃-C)- und reaktiver (MgO-C)-Filter sowie eine Kombination daraus für die Stahlschmelzefiltration. In Zusammenarbeit mit der Industrie wurden die reaktiven Filtersysteme erfolgreich getestet. Im Mai 2015 stimmte die Deutsche Forschungsgemeinschaft der Fortsetzung des Sonderforschungsbereichs zu. Bis 2019 werden 22 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus elf Instituten von vier Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam an der gezielten Multifiltration von nichtmetallischen Einschlüssen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und Kristallinität aus Metallschmelzen forschen.

In den kommenden vier Jahren werden insbesondere funktionale Schichten für eine Multifiltration von Einschlüssen untersucht. Die Reduzierung der Konzentration von Einschlüssen direkt nach ihrer Genese soll mit Hilfe von metastabilen Phasen in den funktionalen Schichten erreicht werden.

Die Arbeiten zum Schwerpunktprogramm SPP 1418: „Feuerfest – Initiative zur Reduzierung von Emissionen – FIRE“ durchlaufen nunmehr die 2. Förderphase. Für das SPP waren bis zum Jahr 2015 jährliche Fördermittel in Höhe von 1,8 Mio. € bewilligt worden. Unter Leitung des Instituts für Keramik, Glas und Baustofftechnik (Projektkoordinator Prof. Christos Aneziris), wird in sieben Teilprojekten mit dem Ziel geforscht, den Kohlenstoffanteil in Feuerfestmaterialien zu reduzieren und damit den Ausstoß des klimaschädlichen CO₂ zu verringern. Schwerpunkt der Arbeiten in der zweiten Phase ist die Überführung innovativer Werkstoffe in reale Bauteile für Ofenauskleidungen oder formgebende Werkzeuge (s. *Beitrag C. Aneziris et al., ab S. 11*).

Neu startete im April 2014 eine Forschungsgruppe am Institut für Werkstofftechnik, die aus dem Emmy-Noether-Programm der DFG gefördert wird (Laufzeit: 5 Jahre; Budget: 2 Mio. €). Ziel ist es, Bauteile zu entwickeln, die Risse selbstständig schließen und sich bei Verformung von selbst in den Ausgangszustand zurückbegeben (s. *Beitrag Th. Niendorf, ab S. 28*).

Förderung durch den Bund

Die Ressourcenforschung der TU Bergakademie Freiberg ist auch 2014 wieder maßgeblich mit Bundesmitteln,

insbesondere über Programme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), gefördert worden. Eingeworbene Gesamthöhe dieser Fördermittel: 23,2 Mio.

Fünf Jahre nach seiner Gründung hat das ZIK Virtuhcon eine internationale Spitzenposition erreicht. 2014 wurde die erste Virtuhcon-Promotion abgeschlossen. Seit Oktober 2014 arbeitet das ZIK Virtuhcon mit seinen acht beteiligten Instituten an der Weiterentwicklung des Strategiekonzepts. Der Freistaat Sachsen unterstützt das Vorhaben ebenfalls finanziell (s. *auch Beitrag von A. Richter/B. Meyer, ab S. 19*).

Fortgeführt wurden auch die Arbeiten im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „r³ – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien“ und das Verbundprojekt „SMSB – Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden“ (Fördersumme 0,9 Mio. €) in Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (vgl. *ACAMONTA 2013*). Weitere Programmteile von r³ sind die Projekte „PhytoGerm“ und „CryPhysConcept“. In ersterem wurde 2014 untersucht, wie das Metall Germanium, das sich in Pflanzen anreichert, aus ihnen gewonnen und weiterverarbeitet werden kann. Für das von den Instituten Biowissenschaften und Technische Chemie gemeinsam mit externen Partnern bearbeitete Projekt hatte das BMBF 1,2 Mio. € bewilligt. Das Projekt „CryPhysConcept“ (Laufzeit bis 2015) im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung – VIP“ (Gesamtfördersumme 3,6 Mio. €) wird maßgeblich vom Institut für Experimentelle Physik auf der Basis der Kristallphysik zur Entwicklung elektrochemischer Energiespeicher vorangetrieben (vgl. *auch Beitrag D. C. Meyer et al., ab S. 50*).

Erfolgreich abgeschlossen wurden:

- das **Verbundprojekt** zur Erkundung von Erdwärme-Reservoiren im Untergrund in der Region Schneeberg, Westerkgebirge: „**Seismik im Kristallin: Geothermische Reservoir-Charakterisierung durch moderne seismische Abbildungsverfahren unter besonderer Berücksichtigung steilstehender Störungssysteme und deren Klüftigkeiten**“ (Förderung: 0,34 Mio. € durch das BMU). Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sind Grundlage für die Planung eines Tiefengeothermie-Projekts in Schneeberg.
- das **Projekt „ancorro – Veredelung von Feuerfestmaterial“**, (Lehrstuhl für Glas-

und Emailtechnik, Förderung durch das BMBF: 0,46 Mio. €). Es wurde eine Technologie entwickelt, die für Unternehmen der Behälterglasindustrie ein enormes Einsparpotenzial bietet. Zudem wurde eine interdisziplinäre Firma ausgegründet, die Schlüsseltechnologien für die Glasindustrie offeriert.

Im Rahmen von BMBF-Projekten, die 2014 neu begonnen wurden, werden u.a. nachfolgende Themen bearbeitet:

- **Verbund ZIK/HITECOM – High Temperature Conversion Optical Measurement:** Im Februar 2014 begannen die Forschungsaktivitäten zu HITECOM „High Temperature Conversion Optical Measurement“. Das Verbundprojekt der Zentren für Innovationskompetenz (ZIK) „ultra optics“ an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und „ZIK Virtuhcon“ an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg bündelt die Jenaer Expertise in der Laserphysik mit dem Freiburger Know-how in der Modellierung von Hochtemperatur-Konversionsprozessen. Im Verbund mit der experimentellen Stoffdatenermittlung sollen neue Methoden zur experimentellen Untersuchung heterogener Hochtemperaturreaktionen entwickelt werden. Für zwei Projektphasen stehen bis 2017 insgesamt 2,5 Mio. € zur Verfügung.
- **ECOMETALS:** Das deutsch-französische Kooperationsprojekt mit insgesamt 17 Partnern aus beiden Ländern startete im Februar 2014. Das Institut Biowissenschaften der TU Bergakademie Freiberg ist beteiligt. Es geht um Entwicklungsarbeiten zu innovativen ökologisch effizienten Prozessen der Biohydrometallurgie zum Zweck der Rückgewinnung seltener Metalle. Die deutsche Seite (BMBF) fördert das Vorhaben (36 Monate 2014–2017) mit 1,4 Mio. €; 0,4 Mio. € davon für die Bergakademie.
- **FOREL:** BMBF-Leuchtturmprojekt Fertigungs- und Recyclingstrategien für die Elektromobilität: Ziel dieser national übergreifenden, offenen Plattform ist die Entwicklung von Hightech-Leichtbausystemlösungen in Multi-Material-Design für Elektro-Fahrzeuge der Zukunft. In diesem Rahmen beteiligt sich das Institut für Aufbereitungsmaschinen der TU Bergakademie Freiberg seit Dezember 2014 gemeinsam mit elf weiteren Partnern am Verbundvorhaben „ReLei“, in dem Recycling-Strategien zur stofflichen Wiederverwertung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen für zukünftige Elektrofahrzeuge erarbeitet werden sollen.



© TU Bergakademie Freiberg

Franz Berge (rechts) vom Institut für Metallformung auf der Nationalen Konferenz für Elektromobilität in Berlin vor dem innovativen Audi R8 e-tron in Leichtbauweise zusammen mit dem Leiter des Leichtbautechnikums Günter Deinzer von der Audi AG (links)

- **SMiLE:** Leichtbau-Karosserie für die Elektromobilität: SMiLE-Leichtbaukonzept für die Karosserie des Audi R8 e-tron. Wie sollen Leichtbau-Strukturen der Zukunft beschaffen sein, damit sie sich sehr gut herstellen lassen und etwa beim schlagartigen Aufprall immer noch stabil und sicher bleiben? Das ist das Thema der Doktorarbeit von Franz Berge an den Instituten für Werkstofftechnik und für Metallformung. Die Arbeit ist die Grundlage für die Untersuchungen zum Leuchtturmprojekt SMiLE (Systemintegrativer Multi-Material-Leichtbau für die Elektromobilität). Koordiniert und geleitet von Günter Deinzer (Audi AG), wird eine neuartige Leichtbau-Karosserie im Multi-Material-Design für die speziellen Anforderungen der Elektromobilität entwickelt. Die zunächst einzeln hergestellten Fahrzeugkomponenten für die innovative Mischbauweise sollen hybrid gefügt werden. Am Institut für Metallformung erforscht der Materialwissenschaftler Franz Berge unter der Leitung von Prof. Rudolf Kawalla das Warmumformvermögen von Magnesiumblechen mit exzellenten Hochtemperatureigenschaften (vgl. Beitrag von R. Kawalla et al., ab S. 38).

- **BakSolEx – Bakterielle Metallophore für die Solventextraktion:** Das im Rahmen des BMBF-Programms „r⁴ - wirtschaftsstrategische Rohstoffe“ beantragte Vorhaben für eine Nachwuchsforschergruppe BakSolEx wurde im November 2014 bewilligt. Die interdisziplinäre Gruppe (Gruppenleiter, drei Doktoranden aus den Instituten Biowissenschaften und Organische Chemie) forscht ab Januar 2015 an der Entwicklung

energie- und materialeffizienter, elementselektiver Gewinnungsverfahren sowie neuer elementspezifischer Verfahren zur Trennung, Aufkonzentrierung und Reinigung (Laufzeit: 5 Jahre; Budget: 1,4 Mio. €).

Förderung durch das Land Sachsen

Als Teil der landesweiten **Forschungsinitiative „Robots in saXony (RoX)“** startete im September 2014 das Projekt **„Mining-RoX“**, das sich mit dem Einsatz intelligenter Serviceroboter im Bergbau beschäftigt (siehe Abbildung S. 107). Die TU Bergakademie Freiberg ist über das Institut für Informatik daran beteiligt. Es geht darum, mobile Roboter zu befähigen, exakte 3D-Kartierungen von Bergwerken durchzuführen sowie Umgebungsbedingungen, wie Luft- und Wasserqualität, autonom zu erfassen. Die Kartierungen bieten ein zuverlässiges Monitoring, dessen Nutzung die Arbeitssicherheit verbessert und die Kosten reduziert. Als Entwicklungs- und Erprobungsumgebung für das „Mining-RoX“-Projekt dient das Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ der TU Bergakademie Freiberg. Ein mobiler Serviceroboter steht nun seit März 2015 bereit, künftig im Forschungs- und Lehrbergwerk erste Messungen und 3D-Kartierungen vorzunehmen. „Wenn die Bedingungen zu extrem und gefährlich werden, werden Roboter irgendwann alles übernehmen und anstelle der Menschen dort unten arbeiten“, sagt der Leiter des Forschungsprojekts „Mining-RoX“, Prof. Bernhard Jung, vom Institut für Informatik der TU Bergakademie Freiberg. Der Roboter heißt „Innok Heros“ und wurde

vom Startup-Unternehmen Innok Robotics in Münchsried entwickelt und gebaut. In gerade einmal zehn Wochen haben die Ingenieure den für den Einsatz unter Tage gedachten mobilen Roboter gefertigt. Das Fahrzeug muss autark in bis zu 150 Metern Tiefe funktionieren. Bei hoher Luftfeuchte muss es Hindernissen ausweichen oder sie überwinden können.

EU-Forschung

7. Forschungsrahmenprogramm HORIZON 2020: Im Jahr 2014 liefen an der TU Bergakademie Freiberg insgesamt neun Projekte mit einer Förderung aus den Forschungsrahmenprogrammen der EU (7. Forschungsrahmenprogramm, HORIZON 2020), davon acht als Verbundforschung und eines im Mobilitätsprogramm Marie Curie. Für drei weitere wurde die Förderzusage erteilt. Das Gros der Beteiligungen an EU-Forschungsprojekten gehört zum Kreis der Energiethemen; vertreten ist die Bergakademie Freiberg selbstverständlich auch in den Bereichen Material und Umwelt.

2014 wurde das **EU-Projekt „Nano-particle products from new mineral resources in Europe – ProMine“ (ProMine)** auf der Industrial Technologies Conference in Athen als bestes Projekt im 7. EU-Forschungsrahmenprogramm ausgezeichnet. Seitens der TU Bergakademie Freiberg waren Wissenschaftler der Mathematischen Geologie und Geoinformatik beteiligt.

Europäisches Technologieinstitut EIT: Gemeinsam mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) war die TU Bergakademie Freiberg maßgeblich an der Vorbereitung und Erstellung eines Antrags zur Ausschreibung des Europäischen Technologieinstituts EIT für ein europaweites Clusternetzwerk (KIC – Knowledge and Innovation Community) zum Thema Rohstoffe („KIC Raw Materials“) beteiligt. Der vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf/HIF koordinierte Antrag gewann im Dezember 2014 den europaweiten Wettbewerb (vgl. Beitrag J. Gutzmer et al., ab S. 91). Der Antrag bringt mehr als 100 Partner des Rohstoff- und Ressourcenbereichs aus 22 Ländern zusammen. Ziel des KIC soll es sein, die Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Rohstoffsektors zu verbessern.

Drittmittelleinnahmen

Bei der Einwerbung von Forschungsdrittmitteln erzielte die TU Bergakademie Freiberg 2014 erneut einen Rekord und bestätigte damit über Jahre in Folge



© DESY 2015

Europäischer Röntgenlaser XFEL, Beschleunigertunnelabschnitt L3

ihre Position unter den führenden technischen Universitäten Deutschlands. Mit 62,3 Mio. € an Drittmittelinnahmen für 2014 übertraf sie erstmals die 60-Mio-Euro-Marke. Das Volumen der Drittmittel hatte bereits über Jahre vorher in etwa dem der staatlich finanzierten Haushaltsmittel entsprochen und übertrifft dieses nunmehr deutlich. Mit dem neuen Rekord für 2014 verzeichnet die TU Bergakademie Freiberg eine neue Bestmarke bei der Mitteleinwerbung, auch pro Professor. Innerhalb der Universität trugen wie in den Vorjahren die Profildbereiche Material (z. B. Materialien für die Energiewende) und Energie/Verfahrenstechnik besonders stark zum Drittmittelaufkommen bei.

Deutsch-Russisches Ioffe-Röntgen-Institut

Seit 2014 ist die Bergakademie Partnerin im deutsch-russischen Ioffe-Röntgen-Institut und koordiniert damit ein gemeinsames Forschungsvorhaben im Bereich der Energiespeichertechnologien. Das Vorhaben finanzieren die Forschungsministerien beider Länder mit jeweils einer Million Euro für die kommenden drei Jahre. Im wissenschaftlichen Fokus liegt die Entwicklung neuartiger Charakterisierungsmethoden, die auf dem Einsatz

von Großgeräten wie Neutronenquellen und Elektronenspeicherringen basieren.

Eine Forschungseinrichtung, die zukünftig starke Impulse für die gemeinsame Forschung auf diesen Feldern erwarten lässt, ist der im Bau befindliche weltgrößte Röntgenlichterzeuger – der Europäische Röntgenlaser XFEL. Sein Aufbau und sein Betrieb werden hauptsächlich von Deutschland und Russland finanziert.

Prof. Dr. Serguei Molodtsov, Professor für Strukturforschung mit XFEL- und Synchrotronstrahlung am Institut für Experimentelle Physik und zugleich wissenschaftlicher Direktor des European XFEL, gab im Eröffnungsvortrag zum 66. BHT einen Überblick über den aktuell erreichten Aufbauzustand des 3,4 Kilometer langen Röntgenlasers und einen Ausblick auf den hiermit erzielbaren Erkenntnisfortschritt für die Strukturforschung. Diese einzigartige Forschungsanlage, die extrem intensive Röntgenlaserblitze (30.000 Blitze pro Sekunde) erzeugen kann, wird bahnbrechende Analyse-Wege eröffnen: chemische Reaktionen zu filmen, atomare Details von Molekülen zu entschlüsseln und dreidimensionale Aufnahmen aus der Nano-Welt zu machen. Daraus resultieren enorme Chancen für völlig neue Entwicklungen auf Feldern wie etwa Medizin und

Gesundheit, Energie und Verkehr, Materialien und Werkstoffe etc. Auch Freiburger Wissenschaftler werden den European XFEL für eigene Forschungsprojekte nutzen können.

Qualifizierung und Förderung von wissenschaftlichem Nachwuchs

Mit insgesamt 113 Promotionsabschlüssen (Männer: 75, Frauen: 38) wurden die Vorjahreszahlen übertroffen. Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses an der TU Bergakademie Freiberg trugen auch 2014 Mittel des Freistaates Sachsen und aus dem Europäischen Sozialfonds (ESF) bei. Im Rahmen der Richtlinie „Hochschule und Forschung“ des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst wurden sechs Nachwuchsforschergruppen bis Jahresende 2014 – dem Ende der Förderperiode – finanziert (zwei davon darüber hinaus). Die Hochschule unterstützt promovierende Frauen mit Überbrückungsfinanzierungsmaßnahmen.

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF)

Die Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) als gemeinsamer

Einrichtung des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf und der TU Bergakademie Freiberg hat sich in den drei definierten Bereichen Ressourceneffizienz¹, Verfahrensentwicklung² und Analytik³ im Jahr 2014 über Projektanträge und gemeinsame Forschungsarbeiten konkret gestaltet und weiterentwickelt.

Einen Schwerpunkt der 2014 laufenden gemeinsamen Forschung bildeten Projekte im Rahmen der großangelegten, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Fördermaßnahme „r³ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Strategische Metalle und Mineralien“ zur effizienten Nutzung strategisch wichtiger Rohstoffe (vgl. *HIF-Beitrag in ACAMONTA 2014*). Zum Beispiel sollen im Teilprojekt „SMSB - Gewinnung strategischer Metalle und anderer Mineralien aus sächsischen Bergbauhalden“ alle Informationen zu den 20 größten Bergbauhalden in Sachsen in einem Haldenkataster erfasst werden.

Nach Probebohrungen auf mehreren Halden zur Identifizierung der für die Industrie interessanten Wertstoffe lag 2014 der Schwerpunkt auf Untersuchungen zur Verteilung der Wertstoffe in den Halden; Ziel ist die Entwicklung eines dreidimensionalen Modells der Haldenkörper.

Das Projekt wird durch das HIF koordiniert und von Wissenschaftlern der TU Bergakademie Freiberg unter Beteiligung von Industriepartnern (AKW Apparate+Verfahren, SAXONIA GmbH, G.E.O.S.) durchgeführt.

Weitere gemeinsame Aktivitäten von TU Bergakademie und HIF in der zweiten Jahreshälfte 2014 umfassten u. a. die erfolgreiche Einreichung von F&E-Förderanträgen im BMBF-Programm „r⁴ - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ (sechs Vollanträge ReserVar, Skarne, Wistamerz, GERRI, Calixarene, Theissen-Schlamm).

- 1 Gewinnung von Germanium, Gallium, Seltenen Erden, Indium, Zinn und weiterer Wertstoffe aus Bergbauhalden und Reststoffen der Industrie und der Landwirtschaft; Bioleaching von Kupferschiefer
- 2 Elektrodialyse, Pyrometallurgie beschichteter Gläser, BioLeaching, Erkundung mittels luftgestützter Seismik und Elektromagnetik, Potential Mapping (Geoinformatik), Ausbau Forschungsbergwerk
- 3 Austausch von Proben, Isotopenmessung, Radionuklide, Überprüfung von Messergebnissen

Zentrale Einheiten Universitätsrechenzentrum (URZ)

Schwerpunkte der Arbeit des URZ im Jahr 2014 waren der Aufbau eines modernen Campusdatennetzes, die weitere Verbesserung der IT-Infrastruktur, die Förderung des Multimediaeinsatzes in Forschung und Lehre, der Ausbau der Koordinationsstelle E-Learning, die Fortsetzung laufender IT-Projekte sowie das High Performance Computing.

Vorgebracht wurde u. a. das Konzept für die Einrichtung eines sachsenweiten Backup- und Archivdienstes, gemeinsam mit der TU Dresden. Es sieht die Einbeziehung eines Untertagerechenzentrums im Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg vor.

Im Juli 2014 startete ein Verbundprojekt zur Langzeitarchivierung und Veröffentlichung von Forschungsdaten des Zentrums für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen der TU Dresden und des Universitätsrechenzentrums der TU Bergakademie Freiberg. Im Vorhaben „Open Access Repository - (OpARA)“ sollen Methoden und Workflows entwickelt werden. Sie sollen dazu dienen, Forschungsdaten aller sächsischen Hochschulen in einem disziplinübergreifenden Repositorium mit Langzeitarchiv zu verwalten und eine langfristige Aufbewahrung sowie eine adäquate Beschreibung, Verwaltung und gegebenenfalls Veröffentlichung der Daten aus einer Hand zu ermöglichen. Das Projekt läuft bis Ende 2016 und wird durch das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) unterstützt.

Universitätsbibliothek

Die erfolgreiche Arbeit der Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg (UB) wurde auch 2014/15 belohnt: Beim bundesweiten Bibliotheksranking BIX erreichte sie erneut die Eingruppierung in die „Goldgruppe“ und wiederholte damit ihren Erfolg aus den Vorjahren in allen vier bewerteten Kategorien - Angebot, Nutzung, Effizienz und Entwicklungspotenzial. Seit Ende 2014 liefert die UB Freiberg Bestandsdaten aus der Digitalen Bibliothek an die Deutsche Digitale Bibliothek (DDB). Die derzeit ca. 1.600 Objekte aus Freiberg, die bis ins frühe 18. Jahrhundert zurückreichen, werden mittelfristig auch ins europäische Kulturportal Europeana eingepflegt.

Der Online-Kurs der Universitätsbibliothek zur Informationskompetenz wurde weiterentwickelt. Er schult Fähigkeiten,

wie: Informationsbedarf erkennen und benennen, Suchstrategien entwickeln und anpassen, Informationsquellen auswählen und nutzen, Informationen beschaffen und evaluieren, Umgang mit Informationen sowie deren Verwaltung. Die Universitätsbibliothek offeriert zudem eine Software zur Verwaltung und Weiternutzung von Literaturnachweisen für die Erstellung von wissenschaftlichen Arbeiten. Im Jubiläumsjahr wird der Neubau der Universitätsbibliothek planerisch vorbereitet

Marketing und Studienberatung

Die Zentrale Studienberatung setzt Hochschulstrategien an den Schnittstellen zwischen Universität und Studieninteressierten sowie zwischen der Universität und nichtuniversitären Einrichtungen, wie Schulen, Agentur für Arbeit, Netzwerken um. Sie ist die zentrale Anlauf-, Kontakt- und Beratungsstelle für Studieninteressierte und Studienanfänger. Sie bietet personenbezogene Dienstleistungen in Präsenzform und via Internet an - für die Studienentscheidung, -planung und -organisation sowie für den Studieneinstieg.

Studienorientierungsveranstaltungen an Gymnasien und in Berufsinformationsszentren der Agentur für Arbeit (BIZ) sind fester und wichtiger Bestandteil unseres Maßnahmenspektrums. Ziel ist es, ein stabiles Netzwerk mit Gymnasien aufzubauen und diese in Fragen der Studienorientierung zu betreuen (2014 waren 53 Schulen eingebunden). Das Spektrum der Veranstaltungen an Schulen reicht von Infobörsen zur Studien- und Berufsorientierung bis hin zu Fachvorträgen. Im Jahr 2014 besuchten Schüler aus 23 Gymnasien - vor allem aus den Bundesländern Sachsen, Thüringen, Berlin und Brandenburg - die TU Bergakademie Freiberg, um die Universität kennenzulernen.

Die Universität ist seit 2013 Mitglied im MINTec (ExzellenzCenter MINT-Gymnasien mit 212 Gymnasien bundesweit).

Die Fachberatung und Schulung von Mitarbeitern der Universität wurden intensiviert. In Workshops des Studierendenmarketings werden die wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bergakademie auf dem Gebiet des Kommunizierens mit Schülern geschult. Sie halten im Anschluss Fachkurse (Chemie, Physik, Geo, Mathe etc.) in Gymnasialklassen ab.

Beim Studienbotschafter-Programm besuchen Studierende der TU Bergakademie Freiberg ihr ehemaliges Gymnasium: 2014 27 neu hinzugekommene

studentische Botschafter. Der so aufgebaute Schüler-Studenten-Dialog ist bei den Gymnasien sehr angesehen und erfreut sich großer Beliebtheit.

Die Universität hat in ihrem Studienwerbekonzept jährlich drei Tage der offenen Tür verankert:

- Tag der offenen Tür mit Firmenkontaktbörse ORTE zur Studien- und Berufsorientierung (Januar, ca. 1.000 Teilnehmer)
- Tag der offenen Tür für Studieninteressierte mit Workshop zur Studienfachfindung (Frühjahr, ca. 300 Teilnehmer)
- Studien-Infotag für Kurzsentschlossene zum Studienbeginn im WS (September, ca. 80 Teilnehmer)

Die Schüleruniversität 2014 umfasste sieben Projektwochen. Über 100 Schüler nahmen daran teil, viele davon aus den Alten Bundesländern (Hessen, Bayern, Nordrhein-Westfalen).

Internationalisierung

Internationale Studienhäuser

Im Jahr 2014 konnte mit dem Lomonossow-Haus das erste internationale Studienhaus an der TU Bergakademie Freiberg eingeweiht werden.

Hier finden auch die „Freiberger Lomonossow-Gespräche“ zu internationalen Rohstofffragen statt. Gäste im Jahr 2014 waren u.a. der chinesische Botschafter in Deutschland, Shi Mingde, der stellvertretende Minister für Bildung und Wissenschaft der Russischen Föderation, Marat Kambolow, die Rektoren der Montanuniversität Leoben und der China University of Mining and Technology sowie Alexej Isakow, Abteilungsleiter bei Rosneft.

Das Appartement-Haus bietet Unterbringungsmöglichkeiten für zwölf Studierende und Gastwissenschaftler. 2014 wurden diese von Gästen aus Russland, Indien, China sowie aus der Ukraine genutzt. In Vorbereitung ist die Einrichtung eines zweiten Hauses mit dem Partnerland Vietnam. Das Konzept „Internationales Studienhaus“ ist ein wichtiger Teil der Internationalisierungsstrategie der TU Bergakademie Freiberg – eine langfristig angelegte Bildungspartnerschaft mit ausgewählten Ländern für eine internationale High-Level-Ausbildung in den Profillinien Geo, Material, Energie und Umwelt, die den Anforderungen der Wirtschaft im Rohstoff- und Energiesektor entspricht.

Die ausländischen Studienhaus-Bewohner sollen in Freiberg eine zweite Heimat mit besten Wohn-, Arbeits- und Lernbedingungen finden.

Ausländische Studierende/Doktoranden an der TU Bergakademie Freiberg

Im WS 2014/15 ist die Zahl der immatrikulierten ausländischen Studenten/Doktoranden auf 900 und ihr Anteil damit auf 16,7% gestiegen. Während im WS 2013/14 20,6% der Studienanfänger aus dem Ausland kamen, sind es im WS 2014/15 bereits 22,5%. Die zehn wichtigsten Entsendeländer waren im WS 2014/15: China, Brasilien, Russland, Indien, Ukraine, Mongolei, Vietnam, Polen, Indien und Iran. Von den 900 eingeschriebenen ausländischen Studierenden erhielten 79 ein DAAD-Stipendium. Allen ausländischen Studenten und Doktoranden bietet das IUZ das Mentorenprogramm an, um die Studenten bei der Anreise, ggf. Wohnungssuche, bei ersten Behördengängen und der Orientierung am Studienort bzw. in der Universität zu unterstützen.

Die Orientierungsveranstaltungen für neue ausländische Studierende in deutscher und englischer Sprache im Winter- und Sommersemester (nur in englischer Sprache) sind inzwischen gut etabliert. Über mehrere Tage hinweg wurden Informationen zum Studienbeginn bzw. rund ums Studium in Form von Vorträgen, Führungen und in der Diskussion mit wichtigen Ansprechpartnern vermittelt. Im Jahr 2014 wurde die Veranstaltung von 153 neuen ausländischen Studierenden wahrgenommen.

Über die inneruniversitäre Betreuung der Studierenden hinaus gibt es eine sehr gute Zusammenarbeit mit dem Studentenwerk. Seit dem Wintersemester 2014/15 steht ein zusätzliches Wohnheim in der Heinrich-Heine-Straße mit ca. 120 Wohnheimplätzen für internationale Studierende zur Verfügung.

Ergebnisse in der Lehre

Bereich Studium Entwicklungen und Anpassungen im Studienangebot

Anmerkung: Der an den Studienmöglichkeiten in Freiberg interessierte Leser wird es vermutlich billigen, das Thema ‚Studium/Lehre‘ hier relativ breit abgehandelt zu sehen. Knapper gefasst könnte man zwar pauschal über den Facettenreichtum dieser wichtigen Kernkompetenz unserer Universität referieren. Es wäre dann aber kaum möglich, die schiere Vielfalt der Bemühungen um Studium und Lehre einigermaßen plastisch vor Augen zu führen, dabei auch die Notwendigkeit und Tragweite diesbezüglicher Entscheidungen und Anpassungen.

Neuaufnahme von Studiengängen

Zum WS 2014/15 wurde der erste gemeinsam mit der TU Dresden ins Leben gerufene Studiengang eröffnet: **Computational Science and Engineering**. Dieser Masterstudiengang ist eine Kombination aus High Performance Computing, numerischer Mathematik und ihrer technischen Anwendung in den Ingenieurwissenschaften. Daraus ergibt sich die Aufteilung Informatik/High Performance Computing in Dresden und Mathematik/Ingenieurwissenschaften in Freiberg. Mit dem gemeinsamen Studiengang wird ein gemeinsamer Abschluss von beiden Universitäten erzielt. Auch das Großforschungsprojekt Virtuhcon zielt auf die Einbindung der Simulationswissenschaften in die Lehre, um die starke Nachfrage nach entsprechend ausgebildeten Spezialisten in Industrie und Wissenschaft zu decken. Mit dem genannten Masterstudiengang soll diese Angebotslücke geschlossen werden.

Zum WS 2014/2015 startete auch der **Diplomstudiengang „Nanotechnologie“**, der den Bachelorstudiengang „Elektronik- und Sensormaterialien“ ersetzt. Eine Erkenntnis aus der internen Evaluation des letzteren war, dass sein Name bei Studierwilligen und Studienanfängern falsche Erwartungen weckte. Deshalb musste für den nunmehr installierten Diplomstudiengang ein Name gefunden werden, der die Studieninhalte – auch und gerade für Abiturienten verständlich – klar widerspiegelt, attraktiv wirkt und sich von der Benennung anderer Studiengänge abhebt, was nun mit „Nanotechnologie“ gelungen sein sollte. Der Bedarf an einschlägig profilierten Absolventen am deutschen Arbeitsmarkt wird als hoch eingeschätzt. In Deutschland gibt es ca. 1.800 Arbeitgeber im Bereich der Nanowissenschaften, und mehr als die Hälfte dieser Unternehmen prognostiziert steigenden Spezialistenbedarf. Auf der Angebotsseite bieten nur die Hochschulen Duisburg, Erlangen und Würzburg einschlägige Studieninhalte an.

Auch beim **Studiengang „Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten“** wird seit dem Wintersemester 2014/15 wieder auf das Diplom als regulärem Abschluss gesetzt. Damit reagierte die Bergakademie auf die in dieser Richtung anhaltend hohe Nachfrage der Studieninteressierten wie auch der Industriepartner nach dem etablierten Abschluss „Diplom-Ingenieur“. Beide Diplomstudiengänge werden modularisiert angeboten, so dass sie den Vorgaben der Bologna-Reform entsprechen und ein Wechsel in das andere System möglich ist.

Besondere Maßnahmen zur Erhöhung des Studienerfolgs

Zusätzlich zum Online-Kurs der Universitätsbibliothek wird ein weiteres, zweiwöchentlich nutzbares Gruppenangebot – das sog. „Studienabschlusscoaching“ – als ein Projekt der Kooperation zwischen der Bergakademie und dem psycho-sozialen Dienst des Studentenwerks offeriert. Es zielt auf Studierende mit erheblichen Problemen beim Studienabschluss. In diesem Format wird Unterstützung beim Abfassen schriftlicher Arbeiten gegeben und werden Strategien gegen die Versuchung zum Aufschieben notwendiger Schritte zum Erreichen des Abschlusses besprochen.

E-Learning

Die durch das MESIOR-Programm ins Leben gerufene E-Learning-Koordinationsstelle hat ihr Schulungs- und Dienstleistungsangebot inkl. der IT-Nutzerberatung in der Bibliothek weiter ausgebaut und die Nutzerzahlen erneut gesteigert. Neben konkreten Informations-, Schulungs- und Beratungsangeboten zu den Themen Didaktik, Technik und Recht im E-Learning unterstützt die Koordinationsstelle Lehrende und Studierende ganz praktisch bei der Erstellung digitaler Inhalte und bietet einen breit angelegten Nutzersupport. Hauptanliegen ist es, die Präsenzlehre an der Bergakademie sinnvoll zu unterstützen, Dozenten zu entlasten und einen Beitrag zu direkter Praxis- und Studierendenorientierung zu leisten. Aber auch bei der sachsenweit durchgesetzten Verbesserung von OPAL, z. B. die Nutzerfreundlichkeit (Usability) und die Pflege der Hilfesysteme betreffend, wirkt die E-Learning-Koordinationsstelle mit. Mitarbeiter dieser Stelle zeichneten Vorlesungen im Umfang von ca. 230 SWS auf (sog. *E-Lectures*).

Lernplattform OPAL

Die Lernplattform OPAL wurde 2014 weiterentwickelt, beispielsweise durch das Projekt ASiST des Instituts für Informatik, das die Mobilfähigkeit von OPAL förderte, oder durch eine Weiterentwicklung des E-Assessment-Werkzeugs ONYX im Zuge des Projekts ELMAT des Instituts für Angewandte Analysis mit einer Optimierung der Bewertungsfunktionen und der Entwicklung randomisierter Berechnungsaufgaben.

Die E-Learning-Koordinationsstelle hilft bei der Erarbeitung von Selbstlernmaterialien für Spezialthemen in deutscher und englischer Sprache (Kursvideos,

Anleitungen, OPAL-Selbstlernkurs) und bei der Konzipierung neuer OPAL-Kurse, wie „Wissenschaftliche Teamarbeit“ oder „Zeit im Verständnis der Naturwissenschaften“. Auf diese Weise wurden im Jahr 2014 insgesamt 18 OPAL-Kurse aktiv unterstützt.

Die Auswertung der Nutzungsmuster weist auf den Trend zu didaktisch höherwertigen Nutzungen hin. Insbesondere die Bausteine Wiki, Forum, Test, Termin- und Themenvergabe verzeichnen einen erheblichen Anstieg der Nutzungsfrequenz.

Ausbau multimedialer Lehr- und Lernangebote

2014 wurde die Aufzeichnung, Bearbeitung, Verschlagwortung und Veröffentlichung von Videomaterial weiter vorangetrieben. Insgesamt wurden acht Lehrveranstaltungen regelmäßig aufgezeichnet und anschließend in Magma/OPAL, Youtube und/oder in den Bibliothekskatalog eingepflegt.

Auch die Anzahl der Aufzeichnungen und Live-Übertragungen von Vorträgen/Festveranstaltungen (z. B. der Krüger-Kolloquien, von Fachtagungen, Ehrenpromotionen usw.) hat im Berichtsjahr zugelegt. Besonders zu erwähnen ist die Übertragung und Begleitung der Vorlesung „Thermodynamics of Gasturbines“ für gleichzeitig zwei Standorte (Clausthal und Freiberg) per Videokonferenz.

Schulungsangebote wurden 2014 sowohl online als auch präsent für Studierende und Lehrende zu folgenden Themen ausgebaut:

- **Für Studierende:** Web 2.0 Tools im Studium, interaktives Kamerateam, Einführung in das Dienstleistungsangebot des URZ, Gruppenworkshops für Erstsemester
- **Didaktische Workshops für Lehrende:** Urheberrecht im E-Learning, Plagiatsprüfung/-prävention mit Turnitin, Neue Medien in der Lehre, Moderieren im Virtuellen Klassenzimmer, Online-Tests erstellen, OPAL-Fortgeschrittenenkurse
- **IT-Nutzersupport in der Universitätsbibliothek:** Mit diesem Gemeinschaftsprojekt des Universitätsrechenzentrums und der Universitätsbibliothek werden Studierende durch Kommilitonen informatischer Studiengänge bei IT-Problemen beraten und unterstützt. Aufgrund der positiven Resonanz – mittlerweile auch aus der Mitarbeiterschaft – wurden die Bereitschaftszeiten ausgeweitet und mit Schulungen begonnen.

Erstmals fanden Kleingruppenschulungen zu Semesterbeginn statt: zur

Einrichtung von VPN-Client, Uni-Mailfach, Einführung in den Gebrauch von E-Learning-Werkzeugen u. ä.

• **Moduldatenbank:** Ein wichtiges Instrument, das dazu dient, den Lehrbetrieb auch im Sinne des universitätsinternen Qualitätsmanagements zu erleichtern und transparent zu gestalten, ist die Erarbeitung einer Datenbank zur Verwaltung der (Lehrstoff-)Module und Modulhalte (Moduldatenbank). Ein Großteil der dazu erforderlichen Finanzierung stammt aus dem Projekt MESIOR. Die 2013 konzipierte und prototypisch begonnene Implementierung des Themenkomplexes Moduldatenbank wurde konsequent fortgeführt. Funktionen zur Verwaltung von Modulen stehen zum Test zur Verfügung. Neue oder modifizierte Studiengänge können entworfen und mit der Moduldatenbank verwaltet werden. Ein Benutzer- und Rechteverwaltung wurde konzipiert und prototypisch in das System integriert. Testdateien, insbesondere Module, aber auch Studien- und Prüfungsordnungen sind implementiert und stehen für Beta-Tests zur Verfügung.

Im Jahr 2014 wurden folgende Arbeitspakete einer Moduldatenbank nahezu komplett implementiert:

- Verwaltung der Module samt Inhalten
- Unterstützung beim Entwerfen von Studien- und Prüfungsplänen sowie bei der automatischen Generierung eines Modulhandbuchs

Bereich Promotion (Graduierten- und Forschungsakademie)

Die Graduierten- und Forschungsakademie (GraFA) der Bergakademie stellt als interdisziplinäre wissenschaftliche Einrichtung fachübergreifende Fortbildungs-, Beratungs- und Vernetzungsangebote für den wissenschaftlichen Nachwuchs der Universität bereit.

Im Jahr 2014 gelang es, die organisatorischen Strukturen der GraFA weiter zu festigen und großenteils auch personell zu verstetigen. Im Bereich Drittmittelwerbung wurde das Projekt YoungGEOMATE-NUM International im IPID4all Programm des DAAD mit einer Laufzeit von Januar 2015 bis Oktober 2017 und einer Förderung in Höhe von 423.000 Euro zwecks Internationalisierung der Arbeit in der Promotionsphase erfolgreich beantragt.

Als zentrale Einrichtung gestaltet die GraFA darüber hinaus im Rahmen eines Modellvorhabens gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Kultus eine schuljahresbegleitende, monatlich stattfindende Lehrerfortbildung.

Neuer Rektor feierlich ins Amt eingeführt

Mit einer Festveranstaltung in der Alten Mensa wurde Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht am 12. Oktober feierlich in sein Amt als Rektor der TU Bergakademie Freiberg eingeführt. Vor rund 300 Gästen überreichte ihm die Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, Dr. Eva-Maria Stange, die Urkunde. Sie gratulierte in ihrer Festrede Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht zu seiner Wahl. „Mit ihm wurde ein würdiger Nachfolger gewählt, und wir sind diesem Vorschlag gern gefolgt“, betonte Dr. Stange. Auf den neuen Rektor warten spannende Aufgaben und sie wünsche ihm dafür viel Erfolg. Die ersten Schritte der Zusammenarbeit seien bereits getan. Gemeinsam arbeiten Ministerin und Rektor am Hochschulentwicklungsplan 2025. Dessen Ziel ist es, die Profilierung und die Qualität in der Lehre und Forschung voranzutreiben sowie eine verbesserte Positionierung der Freiburger Universität sowohl in der deutschen als auch in der ausländischen Hochschul-Landschaft zu erreichen. Während des Festaktes wurden die neuen Prorektoren Prof. Dr. Rudolf Kawalla, Prorektor für Forschung, Prof. Dr. Silvia Rogler, Prorektorin für Bildung, und Prof. Dr. Broder Merkel, Prorektor für Struktur, Strategie und Außenbeziehungen, feierlich in ihr Amt eingeführt. Der Erweiterte Senat der TU Bergakademie Freiberg wählte Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht am 3. Juni 2015 zum Rektor. Sein Amt hat er am 21. Juli für fünf Jahre angetreten. Er ist der 40. Rektor der Bergakademie und folgt auf Prof. Dr. Bernd Meyer, der von 2008 bis 2015 amtierte. Nachfolgend findet sich die Antrittsrede von Prof. Barbknecht im Wortlaut.



© TU Bergakademie Freiberg/Deleiv Müller

Res severa gaudium

Sehr geehrte ... Anwesende, seien Sie mir hier in der Alten Mensa in Freiberg herzlich willkommen und für Ihr Kommen bedankt!

Herzlichen Dank an meine Vorredner für die Glückwünsche und Ratschläge und die Angebote, mir mit Rat und Tat beizustehen.

Rückblick

Meine Damen und Herren: Wir befinden uns im 25. Jahr in einem wiedervereinigten Deutschland, im 250. Jubiläumsjahr und am Beginn der Amtszeit des 40. Rektors unserer Bergakademie. Dies lädt natürlich ein, auch anlässlich der Investitur eines neuen Rektors eine Rückschau zu halten und die Vergangenheit auf uns wirken zu lassen. Aber keine Angst, ich werde den zahlreichen Jubiläumsreden nicht vorgreifen und mich auf einen überschaubaren Zeitabschnitt konzentrieren.

Am 3. Oktober 1990 geschah, was kaum jemand im Vorfeld für möglich gehalten hatte. Die Teilung Deutschlands wurde aufgehoben. Die Erkenntnis über die Lage in der DDR, Veränderungswille und ein unglaublicher Mut der Menschen im Osten Deutschlands führten binnen eines Jahres – gerechnet vom Zeitpunkt des 40. Jahrestages der DDR, der ersten Montagsdemonstrationen und der Öffnung der Mauer – zur „Herstellung der Einheit Deutschlands“¹. Wie wohl die allermeisten Westdeutschen war ich stauender Zaungast dieser Ereignisse und konnte kaum fassen, was hier geschah. Ich hatte eine Wiedervereinigung zwar

nicht ausgeschlossen, jedoch nicht damit gerechnet, dass es tatsächlich in meiner Lebenszeit noch dazu kommen würde.

Die Herausforderungen für die Menschen in den Ländern von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen und Berlin waren immens. Die Veränderungen kamen rasend schnell auf jedermann zu und nicht jeder empfand diese Veränderungen subjektiv als eine Verbesserung. Arbeitsplätze gingen verloren, neue wurden geschaffen – und damit auch neue Herausforderungen. Solch neue Herausforderungen entstanden natürlich auch für Unternehmen, die Verwaltungen der öffentlichen Hand und für andere öffentliche Einrichtungen. Davon waren auch die Universitäten in Ostdeutschland und somit die Bergakademie Freiberg betroffen.

Seit ihrer Gründung beruht die Ausstrahlung und Anziehungskraft der Bergakademie Freiberg auf ihrem montanistischen Profil, das über die Jahrhunderte hinweg in den Grundzügen erhalten blieb – auch wenn es viele Anpassungen gab. Dieses Profil hat die Zeiten des Nationalsozialismus und des Kommunismus überdauert und kann nun seit 25 Jahren auch im geeinten Deutschland überzeugen. Davon zeugen, meine sehr geehrten Damen und Herren, nicht nur die Studentenzahlen, die in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen sind, sondern auch die stetig gestiegenen Mittel für die Forschung. Die internationale Bekanntheit unserer Universität wird u. a. auch durch eine über Jahre hohe Zahl ausländischer Studierender unterstrichen.

Wenn sich unsere Hochschule nach der politischen Wende 1989 unter den Rektoraten von Prof. Gerhardt, Prof. Stoyan und Prof. Schlegel zunächst auf die veränderten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedingungen einstellen musste und eine Neuordnung der Bereiche sowie den Umbau des Personalbereichs zu bewältigen hatte, konnte sie jedoch aufgrund des sehr klar umrissenen Profils bereits seinerzeit schnell ihren Platz in der deutschen Hochschullandschaft bestimmen und festigen. Ein wichtiges Zeichen des neuen Selbstbewusstseins war die 1993 durchgeführte Namensänderung in „Technische Universität Bergakademie Freiberg“. Die in den 1990er-Jahren erfolgte Modernisierung des Studienangebots brachte u. a. die Einführung von ökologisch orientierten Studiengängen, zusammen mit der Gründung des Interdisziplinären Ökologischen Zentrums sowie den Start des ersten internationalen und rein englischsprachigen Master-Studiengangs „International Management of Resources and Environment“ (IMRE) mit sich.

Im Bereich der Forschung konnte u. a. an die Tätigkeiten aus der DDR-Zeit angeknüpft werden. Bereits im Zeitraum 1991–95 lag die TU Bergakademie Freiberg als einzige Hochschule in den Neuen Bundesländern hinsichtlich der Drittmittelinwerbung bei der DFG über dem gesamtdeutschen Durchschnitt. Heute ist sie unter den TOP 5 im bundesdeutschen Vergleich bei der Einwerbung von Drittmitteln pro Professor. An diesem Ergebnis sind die Professoren und wissenschaftlichen Mitarbeiter aller sechs

¹ ... wie es im Einigungsvertrag heißt.

Fakultäten maßgeblich beteiligt – ohne Zusammenarbeit geht so etwas nicht. Die Zahl der eingeworbenen Drittmittel liegt sogar über der vom Freistaat Sachsen bereit gestellten Grundfinanzierung – eine absolute Besonderheit in der deutschen Hochschullandschaft.

In den letzten 15 und insbesondere in den letzten sieben Jahren wurde die Profilierung der TU Bergakademie Freiberg stark vorangetrieben. Grundlage hierfür bilden die im GEOMATENUM vereinten vier Profillinien: Geologie, Material, Energie und Umwelt. Besonderer Wert wurde dabei auf eine starke Vernetzung der Wissenschaftsgebiete innerhalb der Universität gelegt.

Eine neue Dimension erreichte in der jüngeren Vergangenheit das Stiftungswesen. Schon seit ihrer Gründung waren an der Bergakademie bedeutende Stiftungen angesiedelt. Mit der Wiedervereinigung Deutschlands konnte an diese Tradition angeknüpft werden. So kam es zunächst 2002 – anlässlich des 300. Jubiläums der Stipendienkasse – zur Gründung der Stiftung „Technische Universität Bergakademie“. Bald danach gelang es unter dem Rektorat von Prof. Unland, weitere große Stiftungen an die Bergakademie zu ziehen. Ich spreche von der 2004 ins Leben gerufenen Pohl-Ströher-Mineralienstiftung, deren beeindruckende Exponate heute in der terra mineralia zu besichtigen sind, und von der im Jahr 2006 folgenden Dr. Erich Krüger-Stiftung. Die Bergakademie hatte damit die höchste Zuwendung eines privaten Stifters erhalten, die bis zu diesem Zeitpunkt einer staatlichen Universität in Deutschland zuteil wurde.

Daneben stehen u. a. die bedeutende Sparkassenstiftung und die großzügigen Stiftungsbeiträge der Eheleute Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider, der Eheleute Marianne und Dr. Frank-Michael Engel, des Unternehmens Solarworld oder des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg.

Die Positionierung der TU Bergakademie Freiberg als die deutsche und internationale Universität im Ressourcenbereich wurde stets mit Nachdruck vorangetrieben. Dafür danke ich meinen Vorgängern, insbesondere den Altrektoren nach 1990.

Mein besonderer Dank gilt meinem unmittelbaren Vorgänger Altrektor Professor Bernd Meyer und seinem Rektorat. Er, Kanzler Andreas Handschuh und die Prorektoren Prof. Silvia Rogler, Prof. Dirk Meyer, Prof. Broder Merkel und Prof. Michael Stelter haben gemeinsam mit den

Universitätsangehörigen die Profilierung der Bergakademie weiter vorangetrieben und mir ein gut bestelltes Haus hinterlassen.

Meine Damen und Herren, es ist beruhigend zu wissen, dass weder ein Neuanfang noch eine grundsätzliche Neuausrichtung vorzunehmen ist. Der Weg, den meine Vorgänger eingeschlagen haben, war sehr erfolgreich und sollte nicht leichtfertig verlassen werden.

Gleichwohl bleibt es natürlich eine große Aufgabe und Herausforderung, die jeweils spezifischen Anforderungen der Zeit zu erkennen und in unser Handeln und unsere Überlegungen einzubeziehen. Dabei gilt es nicht nur Vorgaben und Bedingungen nachzuvollziehen, sondern sie nach den vorhandenen Möglichkeiten mitzubestimmen und gemeinsam zu gestalten.

Ausblick

„Wissenschaft, Forschung und Lehre sind frei.“ So lautet Art. 5 Abs. 3 S. 1 unseres Grundgesetzes, und es folgt Satz 2 „Die Freiheit der Lehre entbindet nicht von der Treue zur Verfassung.“ Beide Sätze sind eingebettet in die Meinungs- und Informationsfreiheit des Grundrechtsartikels. Wie schlicht und großartig haben die Verfasserinnen und Verfasser unseres Grundgesetzes ein Grundrecht postuliert und uns gleichzeitig eine ungeheure Bürde auferlegt.

Freiheitsrechten ist nämlich die Verantwortung sowohl für das eigene Entscheiden als auch für das Tun und Unterlassen Dritter immanent. Art. 5 Abs. 3 GG heißt nicht, das Individuum sei frei, nach eigenem Willen alles zu tun und zu unterlassen, solange dies mit Wissenschaft, Forschung und Lehre verbunden sei, sondern er garantiert die Freiheit von Wissenschaft, Forschung und Lehre als solche und überträgt uns allen damit die Verantwortung für deren Erhalt. Diese Freiheit muss auch gelebt werden können. Das bedeutet, dass seitens des Staates hierfür die Voraussetzungen zu schaffen sind und entsprechend Mittel für die Universitäten bereitgestellt werden müssen.²

Hierzu gehört auch das Prinzip der demokratisch verfassten Universität, das vom Gesetzgeber und der Exekutive in allen ihren Freiheitsrechten nicht nur zu respektieren, sondern aktiv zu schützen

ist.³ Diese Verpflichtung gilt auch für mich als Rektor dieser Universität.

Meine Entscheidungen folgen dem Prinzip der Einbindung der Kollegialorgane und Kommissionen im Allgemeinen und insbesondere dann, wenn dort die fachliche Kompetenz liegt.

Auch wenn ich weiß, dass Veränderungen und Reformen – vor allem wenn sie evolutionär und nicht revolutionär erfolgen sollen – Zeit brauchen, halte ich es im Interesse der Freiheit für Wissenschaft, Forschung und Lehre für richtig, dass meine Amtszeit zeitlich begrenzt ist und zur Wiederwahl ausgeschrieben werden muss.

Ein solches Amt voll und mit ganzer Leidenschaft für die Interessen der Gesamtheit der Universität auszufüllen, fordert viel vom Amtsinhaber. Auch die Ressourcen an ebenso für die Sache brennenden Mitstreitern sind hierfür erforderlich. Hierauf muss man sich einstellen, wenn man sich für „diese gute Sache“ bewirbt. Wilhelm von Humboldt stellte schon zu seiner Zeit fest, die Fachgelehrten seien – ich zitiere: „die unbändigste und am schwersten zu befriedigende Menschenklasse – mit ihren sich ewig durchkreuzenden Interessen, ihrer Eifersucht, ihrem Neid, ihrer Lust zu regieren, ihren einseitigen Ansichten, wo jeder meint, dass nur sein Fach Unterstützung und Beförderung verdiene“⁴. – Wie gesagt, ein Zitat, und es sei hier angemerkt, dass Alexander von Humboldt und nicht der hier zitierte Wilhelm von Humboldt ein Alumnus der Bergakademie war. Die Erfahrungen von Wilhelm stammten sicherlich aus Berlin und nicht aus Freiberg! Dennoch, es ist eine ernstzunehmende und gute Sache, sich um die Bergakademie zu bemühen. Gleichermaßen wie es den Amtsinhaber fordert, fordert es auch konstruktive und gutmeinende Kritiker. Doch durch Gewöhnung und den allgemeinen Hang zur Harmonie und Ruhe mag sich dies verbrauchen.

Wir wollen uns gemeinsam anstrengen, uns vor einer solchen trügerischen Harmonie zu bewahren! Vielleicht hilft hierbei die Erkenntnis von Platon: „Ich kenne keinen sicheren Weg zum Erfolg, aber einen sicheren Weg zum Misserfolg: Es allen Recht machen zu wollen.“

Das Amt des Rektors ist bekanntlich ein Wahlamt. Zwei hochschulinterne Gremien wirken daran maßgeblich mit. Zum einen trägt der Hochschulrat die

² So schon das Bundesverfassungsgericht in seiner „*numerus clausus* Entscheidung“ vom 18. Juli 1972, BVerfGE 33, 303 S. 330ff.

³ Vgl. auch BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 12. Mai 2015, BvR 1501/13 Rn. 68f.

⁴ M. Geier, Die Brüder Humboldt, 2009, S. 267.

Verantwortung für die Auswahl von Kandidaten, zum anderen wählen an der Bergakademie 101 Repräsentanten der Universitätsgemeinschaft als Erweiterter Senat daraus ihren zukünftigen Rektor. Dies ist lebendiger Ausdruck der demokratisch verfassten Universität. Nach dem Gesetz ist der Rektor diesen Gremien und dem Senat in allererster Linie zur Rechenschaft über sein Handeln verpflichtet. Er ist Teil der Selbstverwaltung der Hochschule, die ihre Wurzeln in der weitgehenden Eigenständigkeit der Fakultäten hat, und bildet gemeinsam mit dem Kanzler und den Prorektoren die Klammer der Gesamtinteressen der Universität.

Aus diesem Verständnis heraus ist der Rektor nach meiner Auffassung als Teil eines Kollegialorgans nicht nur dem Vermächtnis seiner Vorgänger verpflichtet. Er hat vor allem dem objektiven Interesse der Universität in Gegenwart und Zukunft zu dienen. Ich bin aber auch zutiefst davon überzeugt, dass nur dem die Gestaltung von Gegenwart und Zukunft wirklich gelingt, der die Vergangenheit kennt, analysiert und daraus Lehren zieht. Die eigenen Fehler und Erfolge gehören ebenso dazu wie diejenigen anderer. Das hilft, weniger Fehler zu machen und vielleicht, die Quote der Erfolge noch weiter zu erhöhen.

Sie haben im Verlauf der eigentlichen Investitur – also meiner Einkleidung als Rektor – bemerkt, dass mir der Vorsitzende des Hochschulrates und ehemalige Oberberghauptmann Prof. Schmidt zunächst den Bergkittel gereicht hat. Ich habe um diesen neuen Teil der Investitur gebeten und konnte mir keinen würdigeren Amtsträger hierfür vorstellen als Prof. Schmidt.

Der Freiburger Bergkittel ist – obwohl es in der Silberstadt Freiberg durchaus passend wäre – nicht mit Silber geschmückt; ihm fehlen Goldschmuck, Hermelinbesatz wie bei den an anderen Universitäten üblichen Talaren der Rektoren, oder Rangabzeichen. Er ist schlicht schwarz. In dieser gleichen schlichten Form wird er sowohl vom Bergarbeiter, von Studenten, von Professoren, vom Kanzler, den Prorektoren und dem Rektor als auch vom Oberbürgermeister oder Oberberghauptmann getragen. Das gefällt mir so an ihm – er mahnt die Gleichheit im Bemühen zum Gelingen „*der guten Sache*“ an! Er ist in diesem m. E. positiven Sinne uniform. Von üblichen Uniformen unterscheidet er sich jedoch in einem ganz wesentlichen Aspekt: Es ist jedermanns ureigenste individuelle Entscheidung, ob er den Kittel

annimmt und trägt. Diese Entscheidung – egal wie sie ausfällt – macht niemanden besser oder schlechter im Vergleich zu anderen! Ich habe für mich entschieden, mich in die Tradition des Bergkittels im Sinne des Prinzips einer selbstbewussten Bescheidenheit zu stellen, wie es uns als Technische Universität Bergakademie Freiberg eigen sein sollte.

Auch wenn unsere Technische Universität mittlerweile weit über das hinaus gewachsen ist, was ursprünglich Bergbau darstellte, steht sie doch in der Tradition des Bergbaus und der Montanwirtschaft und trägt damit zu Recht den Bestandteil „Bergakademie“ in ihrem Namen. Auch das zeugt von besagter selbstbewussten Bescheidenheit.

Das macht das Leben im Kreis der anderen Universitäten – insbesondere bei der Studienwerbung – nicht immer einfacher und fordert uns heraus, mehr erklären zu müssen, als andere Technische Universitäten dies zu tun haben. Wir müssen nämlich angehenden Studenten erklären, dass wir auch und nicht nur im Bergbau ausbilden. Wir müssen erklären, dass wir grundsätzlich all das können, erforschen und ausbilden, was andere Technische Universitäten auch tun.

Aber, und das ist ein Alleinstellungsmerkmal, wir können auch Bergbau – übersetzt: wir decken in Forschung und Lehre die gesamte Wertschöpfungskette der modernen Ressourcenwirtschaft von der Erkundung über Produktion bis zum Recycling ab. Verglichen mit der Zahl der sonstigen Technischen Universitäten in der Welt können dies nur wenige. Dies verbindet uns mit Partneruniversitäten wie in Clausthal, Aachen, St. Petersburg, Leoben oder Trondheim.

Daran sollten wir weiter arbeiten: sich nicht Begrifflichkeiten unterzuordnen oder davon einengen zu lassen, sondern durch klare Profilierung uns selbst davor bewahren, beliebig zu werden.

Nach den mehr grundsätzlichen Ausführungen möchte ich nun zu den Zielen und Aufgaben kommen, die mich in meiner 1. Amtszeit erwarten, und auf die ich mein besonderes Augenmerk legen möchte. Ich habe diese in sieben Punkten zusammengefasst:

Punkt 1: Qualitative Wahrnehmung in der Öffentlichkeit erhöhen

Zu den wichtigsten Zielen in der nächsten Zeit gehört die Erhöhung der zielgerichteten positiven Wahrnehmung unserer Hochschule in der Öffentlichkeit.

Dafür müssen wir zielgruppenorientiert denken und planerisch vorgehen. Hierbei erscheint mir wichtig, den von meinem Amtsvorgänger eingeführten Begriff der Ressourcenuniversität dort weiterzuentwickeln, wo er Sinn macht und ihn mit verständlichen Beispielen zu untersetzen, so dass die Öffentlichkeit ein besseres Verständnis von den an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg vertretenen Wissenschaftsgebieten erhält.

Neben dem wichtigen Bereich der Rohstoffe oder Ressourcen ist es notwendig, die Aufmerksamkeit auch auf die ebenso wichtigen Bereiche der Mathematik, der Chemie und Physik sowie der Materialien und Werkstoffe zu lenken. Neben den technischen Aspekten stehen mit gleich wichtiger Bedeutung die Rechts- und Wirtschaftswissenschaften.

Dies ist nicht ohne die aktive Beteiligung aller Fakultäten möglich. Ich fordere Sie deshalb auf, weiter in einen konstruktiven Dialog mit der Hochschulleitung zu bleiben, so dass unsere Universität zukünftig ihre Stärken umfassend zeigen kann. Die Steigerung der Wahrnehmung der TU Bergakademie Freiberg in der Öffentlichkeit wird eine der wichtigsten Aufgaben in meiner Amtszeit sein. Damit einher geht auch, dass die Abteilungen Öffentlichkeitsarbeit, Studienwerbung, Veranstaltungen, Presse und Kommunikation sowie das Medienzentrum zusammengelegt wurden und seit dem 1. Oktober ein eigenes Dezernat beim Rektor bilden.

Und nicht zuletzt: Unsere Universität als geistiges aber auch kulturelles Zentrum strahlt weit über unsere Stadt hinaus; sie trägt erheblich zur Attraktivität dieses Standorts bei. Das offene und anregende Klima müssen wir weiter kultivieren und dabei immer die Anbindung zur außeruniversitären Gesellschaft in der Stadt und der Region suchen – dies bleibt ein wichtiges Anliegen.

Punkt 2: Hochkarätige Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen fördern und gewinnen

Voraussetzung von exzellenter Lehre und Forschung ist die Gewinnung und Förderung hochkarätiger Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, die sowohl solides als auch modernstes Fachwissen haben und sich zugleich durch hohe kulturelle und interkulturelle Kompetenz auszeichnen. Wir benötigen – auch insbesondere aufgrund unserer Größe – Menschen, die über die Kompetenz ihres jeweiligen Fachgebietes hinaus denken

können und die ganzheitlich zum Wohle der Menschen handeln. Um auch weiterhin auf hohem Niveau Forschung und Lehre zu betreiben, sind die Gewinnung und das Halten exzellenter Wissenschaftler eine Grundvoraussetzung. Dafür wird sich mein Rektorat mit aller Kraft in den nächsten Jahren einsetzen.

Punkt 3: Qualität in Forschung und Lehre absichern und ausbauen

Zur Sicherung der Qualität in Forschung und Lehre gibt es seit Jahren zahlreiche Bemühungen an der TU Bergakademie Freiberg. So wurde bereits im letzten Rektorat mit der Etablierung eines Qualitätsmanagementsystems sowohl im Bereich der Forschung als auch der Lehre begonnen. Dies sieht in der nächsten Zeit seinem Abschluss entgegen.

Ebenso gibt es eine Forschungsdatenbank, die sich im Aufbau befindet, die von Prorektor Prof. Merkel weiter ausgebaut und deren Umfang kontinuierlich erweitert wird. Hieran ist stetig weiter zu arbeiten.

Exzellente Wissenschaft und Lehre messen sich nicht an Drittmittelquoten allein, sondern an dem Mehrwert an Erkenntnissen für Wissenschaft und Gesellschaft. Hierauf werde ich ein besonderes Augenmerk legen.

Punkt 4: Forschung weiter profilieren und sichtbar entwickeln

Die weitere Profilierung und Entwicklung der Forschung wird eine der wichtigsten Aufgaben in meinem Rektorat sein. Große Anstrengungen hinsichtlich der Profilierung wurden durch meine Vorgängerrektorate unternommen. Die TU Bergakademie Freiberg zählt innerhalb Sachsens zu den bestprofilertesten Universitäten. Dennoch sind insbesondere in Bezug auf die Sichtbarkeit verschiedener Bereiche der Universität weitere deutliche Anstrengungen erforderlich. Es wird bereits viel getan, aber vieles muss noch sichtbar werden.

Interdisziplinäre Forschungsprojekte werden dabei eine wichtige Rolle spielen. Auch die höhere Beteiligung an europäischen Verbundprojekten wird stärker in den Vordergrund rücken. Erfahrungen, die bei der Etablierung des KIC Raw Materials gemacht werden, sind dabei von unschätzbarem Wert. Und nicht zuletzt können Akzente durch Mittel aus unseren bedeutenden Stiftungen gesetzt werden, so wie das bereits durch die beiden Krüger-Forschungskollegs geschehen ist.

In Hinblick auf den Standort Freiberg wird es auch Veränderungen geben. So ist die Universität zurzeit im Gespräch mit weiteren bedeutenden industriellen und institutionellen Forschungseinrichtungen, um auch hier engere Verbindungen zu schaffen und eine gemeinsame Weiterentwicklung voranzutreiben.

Punkt 5: Kooperationen international und regional ausbauen

Bedeutende Fortschritte wurden in der Vergangenheit in der internationalen Positionierung der TU Bergakademie erzielt. Bisher wurde dabei besonderes Augenmerk auf die osteuropäischen und zentralasiatischen Partner gelegt. Die TU Bergakademie Freiberg genießt jedoch nicht nur in Osteuropa hohes Ansehen. In vielen Ländern, die eine enge Verbindung zu Deutschland im Ressourcenbereich haben, ist die TU Bergakademie Freiberg als erstklassige Ausbildungs- und Forschungsstätte bekannt. Dies gilt es weiter auszubauen. Die TU Bergakademie Freiberg hat sich in den letzten Jahren international sehr gut positioniert. Dennoch bin ich der Ansicht, dass unsere Hochschule in weiteren Weltteilen viel bekannter sein könnte. Ich denke dabei besonders an Westeuropa und Nordamerika. Hier werden wir besonderes Augenmerk auf einen weiteren Ausbau legen.

Wir sind international ausgerichtet, und unsere Bedeutung ist damit eng verbunden. Daher möchte ich an dieser Stelle auch auf die aktuelle Flüchtlingssituation zu sprechen kommen. Die TU Bergakademie Freiberg hat es sich – soweit es ihre Möglichkeiten zulassen – zum Ziel gesetzt, Flüchtlinge zu unterstützen. Bereits mein Amtsvorgänger hatte sich mit Unterstützungsvorschlägen an das SMWK gewandt. In der Zwischenzeit ist jedoch viel passiert. So wurde unsere Glückauf-Sporthalle in eine Erstaufnahmeeinrichtung umgewandelt und steht für den Unisport für längere Zeit nicht zur Verfügung. Hier suchen wir gemeinsam mit der Stadt Freiberg derzeit nach alternativen Sportstätten für unsere Studenten und Mitarbeiter. Zusätzlich zum hohen ehrenamtlichen Engagement vieler Studenten und Mitarbeiter bemühen wir uns insbesondere darum, jungen Asylbewerbern eine Chance auf universitäre Ausbildung zu geben. Dabei geht es zum einen darum, interessierte Flüchtlinge in für sie geeigneten Studiengängen unterzubringen, in denen sie auch einen Studienabschluss erreichen können. Zum

anderen ist die Finanzierung während des Studiums zu klären. Wir haben uns deshalb entschieden, für besonders geeignete Studierende aus diesem Kreis Deutschlandstipendien zur Verfügung zu stellen, die durch private Zustiftungen auf den Bafög-Satz erhöht werden. Damit kann das erste Studienjahr überbrückt werden. Mit diesen Maßnahmen hoffen wir, dass eine schnelle Integration eines Teils der Flüchtlinge gelingt, die vielleicht auch in anderen Hochschulorten Schule machen könnte. Hierfür bitte ich Sie um Ihre Unterstützung. Ich werde bezüglich der Zustiftungen noch einmal auf Sie ganz persönlich zukommen. Bei aller Internationalität dürfen wir eines nicht vergessen: Wir sind in erster Linie eine Universität in Sachsen, in Deutschland und in Europa. Die Kooperationen mit den Universitäten und Hochschulen in der Region sind für uns und die Wissenschaftsfreiheit in Sachsen essenziell und noch stärker als bisher voranzutreiben. Kooperation stärkt die Eigenständigkeit!

Punkt 6: Verantwortliches Management einer lebendigen Organisation

Gemeinsam die Zukunft gestalten – auch unter dieses Motto möchte ich meine Amtszeit stellen. Ich sehe dabei das Rektorat als Team, das offen und transparent mit den Professoren, Gremien, Mitarbeitern, Studenten etc. kommuniziert. Die Zusammenarbeit soll zugleich von Vertrauen aber auch Respekt und Anerkennung geprägt sein. Und natürlich muss jedes Glied dieser starken Kette Verantwortung übernehmen können. Zur Arbeit des Rektorats habe ich folgende Vorstellungen: Der Rektor koordiniert die Tätigkeiten des Rektorats und ist insbesondere in den Bereichen Kommunikation, Fundraising und Stakeholder-Management aktiv; der Prorektor Forschung (Herr Professor Kawalla) ist für die Weiterentwicklung der interdisziplinären Forschung sowie die Unterstützung bei der Drittmittelwerbung verantwortlich; der Prorektor für Strategie, Struktur und Außenbeziehungen (Herr Professor Merkel) beschäftigt sich mit strategischen und strukturellen Angelegenheiten und ist für die Außenbeziehungen zuständig, die Prorektorin für Bildung (Frau Professor Rogler) widmet sich strategischen Angelegenheiten in Lehre und Studium und ist für die Qualitätssicherung und –entwicklung verantwortlich; der Kanzler (Herr Dr. Handschuh) leitet die zentrale Universitätsverwaltung, das Justizariat und Gremienangelegenheiten.

Punkt 7: Attraktives Arbeitsumfeld für Universitätsangehörige schaffen

Unter diesem Anstrich möchte ich auf zwei Punkte eingehen, denen ich besondere Bedeutung beimesse. Zum einen ist dies das Thema der Familienfreundlichkeit. Die Hochschule hat sich in Bezug auf die Familienfreundlichkeit in den letzten Jahren stark engagiert und wird dies auch weiterhin mit Nachdruck tun. So haben wir am Audit „familiengerechte Hochschule“ teilgenommen und verpflichten uns in der Zielvereinbarung zu einer Reihe von Maßnahmen zur Sicherstellung der Vereinbarkeit von Familie und Beruf. Ebenso wurde die TU Bergakademie Freiberg durch die Unterzeichnung der „Charta Familie in der Hochschule“ Mitglied im *Best-Practice-Club* familienorientierter deutscher Hochschulen.

Auch das Thema Gleichstellung möchte ich in diesem Zusammenhang erwähnen. Die hohe Bedeutung, die ich diesem Thema beimesse, wird u. a. darin deutlich, dass ich die Rektorskommission Gleichstellung zukünftig selbst leiten werde.

Zu einem attraktiven Arbeitsumfeld zähle ich auch moderne Büros, Laboratorien und Hörsäle. Auch hier sind wir auf einem guten Weg. In der letzten Zeit wurden verschiedene Baumaßnahmen – wie die Errichtung eines neuen Flügels

am Chemiegebäude, die Sanierung des Gebäudes Metallformung oder die Errichtung des Schloßplatzquartiers – durchgeführt. In der nächsten Zeit kommen beispielsweise dazu der Neubau der Bibliothek, der insbesondere für die Mitarbeiter der Universitätsbibliothek deutlich bessere Arbeitsbedingungen bringen wird, sowie des Hörsaalzentrums, die Erweiterung des Hallenkomplexes für Verfahrens- und Maschinenentwicklung und die Sanierung des Winkler-Baus. Durch diese Baumaßnahmen wird die Universität moderner und die Bedingungen für ein Studium oder die Arbeit an der TU Bergakademie Freiberg werden noch attraktiver.

Ich begrüße ausdrücklich, wie der Freistaat Sachsen durch diese bedeutenden Investitionen seine Rolle zur Gewährleistung der sich aus Art. 5 Abs. 3 GG ergebenden Verpflichtungen wahrnimmt und sage: Danke!

Ein attraktives Arbeitsumfeld wird aber auch durch eine leistungs- und serviceorientierte zentrale Verwaltung charakterisiert. Wir werden auch hier Anstrengungen zur weiteren Entwicklung und Verbesserung unternehmen. Verwaltungsabläufe sind kein Selbstzweck, sondern haben der effizienten Leistungsbereitstellung zu dienen. Mehrfachzuständigkeiten und Mehrfacharbeiten sind zu

identifizieren, zu lokalisieren und zügig abzustellen. Die auf uns zukommende Mehrbelastung bei der Wahrnehmung unserer Aufgaben macht eine Steigerung der Effektivität und Effizienz dringend erforderlich. Wir müssen die richtigen Dinge richtig tun.

Abschluss

In den vergangenen Minuten habe ich eine Reihe von Themenfeldern umrissen, deren Bewältigung eine gemeinschaftliche Aufgabe sein wird, die sich nur in einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit zwischen der Universitätsleitung, den Gremien, den Professoren, Mitarbeitern und Studenten erledigen lässt. Erfolge können wir nur aufweisen, wenn wir gemeinsam die vor uns liegenden Aufgaben angehen. Ich lade Sie ein, sich an der weiteren Entwicklung mit Begeisterung zu beteiligen, meinen Beitrag abzufordern und Ihren Beitrag zu leisten. Lassen Sie uns gemeinsam unter dem Motto von Theodor Körner „*Glückauf der guten Sache*“⁵ die nächsten 250 Jahre Universitätsgeschichte beginnen!

5 Emil Peschel (Hg.), Theodor Körners Tagebuch und Kriegslieder 1813. Mit dem Bildniß Theodor Körners, Abbildung seiner Grabstätte, ..., Freiburg i. Br. 1893, Frontispiz.

Eindrücke von der feierlichen Investitur

(v.l.) Dr. Eva-Maria Stange, Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst, neben Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht und Prof. Reinhard Schmidt, Vorsitzender des Hochschulrates der TU Bergakademie Freiberg



Zum Abschluss der feierlichen Investitur sangen alle das traditionelle Steigerlied



Die neue Universitätsleitung: (v.l.) Kanzler Dr. Andreas Handschuh, Prorektor für Forschung Prof. Dr.-Ing. Rudolf Kawalla, Rektor, Prorektorin für Bildung Prof. Dr. Silvia Rogler und Prorektor für Struktur, Strategie und Außenbeziehungen Prof. Dr. Broder Merkel

© (3) TU Bergakademie Freiberg/Lutz Weidner



© TU Bergakademie Freiberg/Eckardt/Müller

Blick in den Sammlungsschrank

Das Historicum der TU Bergakademie Freiberg

Zum 6. März dieses Jahres öffnete die Ausstellung über die Geschichte der Bergakademie Freiberg im Rahmen des Historicums ihre Tür. Damit waren nach einer Phase von insgesamt etwa 20 Jahren der Planung – nach zwischenzeitlicher Neugestaltung der Clemens Winkler-Gedenkstätte und teilweiser Restaurierung des Karzers – alle drei Einheiten des Historicums wieder der Öffentlichkeit zugänglich. Die Eröffnung erfolgte pünktlich zum gesetzten Termin – bei Unterschreitung des veranschlagten Kostenrahmens.

Wie der Direktor des Instituts für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG), Prof. Dr. Helmuth Albrecht, in seiner Eröffnungsansprache ausführte, steht die heutige Ausstellung in einer Entwicklungslinie, die vor etwas mehr als 35 Jahren ihren Anfang nahm, nämlich im Rahmen der Vorbereitungen der Feierlichkeiten aus Anlass des 30-jährigen Bestehens der DDR am 7. Oktober 1979. Auf eine nur vorübergehend gezeigte Präsentation, die sich vor allem der Geschichte der Bergakademie in der Epoche des Sozialismus zuwandte, folgte zwei Jahre später, zum 1. April 1981, in Ausführung eines etwa ein Jahr zuvor gefassten Beschlusses des Politbüros der SED die Eröffnung des Traditionskabinetts der Bergakademie in vormals durch die Bibliothek genutzten Räumen. Dieses Kabinett blieb bis zum Umbau der Gebäude Nonnengasse 22 und damit etwa zehn Jahre über das Ende der DDR hinaus bestehen, wobei als für nicht mehr zeitgemäß befundene Aussagen im wahrsten Sinne des Wortes verdeckt wurden, und zwar durch ein Darüberhängen von Sackleinen. Das Prorektorat für Gesellschaftswissenschaften der Bergakademie

unter Leitung von Prof. Dr. Dieter Slaby verantwortete die von der durch Rektor Prof. Dr.-Ing. Klaus Strzodka eingesetzten Arbeitsgruppe „Traditionskabinett“ erarbeitete inhaltliche Konzeption. Deren Ausrichtung war mit folgender Formulierung vorgegeben: *„Das Traditionskabinett ist eine im Auftrag der Partei [d.h. der SED - N.P.] gegründete Institution zur massenpolitischen, ideologischen Arbeit, indem es durch die Förderung und Vertiefung des Geschichtsbewußtseins und durch die Pflege progressiver Traditionen auf die Entwicklung des sozialistischen Bewußtseins der Hochschulangehörigen einwirkt.“*¹ Mit Bezug auf die heutige Ausstellung führte Prof. Dr. Albrecht am 6. März 2015 aus: *„Als historische Ausstellung zur Geschichte unserer Hochschule stellt natürlich auch das neue Historicum eine aus dem Zeithorizont der Gegenwart heraus entstandene Interpretation der Geschichte der Bergakademie dar, die uns allen dazu dienen soll, diese Geschichte, ihre inneren und äußeren Triebkräfte, ihre Höhen und Tiefen, ihre Brüche und Kontinuitäten, ihre Besonderheiten und Allgemeinheiten zu ‚verstehen‘. Die heute zu eröffnende Ausstellung kann somit in zweierlei Hinsicht interpretiert werden: Einerseits als ein Versuch, die Geschichte der Alma mater Freibergensis auf der Grundlage des neuesten Standes der historischen Forschung anschaulich und fachgerecht anhand von ausgewählten Bildern, Objekten, Texten und Inszenierungen darzustellen - und andererseits als das subjektive Ergebnis eines in der Gegenwart bzw. jüngsten Vergangenheit abgelaufenen Aushandlungsprozesses*

1 UAF II 20/345a. Ich danke Prof. Dr. Helmuth Albrecht herzlich für die Überlassung seines Redemanuskripts.

zwischen Wissenschaft, Gestaltung und Auftraggeber zur Deutung und Darstellung dieser Geschichte.“

Auf etwa 275 Quadratmetern gibt die Ausstellung Einblicke in die wechselvolle 250-jährige Geschichte der Universität. Gegenstand sind die Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik in ihrer Beziehung zur Bergakademie sowie deren Geschichte als Institution. Besondere Schwerpunkte sind die Darstellung der baulichen Entwicklung, nachvollziehbar über ein vom „schnellebuntembilder“-Studio für Animation und Interaktion, Berlin, multimedial animiertes Planungsmodell aus dem Jahr 1971 sowie ein Einblick in die vielfältigen Sammlungen, ohne die Lehre und Forschung an der Bergakademie nicht denkbar gewesen wären. Hervorgehoben werden die bergbaugeschichtliche Trepptow-Sammlung, die Sammlung physikalischer Instrumente und Apparaturen sowie die Gastgeschenkesammlung. Zu sehen sind etwa fünf Stunden historischen Filmmaterials, zu genießen ist eine Inszenierung historischen Hörsaalmobiliars. Bei Gesamtkosten von etwa 250.000 € bleiben die Kosten für die Neugestaltung deutlich unter denen vergleichbarer Ausstellungen, was nur möglich war, weil das IWTG die vorangehenden Forschungsaktivitäten in Eigenleistung erbrachte, indem sich nicht zuletzt auch der Institutsdirektor und der Kustos in die Entwicklung der Ausstellungskonzeption einbrachten.

Am Anfang des Werdegangs der Ausstellung stand die wichtige Entscheidung, bei der Sanierung des gesamten Gebäudekomplexes in den Jahren 2000 und 2005 alle nichttragenden Wände zu entfernen, die Decken und Fußböden zu verstärken und mit dem auszuwählenden Parkett einen dauerhaften Fußbodenbelag vorzusehen. Die Zeit zwischen dem Ende der Sanierung und der Eröffnung war, wie bei Albrecht angedeutet, durch vielfältige Diskussionen mit den einzubeziehenden Stellen ausgefüllt, an deren Ende dann eine allseits akzeptierte Konzeption stand. Leider ließ sich nicht vermeiden, dass der Charakter einer historisch orientierten Ausstellung durch einen „modernen“ Teil dem Anschein nach durchbrochen wurde, obwohl doch absehbar war, dass dessen Inhalte und Exponate kaum ein halbes Jahr nach der Eröffnung zum weit überwiegenden Teil ebenfalls schon historischen Charakter angenommen haben würden, nämlich als Darstellung selbstverständlich auch der letzten 25 Jahre der Bergakademiegeschichte.

Eine solche Ausstellung ist ohne die bereitwillige Unterstützung und Hilfe vieler Kolleginnen und Kollegen nicht zu realisieren. Besonderer Dank gilt allen Verantwortlichen aus den Sammlungen der Bergakademie einschließlich des Archivs und des wissenschaftlichen Altbestands der Universitätsbibliothek, da ohne die zahlreichen Vorschläge bezüglich geeigneter und zugleich auch ansehnlicher Objekte die Ausstellung ihren Charme nicht hätte entfalten können. Dem in Niederwiesa ansässigen Büro Helmstedt | Schnirch | Rom kam die mühevollen Arbeit zu, die schließlich in einem nochmaligen, kontinuierlichen Denk- und Arbeitsprozess vollendete Konzeption durch passende Innenausstattung des Raumes zur Geltung zu bringen. Zum Gesamttablauf gehörte die Abwicklung der Planungen, der Ausschreibungen und des Aufbaus der Ausstellung durch die Firma Schelm & Sohn GmbH, Hannover. Das Rektorat der TU Bergakademie Freiberg warb die für die Finanzierung der Ausstellung notwendigen Sondermittel ein, und engagierte Mitstreiter in der Universitätsverwaltung nahmen die nervzehrende Belastung in Kauf, die daraus erwuchs, dass ein erheblicher Teil der zugesagten Summe erst kurz vor Haushaltsjahresschluss verfügbar wurde. Groß war das Verständnis im Dezernat für Bau- und Gebäudemanagement für die manchmal recht kurze Frist zur Bewältigung unvorhergesehener Schwierigkeiten, ebenso die Hilfe durch das Medienzentrum. Stellvertretend für alle externen Stellen, die das Bemühen um die Ausstellung auf ihre Weise unterstützten, sind zu nennen: die Deutsche Fotothek der Sächsischen Landesbibliothek, Staats- und Universitätsbibliothek Dresden, das Industriemuseum Chemnitz und das Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt. Und ein besonderer Dank gilt den Leihgebern Frau Anne Rom, Herrn Hartmut Schnorr von Carolsfeld und Herrn Jens Kugler.

Alle Leserinnen und Leser der ACAMONTA sind aufgerufen, sich das Resultat dieser gemeinsamen Anstrengungen anzusehen – am besten in Begleitung zahlreicher weiterer Gäste! Ab Dezember 2015 ist die Ausstellung an jedem ersten Freitag im Monat von 14 bis 17 Uhr geöffnet (im Januar 2016 erst am 8. d. M.). Außerhalb der regulären Öffnungszeiten besteht die Möglichkeit, namentlich für Gruppen, gesonderte Besichtigungstermine zu vereinbaren.

■ Norman Pohl



Ausstellungsimpressionen

Rechts oben: MdL Dr. Jana Pinka und Prof. Maja Krumnacker vor ihren Porträts während der Ausstellungseröffnung. Rechts unten: Dr. Angelique Leszczawski-Schwerk (Initiatorin und Projektleiterin) und Cindy Kunath, die die Rechercharbeiten in Archiven und bei der Hegeler Carus Foundation in La Salle, Illinois (USA) durchgeführt hat



© (3) TU Bergakademie Freiberg/Graf

Ausstellung: Wissenschaftlerinnen und Studentinnen der Bergakademie

Im Rahmen des 250. Jubiläums wurde vom 9. März bis Ende April eine Ausstellung zum Wirken bedeutender Frauen im Foyer des Universitätshauptgebäudes in der Akademiestraße gezeigt. Damit wurde ein bislang wenig beachteter Aspekt der Universitätsgeschichte beleuchtet. Der Geschichte des Frauenstudiums an der TU Bergakademie Freiberg – von der ersten eingeschriebenen Studentin bis heute – widmet sich die Ausstellung „Studentinnen und Wissenschaftlerinnen der (TU) Bergakademie Freiberg“. Sie zeigt die Porträts der Frauen von 1885 bis 2015: Von der ersten Studentin, Professorin und Promovendin bis hin zur ersten Prorektorin im Jahr 2013. Auf einer Spurensuche konnten die Besucher die interessanten Lebenswege und beruflichen Werdegänge der Wissenschaftlerinnen der Universität nachvollziehen. Erstmals werden auch Statistiken zum Frauenstudium präsentiert. „Wir wollen mit der Ausstellung berufliche Erfolgsgeschichten und interessante Persönlichkeiten abbilden und die Karrierewege aufzeigen, die zu bestimmten Zeiten keine Selbstverständlichkeit waren“, erklärt Dr. Angelique Leszczawski-Schwerk, Organisatorin der Ausstellung und Gleichstellungsbeauftragte der Graduierten- und Forschungsakademie der Universität. „Für heutige Studentinnen und Doktorandinnen ist es wichtig zu sehen, dass die TU Bergakademie Freiberg den Vergleich nicht scheuen muss und Frauen an der Universität einen historisch verankerten Platz haben.“ Derzeit sind etwa ein Drittel der rund 5300 Studierenden in Freiberg weiblich. Zu den porträtierten Frauen zählen unter anderem Mary Hegeler, Dr. phil. Elise Hoffmann, Ulrike Marr, Dr. Waltraud Stolper, ao. Prof. Dr. Maja Krumnacker, Dr. Jana Pinka, Prof. Dr. Anja Geigenmüller, Dr. Thorid Zierold und ao. Prof. Dr. Swanhild Bernstein. Nachfolgend zu lesen ist die Rede zur Eröffnung der Ausstellung, gehalten von Dr. Jana Pinka.

Sehr geehrte Frau Prof. Rogler, sehr geehrte Frau Dr. Leszczawski-Schwerk, liebe Wissenschaftlerinnen und Studentinnen, liebe Mitarbeiterinnen, liebe Alumni der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, liebe Frauen!

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei den Organisatorinnen der Ausstellung und dem Rektorat dafür bedanken, dass ich die Ehre habe, mit Ihnen anlässlich des Internationalen Frauentages diese Ausstellung zu eröffnen. Und ich fühle mich zudem geehrt, zusammen mit so herausragenden, promovierten und habilitierten weiblichen Persönlichkeiten der Bergakademie porträtiert worden zu sein.

250 Jahre gibt es nun unsere Bergakademie. Genau 130 Jahre davon, also etwa während der Hälfte der Zeit ihres Bestehens, studierten und studieren Frauen an unserer Alma mater fribergensis. Als erste eingeschriebene Studentin mit Hörerstatus wurde 1885 Mary Hegeler Carus registriert. Mit ihrem Bildungsweg war sie zur damaligen Zeit eine große Ausnahme: Sie hatte sich als Frau immer in einer

Sonderstellung zu behaupten, da sie nicht nur um ihre Zulassung kämpfen musste, sondern sich auch in einem völlig von Männern dominierten Umfeld zu beweisen hatte. Ihr Weg an die Universität war vor allem von der Motivation geleitet, sich ihr Wissen in den Bereichen, die sie besonders interessierten, auszubauen. Ihre Vita bezeugt, dass sie nach ihrer Heimkehr in die USA Geschäftsführerin und Vorstandsvorsitzende einer Zinkfabrik wurde. Später übernahm sie die Herausgeberschaft der Zeitschriften „The Open Court“ und „The Monist“ – und das als Naturwissenschaftlerin, was ihre Vielseitigkeit belegt. Als ich die Vita von Mary Hegeler las, habe ich manche Parallelen zu meinem Lebensweg gesehen.

Ich begann an der Bergakademie 1983 Mineralogie/Geochemie zu studieren, bin dann nach dem Diplom und der Promotion in die Wirtschaft gegangen, habe dort 20 Jahre – auch in leitender Tätigkeit – gearbeitet und bin heute Abgeordnete des Sächsischen Landtags. Ein Studium an der Bergakademie befähigt offenbar zu diversen beruflichen Entwicklungsmöglichkeiten auch außerhalb der Wissenschaft. Aber Spaß beiseite! Ich möchte in meinem Eröffnungsvortrag heute der Frage nachgehen, ob die moderne Wissenschaftlerin in der heutigen Gesellschaft, namentlich an der Bergakademie, einen vergleichbaren Platz gefunden hat wie die männlichen Kollegen. Dazu wurde mir dankenswerter Weise Zahlenmaterial aus dem Universitätsarchiv zur Verfügung gestellt.

1885 wurde also die erste Frau hier in Freiberg zum Studium begrüßt. Etwa 70 Jahre später waren es Ulrike Marr und Waltraud Stolper, die hier als erste Frauen ihr Diplom beziehungsweise ihre Promotionsurkunde erhielten. Allerdings zeigen die nüchternen Zahlen aus dem Archiv auch, dass an unserer Hochschule erst ab etwa Mitte der 70er-Jahre ein erheblicher Anstieg der Zahl der weiblichen Studierenden zu erkennen ist. Offensichtlich entschieden sich, beginnend mit den staatlichen Bildungsreformen der frühen DDR und deren Steuerungswirkung, immer mehr Frauen für ein Hochschulstudium. 45% der Studierenden an der Bergakademie waren zu diesem Zeitpunkt Frauen. Und Maja Krumnacker, die von 1968 bis 1991 als Dozentin für Metallkunde tätig war, wurde 1978 zur außerordentlichen Professorin berufen; sie war damit die erste Professorin der TU Bergakademie Freiberg.

Seit 1990 sinkt der Anteil der weiblichen Studierenden leider wieder ab und pegelt sich seither auf etwa $\frac{1}{3}$ der Gesamtstudierendenschaft ein. Erstaunlicherweise ist dieser Anteil im Bereich der Ingenieur- und Naturwissenschaften seit Mitte der 70er Jahre keinen nennenswerten Schwankungen ausgesetzt. Er liegt bei den Naturwissenschaftlerinnen im Mittel um die 40% und bei den Ingenieurinnen – ausbaufähig – bei 20%. Wirtschaftswissenschaftlerinnen dominierten Mitte der 70er Jahre mit bis zu 85% unter allen weiblichen Studierenden und machen heute etwa 50% aus.

An dieser Anteilsentwicklung der weiblichen Studierenden ist die Tatsache irritierend, dass sich unsere Ressourcenuniversität eigentlich mit dem beschäftigt, was unsere „MUTTER Erde“ alles so hergibt: Wir widmen uns den Rohstoffen und der Energie, den Materialien und der Umwelt. Und trotzdem spielt das „Weibliche“ eine eher untergeordnete Rolle, obwohl wir uns der 300-jährigen Beschäftigung mit dem Thema der Nachhaltigkeit rühmen. Ich persönlich glaube, dass Nachhaltigkeit sozusagen von Haus aus weiblich ist, weil Frauen längerfristig und stärker im Interesse künftiger Generationen denken als Männer. Ich habe mal im

Sächsischen Landtag das Thema Nachhaltigkeit unter dem Aspekt der Gleichstellung betrachtet und mir die Frage gestellt: Denken Frauen von Natur aus langfristbezogen und stärker im Interesse künftiger Generationen als Männer? Arbeiten sie deshalb nachhaltiger? Klar ist: Frauen haben wahrscheinlich eine andere Sichtweise als Männer. Und man sagt ihnen eher nach, dass sie sorgsamer mit Leben, Ressourcen und Materie umgehen. Allerdings denke ich nicht, dass das naturgegeben ist, sondern mit größerer Nähe zum Leben zusammenhängt. Insofern repräsentiert diese modernere Auslegung des Begriffs der Nachhaltigkeit nicht nur einen veränderten gesellschaftlicher Ansatz, sondern einen auch lebensnäheren, da Fortschritt – auch wirtschaftlicher – im Einklang mit sozialer Gerechtigkeit und dem Schutz der natürlichen Umwelt sein sollte.

Mit Hinblick auf die Verteilungsgerechtigkeit von Bildung und Leitungsverantwortung an der Bergakademie muss man leider konstatieren, dass diese stark verbesserungsbedürftig ist. Aber da bin ich guter Hoffnung. Die Fakten sprechen für sich. 2014 waren das erste Mal in der Geschichte der Bergakademie 34% der Promovierenden Frauen. Seit 2013 sind neun Professorinnen zeitgleich im Amt, so viele wie noch nie. Und es gibt aktuell mit Frau Prof. Rogler sogar die erste Prorektorin an dieser Universität. Das freut mich sehr, und dieser Trend ist auf Basis der aktuell geltenden Förderprogramme durchaus ausbaufähig. Gerüchten nach gibt es ja schon Vereinbarungen zwischen dem Hochschulministerium und dem Rektorat, dass an die bergakademische Frauenquote die Finanzierung durch das Land Sachsen gekoppelt wird. Wahrscheinlich geht es nicht anders. Allein mit Frauenbeauftragten wird es wohl nichts werden. Eine konsequente Umsetzung des Gender Mainstreaming-Ansatzes ist aber geboten, um das Gleichstellungsdefizit auch an der Bergakademie zu verringern.

Da spreche ich ein wenig aus Erfahrung. Es gab Zeiten, da hätte ich mir gewünscht, männlich zu sein. Ich bin unter anderem nach der Geburt meiner Kinder aufgrund dann möglicherweise schwieriger beruflicher Perspektiven nur sechs Wochen lang zu Hause geblieben. Ich habe mich mehrfach auf ausgeschriebene Stellen beworben; bekommen haben sie immer Männer. Heute sollten ja Frauen bei gleicher Eignung den Vorzug haben. Aber schauen Sie sich die Realität in der Gesellschaft an! Wir sind noch weit weg von der Gleichstellung von Frau und Mann. Daher sind Quotierungen in Ämtern offensichtlich heute die einzige gangbare Lösung. Meine Position als stellvertretende Vorsitzende meiner Fraktion ist das Ergebnis einer Frauenquote in der Satzung meiner Partei.

Daher wiederhole ich gern nochmal: In meiner Vorstellung zur Zukunft von nachhaltiger Gesellschaft braucht es keine Quotierungen mehr – weder zwischen Geschlechtern noch anderen Gruppen. Alle Menschen leben gleichberechtigt, jeder trägt nach seinen Fähigkeiten und Möglichkeiten dazu bei, das Beste für die Gesamtheit zu erreichen.

Ich wünsche mir natürlich, dass das schon beim 260. Geburtstag der Bergakademie festgestellt werden kann, und nicht erst beim 500.! Bis dahin sollten noch recht viele Absolventinnen dieses Hauses den guten Ruf der Bergakademie in die Welt hinaustragen und mithelfen, diese mit ihrem hier in Freiberg erworbenen Wissen zum Besseren zu verändern.

*Insofern – Glück Auf und alles Gute zum Internationalen Frauentag!
Jana Pinka*

Wissenschaftlerinnen und Studentinnen und die Gleichstellung an der TU Bergakademie Freiberg

Karin Sichone¹

In diesem Jahr begehen wir das 250-jährige Jubiläum der Gründung der Bergakademie Freiberg. Seit der Gründung hat es 120 Jahre gebraucht, ehe sich Mary Hegeler als erste Frau im Jahr 1885 als Studentin einschreiben durfte.

Inzwischen ist es Normalität, dass sich Frauen zu einem universitären Studium einschreiben. Schließlich stellen sie bei den Abiturienten den größeren Anteil und haben dazu noch die besseren Abschlussergebnisse vorzuweisen. Allerdings findet sich unter den zehn von Frauen am stärksten besetzten Studienfächern aus dem natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereich nur das Fach Wirtschaftsingenieurwesen. Bei den Männern hingegen sind Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektrotechnik und Informatik die Spitzenreiter in der Liste. Hier erkennt man schon, dass die tradierten Rollenbilder in der Gesellschaft bis heute fest verwurzelt sind. Außerdem fehlen auch heute noch weibliche Rollenvorbilder, und gegen die Barrieren in puncto der Vereinbarkeit von Beruf und Familie wird erst seit wenigen Jahren auch auf politischer Ebene angekömpft.

Die Misere von Frauen im Wissenschaftsbetrieb wird durch das nachstehende Scherendiagramm recht gut veranschaulicht.² Im modernen Sprachgebrauch wird die dort dargestellte Entwicklung häufig mit *The leaky pipeline* bezeichnet (Abb. 1).

In den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen ist der Unterschied vom Anfang bis zum Ende des Qualifikationsverlaufs von Frauen und Männern groß, und bei Berufungen und den besetzten Professuren noch gravierender als hier für sämtliche Fachdisziplinen dargestellt.

Von der Zulassung von Frauen zur Habilitation in Deutschland im Jahr 1920 über die Zulassungsbeschränkung für Frauen im Jahr 1933, die Fördermaßnahmen für Frauen in der DDR (Sonderstudien 1970, Sonderaspirantur 1968, Förderung von Studentinnen mit Kind 1972), die

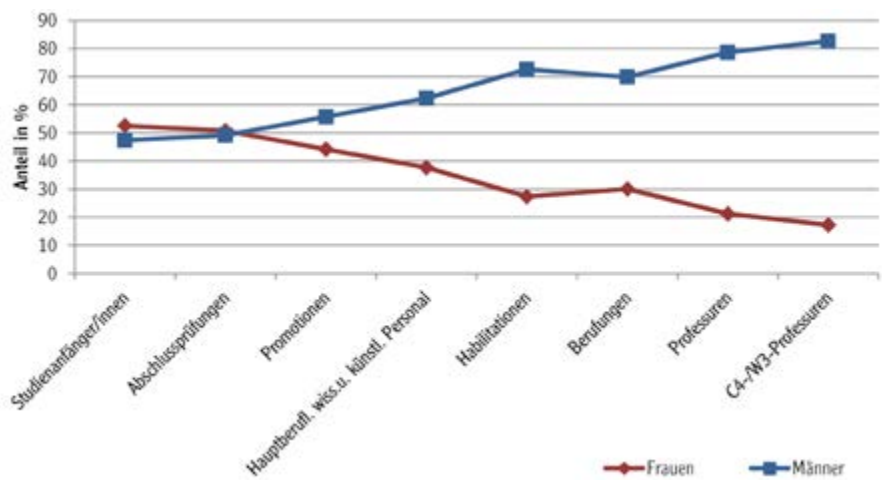


Abb. 1: *The leaky pipeline* – Frauen- und Männeranteile im Qualifikationsverlauf

Novellierung des Hochschulrahmengesetzes 1985 in der BRD mit der Formulierung des Gleichstellungsgrundsatzes bis hin zur Gründung der Bundeskonferenz der Frauen- bzw. der Gleichstellungsbeauftragten an den Hochschulen war es ein langer und mühsamer Weg, bis die Gleichstellung von Frauen und Männern als Aufgabe der Hochschulen in allen Landeshochschulgesetzen verankert war.

Studentinnen an der Bergakademie Freiberg

Bis zum Jahr 1951, in dem die erste Frau das Studium erfolgreich abschloss, hatten seit 1885 insgesamt 103 Frauen als Hörerinnen bzw. Studentinnen an der Bergakademie studiert. Im Jahr 1970 schlossen immerhin schon 41 Frauen ihr Studium erfolgreich ab, und 1975 verließen etwas mehr als 200 Absolventinnen die Hochschule, was vermutlich ein Ergebnis des 1970 auf den Weg gebrachten Sonderstudiums für Frauen war.³

Im Jahresbericht der Bergakademie von 1990 findet sich die Information, dass der Frauenanteil unter den knapp 3000 Studierenden 36 % betrug. Alarmierend war der Rückgang des Frauenanteils auf 20,5 % bei den Neuzulassungen 1991 gegenüber 44,6 % im Jahr 1989. Dies betraf insbesondere den Frauenanteil bei den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen, der von 32,2 % im Jahr 1989 auf 9 %

im Jahr 1991 zurückfiel. Mit der Einrichtung der Diplomstudiengänge Geoökologie, Angewandte Naturwissenschaft und Umwelt-Engineering im Jahr 1996 gelang der Universität ein neues, attraktives Studienangebot, von dem sich auch junge Frauen angesprochen fühlten.

Dem Trend, dass viele Abiturientinnen in Sachsen zur damaligen Zeit kein Hochschulstudium aufnahmen, versuchte die Universität durch spezielle Aktivitäten für Schülerinnen entgegen zu wirken. So wurde in den Sommerferien 1999 erstmals eine spezielle Woche für Schülerinnen aus Sachsen und angrenzenden Bundesländern angeboten. Später lief dieses Angebot unter dem Titel „Wie die Väter, so die Töchter“. Andere Aktivitäten, wie zum Beispiel der jährlich im April stattfindende „Girl's day“ sowie regelmäßige Vorträge zu den Berufsperspektiven von Frauen in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Berufen, haben geholfen, die Zahl der studierenden Frauen⁴ auf einem zeitweise noch leicht ansteigenden Level zu halten. Seit 2013 deutet sich allerdings ein rückläufiger Trend in allen Fächergruppen an. Der höchste Frauenanteil wurde im Studienjahr 2003/04 mit 38,1 % über alle Fächergruppen erreicht, was für eine Technische Universität im bundesweiten Vergleich deutlich über dem Durchschnitt lag (Abb. 2).

1 Dipl.-Ing. Karin Sichone, Gleichstellungsbeauftragte

2 <http://www.gesis.org/cews/informationsangebote/statistiken/>

3 Archivmaterial

4 Zahlenspiegel der TU Bergakademie Freiberg 2003 ff.

Der Erfolg der Ausbildung zeigt sich vor allem an den erfolgreich absolvierten Abschlussprüfungen. Besonders bemerkenswert ist das Ergebnis, wonach der Frauenanteil bei den Absolventen (Diplom und Master) stets höher ist als der bei den Studierenden insgesamt – hier beispielhaft gezeigt für das Jahr 2014 (Abb. 3). Daraus kann man schließen, dass es für Frauen an unserer Universität im Studium keine strukturellen Benachteiligungen gibt.

Für die nächsten Jahre müssen bei der Studienwerbung namentlich Schülerinnen noch stärker in den Blick genommen werden. Dort ist ein noch erhebliches Potenzial für leistungsstarke Studierende zu finden.

Wissenschaftliche Qualifizierung

Für die Universität ist es von entscheidender Bedeutung, leistungsstarke, hochmotivierte Absolventen für die Lösung anspruchsvoller Forschungsaufgaben zu gewinnen. Für junge Frauen, die sich in der Forschung verwirklichen wollen und eine wissenschaftliche Laufbahn an Universitäten oder an außeruniversitären Forschungseinrichtungen anstreben, ist es von großer Wichtigkeit, während ihrer Promotionsphase eine Anstellung auf einer Haushalts- oder Drittmittelstelle zu haben oder mit einem Stipendium für die Dauer von mindestens drei Jahren eine gewisse materielle Sicherheit zu finden.

Die Universität hatte über viele Jahre den Umstand zu beklagen, dass zwar zahlreiche Frauen ein Promotionsvorhaben begonnen, aber viel zu wenige die Promotion auch erfolgreich abgeschlossen hatten (Abb. 4).

In Bezug auf das Prinzip der Chancengleichheit ist allgemein akzeptiert, dass der Anteil von Frauen und Männern auf einer bestimmten Qualifikationsstufe den Anteilen in der vorangegangenen Stufe entsprechen sollte (Kaskadenmodell). An unserer Universität ist es 2014 erstmals gelungen, diese Zielvorgabe zu erreichen. Spezielle, im Gleichstellungskonzept der Universität verankerte unterstützende Maßnahmen für den Promotionsabschluss, die wissenschaftliche Qualifizierung im Rahmen der Graduiertenkollegs der Universität und die Angebote der Graduierten- und Forschungsakademie haben maßgeblich zur Erreichung dieses Ziels beigetragen.

Nachholbedarf gibt es allerdings bei den Habilitationen. In den letzten Jahren hat sich keine Frau habilitiert. Grund hierfür ist unter anderem die unsichere Beschäftigungssituation von

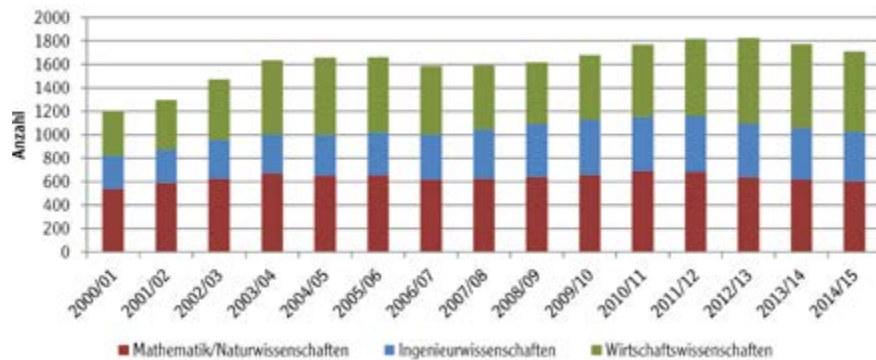


Abb. 2: Studierende Frauen an der TU Bergakademie Freiberg nach Fächergruppen

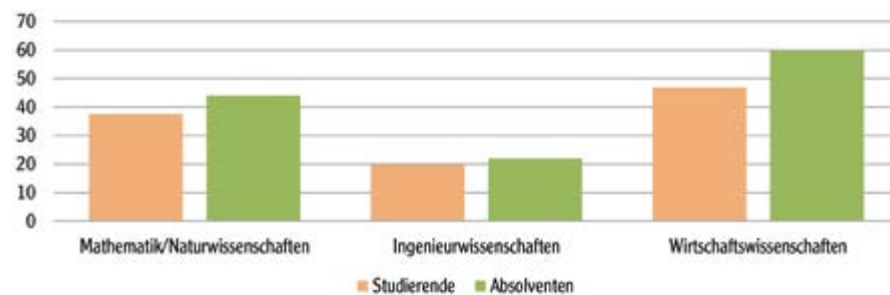


Abb. 3: Frauenanteile nach Fächergruppen 2014

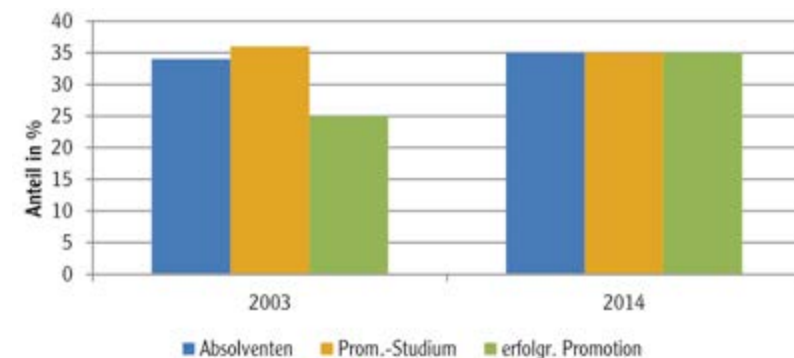


Abb. 4: Frauenanteile bei Studium und Promotion

Postdoktoranden auf praktisch nur befristeten Stellen. Um Postdoktorandinnen zu ermutigen und in ihrer Habilitationsabsicht zu unterstützen, vergibt die Rektoratskommission Gleichstellung an qualifizierte Frauen das Mary-Hegeler-Stipendium für die Vorbereitung eines Forschungsantrags oder für den Abschluss einer Habilitation. Damit soll bewirkt werden, dass auch in dieser Phase die Zielvorgabe des Kaskadenmodells erreicht wird und mehr Frauen für die Berufung auf eine Professur vorbereitet sind.

Wissenschaftlerinnen an der TU Bergakademie Freiberg

Über einen sehr langen Zeitraum hatte sich der Frauenanteil in der Professorenschaft bei 3% gehalten. Erst seit 2010/11, mit Etablierung der forschungsorientierten Gleichstellungsstandards der DFG, ist

auch an unserer Universität Bewegung in das Berufungsgeschehen gekommen. So wurden 2010 die Professur für Elektrotechnik, im Jahr 2011 die für Organische Chemie sowie die Professur für Elektronik- und Sensormaterialien und 2013 die für Metallurgie und Recycling von Hochtechnologiemetallen mit Frauen besetzt. Zum kürzlich begonnenen Wintersemester 2015/16 haben zwei weitere Professorinnen die Tätigkeit an unserer Universität aufgenommen. Der Frauenanteil an der Professorenschaft beträgt nun etwas mehr als 10%. Des Weiteren sind zwei habilitierte Frauen zu außerplanmäßigen Professorinnen (an der Fakultät für Mathematik und Informatik und an der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau) bestellt worden. Unbedingt zu erwähnen sind hier aber auch die zahlreichen hauptberuflich tätigen

Wissenschaftlerinnen, die als Laborleiterinnen oder in der Funktion der früheren Oberassistenten für die Absicherung eines effizienten Lehr- und Forschungsbetriebs an der Universität sorgen.

Der mühsame Weg der Gleichstellung

Im Zuge der Umgestaltung unserer Hochschule wurde schon im Oktober 1990 von allen an der Hochschule beschäftigten Frauen eine Gleichstellungsbeauftragte für die Bergakademie Freiberg gewählt. Damals gab es bei uns keine Ordentliche Professorin und beim wissenschaftlichen Personal betrug der Frauenanteil ganze 20%. Mit Beschlüssen des Wissenschaftsrats und auf der Grundlage von Hochschulsonderprogrammen mit Maßnahmen zur besonderen Förderung des weiblichen wissenschaftlichen Nachwuchses im Rücken gab es anfangs wohl große Hoffnungen, dass sich die Position von Frauen im Wissenschaftsbetrieb schnell ändern

könnte. Doch woher sollten die Frauen für die Besetzung von Professuren kommen, wenn beispielsweise für 24 Professuren, die in den Jahren 1997 bis 1999 zu besetzen waren, unter 462 eingegangenen Bewerbungen nur 20 solche von Frauen waren⁵? Die Berufungskommissionen waren überwiegend mit Männern besetzt, die mit ihrem eigenen Erfahrungshintergrund einen besonders strengen Blick auf die Bewerbungen von Frauen hefteten, indem sie Brüche in der wissenschaftlichen Entwicklung, beispielsweise durch eine Familienphase, schon als K.o.-Kriterium betrachteten.

Der Ausweg aus dieser Situation konnte also nur darin bestehen, die Teilhabe von Frauen in allen Fachgebieten und auf allen Qualifikationsstufen zu verbessern. Flankierende Maßnahmen aus Gesellschaft und Politik wie das „Hochschulranking

5 Internes Material Gleichstellungsbeauftragte

nach Gleichstellungsaspekten“ (seit 2003), die „Forschungsorientierten Gleichstellungsstandards der DFG“ (2008) mit der Selbstverpflichtung der Universitäten, für eine nachhaltige Gleichstellungspolitik in der Wissenschafts- und Hochschullandschaft zu sorgen, oder auch die Professorinnen-Programme haben geholfen, dass die Chancengleichheit von Frauen und Männern fast schon ein selbstverständlicher Anspruch geworden ist. Die stete Sensibilisierung für das Thema hat offenbar gewirkt.

Wenn heute in allen Berufungskommissionen Frauen mit Stimmrecht mitarbeiten, 29% der stimmberechtigten Mitglieder des Senats Frauen sind, im Hochschulrat unserer Universität Frauen zu 30% vertreten sind und in allen Rektoratskommissionen Frauen mitwirken, dann ist das ein guter Anfang. Aber bis 35% unserer Professuren mit Frauen besetzt sind, ist es noch ein langer Weg.

FAN(-Mitglied) werden!

Das Freiburger Alumni Netzwerk und seine Absolventenbetreuung

Stefanie Preißler¹, Constance Bornkamp¹

Der Artikel bietet einen Rückblick auf das Alumni-Jahr 2015 an der TU Bergakademie Freiberg. Der Fokus liegt dabei besonders auf den zahlreichen Alumni-Veranstaltungen und -Aktionen zum 250. Jubiläum der Universität. Zudem wird der aktuelle Stand des Ausbaus des Freiburger Alumni Netzwerks dargelegt.

Schlagwörter: Alumniarbeit, Jubiläumsjahr, Absolvententreffen, Bergakadememütze, Internationales Symposium / Keywords: alumni management, jubilee, graduate meeting, Bergakadememütze, international conference

Die Alumni-Arbeit im Jahr 2015 wurde und wird stark durch die Feierlichkeiten zum 250. Jubiläum der TU Bergakademie Freiberg geprägt. Zahlreiche Veranstaltungen des Freiburger Alumni Netzwerks (FAN) zeugen davon. Besonders hervorzuheben ist dabei das große Alumni-Treffen am 20. Juni 2015 zur Jubiläumsnacht der Wissenschaft und Wirtschaft. Mehr als 250 Alumni und ihre Angehörigen waren



Abb. 1: Blick auf die Bühne im unteren Innenhof zum großen Alumni-Treffen

der Einladung in den unteren Innenhof des Universitätshauptgebäudes gefolgt (Abb. 1). Erfreulicherweise hatten sich sogar ganze ehemalige Seminargruppen für das Treffen angemeldet. Das zeitweise regnerisch-kühle Wetter tat dem Interesse der Alumni keinen Abbruch. Im Gegenteil, frei nach dem Motto „Wir sind Bergakademisten und hart im Nehmen. Wir ziehen das durch!“ fanden sich ab 17 Uhr bereits die ersten Teilnehmer ein. Durch das Programm des Treffens führten die beiden Alumni-Beauftragten; musikalisch umrahmt wurde die Feierstunde durch das Gitarrentrio der Musikschule Mittelsachsen. Ein Höhepunkt des Programms



Abb. 2: Goldene Diplomverleihung „Legitimation“ durch den originalen Studentenausweis

war die Übergabe der Jubiläumsdiplome durch Prorektor Prof. Dr. Dirk C. Meyer und den VFF-Vorstandsvorsitzenden, Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht. Zur eindeutigen Identifizierung eines Jubilars wurde sogar der frühere Studentenausweis vorgelegt (Abb. 2). In ihrer Festrede berichtete Beate Böhme als Alumna der Bergakademie ganz persönlich von ihrer Zeit an der Hochschule. Zum Abschluss des Treffens sangen sich die Anwesenden stimmungsvoll mit dem Steigerlied wieder warm. Ein großes Dankeschön an alle, die am Gelingen des Abends beteiligt waren! Besonders möchten wir uns bei unserer Alumna Monika Schnabel und unserem

¹ Kontakt: TU Bergakademie Freiberg
Freiburger Alumni Netzwerk
Dipl.-Ing. Arch. Stefanie Preißler,
Dr. Constance Bornkamp
Akademiestraße 6 / 09599 Freiberg
E-Mail: alumni@zuv.tu-freiberg.de
Tel. +49 (0) 3731 39-3772, -2675
Fax +49 (0) 3731 39-2551

(c) TU Bergakademie Freiberg/Crispin-Iven-Mokry

Alumnus Peter Hauschild bedanken, die uns als treue „FANs“ aktiv als ehrenamtliche Helfer am Alumni-Infopunkt und bei den Führungen durch die historischen Räume der Bergakademie unterstützten.

Im Anschluss an das große Alumni-Treffen eröffnete der Kanzler der TU Bergakademie Freiberg die Bergakademützen-Fotoausstellung im Foyer des Universitätshauptgebäudes. Die Jubiläumskampagne „Eine Mütze geht um die Welt – 250 Jahre. 250 Boshis. 250 Bilder“ war zuvor in Zusammenarbeit des FAN mit den Verantwortlichen für Öffentlichkeitsarbeit, des Gründernetzwerks SAXEED sowie für die Veranstaltungskoordination entstanden (siehe auch Beitrag von SAXEED). Viele Besucher kamen extra, um „ihr“ Foto in der Ausstellung zu sehen. Die 250 blau-weißen Bergakademützen waren zuvor von Studierenden, Mitarbeitern und Alumni der Bergakademie selbst gehäkelt und über das FAN an Alumni in aller Welt verschickt worden. Diese sandten im Gegenzug Fotos, auf denen sie sich mit der Mütze an außergewöhnlichen, spannenden und berührenden Orten weltweit ablichteten, an ihre Alma mater Freibergensis zurück. Die Ausstellung ist nun ein beeindruckendes Zeugnis für die Vielfalt der Wirkungsstätten, an denen unsere Absolventen überall tätig und wie eng sie trotzdem immer noch mit „ihrer“ Bergakademie verbunden sind.

Um unseren internationalen Alumni an den beiden zuvor genannten Veranstaltungen eine Teilnahme zu ermöglichen, fand vom 17. bis 19. Juni 2015 ein vom DAAD gefördertes internationales Alumni-Symposium unter dem Titel „Ressourcen für die Zukunft – Zukunft der Ressourcenwirtschaft“ an der Bergakademie statt. Das Symposium war Teil des 66. Berg- und Hüttenmännischen Tages (BHT/Freiburger Forschungsforum). Dadurch konnten die Teilnehmer auch das Weiterbildungsangebot in Form der BHT-Kolloquien nutzen, mit anderen deutschen und internationalen Fachleuten ins Gespräch kommen und Kontakte mit Wissenschaftlern der Bergakademie anbahnen oder vertiefen. Insgesamt zwölf Alumni aus zehn Ländern, darunter Alumni-Botschafter aus dem Iran, Brasilien, Österreich, Mosambik, Indien und Indonesien, waren der Einladung nach Freiberg gefolgt. Zudem nahmen auch andere BHT-Besucher an dem Alumni-Symposium teil, das gut besucht war. Die internationalen Alumni trugen maßgeblich zur fachlichen Bereicherung der Veranstaltung bei: Sie vermittelten

Einblicke in die Energie- und Umweltsituation sowie die Forschungsschwerpunkte in ihren Heimatländern. Den Abschluss bildete eine Exkursion durch Freiberg zum Thema „Alternative Energien am Beispiel der Nutzung geothermischer Wärmepumpen in historischen Gebäuden und das Prinzip des energieautarken Wohnens“.

Neben den zentralen Alumni-Veranstaltungen gab es 2015 auch zahlreiche Absolventen-Aktivitäten in den Fakultäten und Instituten. Anfang Mai feierte das Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik sein 65-jähriges Bestehen, im Juni trafen sich die Tiefbohrer im Tivoli, und das Institut für Elektronik- und Sensormaterialien veranstaltete einen Brunch.

Ende September lud dann die Fakultät für Mathematik und Informatik zu einem zentralen Absolvententreffen ein. Das FAN-Team unterstützte des Weiteren in diesem Jahr die Durchführung von rund 20 Absolvententreffen – zumeist Seminargruppen – mit insgesamt fast 500 Teilnehmern.

Getragen von diesen Events, hat sich das FAN weiterhin positiv entwickelt. Das FAN-Team besteht im Kern aus den zwei Alumni-Beauftragten. 2014 fand ein großes Fachnetzwerktreffen statt, bei dem sich alle zentralen und dezentralen Alumni-Verantwortlichen der Universität konzeptionell austauschten und abstimmten.

Die Zahl der Registrierungen in der FAN-Datenbank stieg stetig; ebenso

verhält es sich in den Social Media, wie XING, Facebook oder LinkedIn. Auch auf nicht rein akademischen Veranstaltungen der Bergakademie war das FAN i.d.R. präsent, um dessen Bekanntheitsgrad innerhalb der Universität zu erhöhen (Tag der offenen Tür, Karrieremesse ORTE, Studententage). Der Alumni-Newsletter TUBALUM erscheint wie gewohnt zweimal im Jahr in deutscher und englischer Sprache. Die Alumni-Veranstaltungsreihen „Report vor Ort – Alumni berichten aus der Praxis“ in Kooperation mit dem Career Center und die „ALUMNIght“ sind gut besucht und werden fortgesetzt (Abb. 3). Um neue Mitglieder für den VFF und das FAN zu werben, wurde weiteres Informationsmaterial, u. a. in Englisch, erstellt. Die FAN-Homepage präsentiert sich nun modernisiert, übersichtlicher und an das Corporate-Design der TU Bergakademie Freiberg angepasst. Eine englische Version ist in Bearbeitung. Das Absolventenjahrbuch als identitätsstiftendes Medium für die Alumni erschien seit einigen Jahren erstmals wieder in gedruckter Form und ist – das ist neu – auch online abrufbar.

Kurzum ist rückblickend festzustellen, dass die Alumni-Arbeit für die TU Bergakademie Freiberg auf einem sehr guten Weg ist und sich mittlerweile qualitativ und quantitativ mit der an anderen deutschen Universitäten messen kann. Dies ist ein Resultat der personellen Kontinuität in der Alumni-Arbeit, an der unbedingt festzuhalten ist.



Abb. 3: ALUMNIght im Dezember 2014 im Hochspannungsversuchslabor in der Lessingstraße 45



Erster Bauabschnitt des Schloßplatzquartiers feierlich übergeben

Am 9. Oktober hat der Sächsische Finanzminister, Prof. Dr. Georg Unland, gemeinsam mit Vertretern des Wissenschaftsministeriums den ersten Teil des sanierten Schloßplatzquartiers an die TU Bergakademie Freiberg übergeben. Mit diesem ersten Bauabschnitt ist ein weiterer Eckpfeiler des Wissenschaftskorridors zwischen der Altstadt und dem Campus fertiggestellt. In die drei sanierten Gebäude Schloßplatz 1, Schloßplatz 1a und Prüferstraße 2 sind die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, das Internationale Universitätszentrum und das neue Studien-Informationszentrum, kurz SIZ (*siehe unten*), eingezogen. Im Zuge der Umbaumaßnahmen konnte auch ein Teil der historischen Bausubstanz, wie die Fassade am Gebäude Schloßplatz 1a oder ein alter Tresor in den Räumen am Schloßplatz 1, erhalten werden. Auf insgesamt rund 2.600 Quadratmetern Hauptnutzfläche bieten sich den Mitarbeitern und Studenten nun beste Arbeitsbedingungen. Den Bauarbeiten waren umfangreiche Grabungen des Landesamtes für Archäologie vorausgegangen. Denn die neuen Universitätsgebäude stehen auf geschichtsträchtigem Boden: Früher befand sich an dieser Stelle das Dominikanerkloster St. Pauli. In Verbindung mit dem bestehenden, historischen Ensemble entsteht im Schloßplatzquartier auch ein neuer Hörsaal.

Studien-Info-Zentrum SIZ

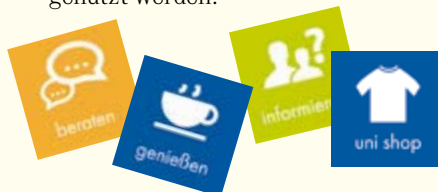
Wissensdurst stillen heißt es seit dem 9. Oktober im Studien-Info-Zentrum SIZ, der neuen zentralen Serviceeinrichtung der TU Bergakademie Freiberg mit Infotheke, einem Beratungs- und einem Konferenzbereich und einem Café. Das SIZ ist erste Anlaufstelle für die Anliegen von Schülern, Studieninteressenten, Bewerbern, Studienanfängern und Studierenden aus dem In- und Ausland, für ausländische Gäste und Gastwissenschaftler, Freiburger und Gäste der Universitätsstadt.

→ **INFORMATIONSZENTRUM:** Besucher erhalten hier Erstinformationen, Beratungs- und Serviceangebote zum Studium, zu Studiengängen, zu Auslandssemestern und -praktika, zur Vorbereitung auf den Berufseinstieg oder eine wissenschaftliche Laufbahn. Sollte ein Anliegen nicht sofort geklärt werden können, dann wird der „richtige Kontakt“ hergestellt.

→ **UNI-SHOP:** Neben dem Uni-Shop in der terra mineralia können auch im SIZ Produkte aus dem Uni-Merchandising erworben werden.

→ **CAFÉ:** Das Café ist offen für jedermann und bietet Kaffeespezialitäten, kühles Bier, Manufakturlimonade und leckere Snacks an.

→ **VERANSTALTUNGSZENTRUM:** Zukünftig wird es im SIZ auch Vorträge, Lesungen, Livemusik und inspirierende Gespräche in Wohlfühlatmosphäre geben. Für Veranstaltungen steht ein modern ausgestatteter Konferenzraum zur Verfügung. Er kann von allen Bereichen der Universität für Veranstaltungen und Vorträge genutzt werden.



SIZ-Teamleiter David Kleist am Studien-Infostand mit Dr. Sabine Schellbach von der Abt. Öffentlichkeitsarbeit



© TU Bergakademie Freiberg/DeTeV Müller

Aktivitäten zum 250. Gründungsjubiläum der TU Bergakademie Freiberg

Vorwort

Seit Dezember 2014 und bis zum heutigen Tag wurde und wird in der anlässlich des 250. Gründungsjubiläums der TU Bergakademie Freiberg angelaufenen Festperiode mit vielfältigen Festveranstaltungen, Ausstellungen, Publikationen, Studententagen sowie wissenschaftlichen Fachtagungen an ein Vierteljahrtausend Freiburger Wissenschaftsgeschichte erinnert.

Liebe Leser der ACAMONTA, auf den nachfolgenden Seiten lassen wir diese Veranstaltungen noch einmal – in Gänze teilweise auch zum ersten Mal – Revue passieren.

Wir bitten zu bedenken: Zum Erscheinungsdatum dieser Ausgabe befinden wir uns noch nicht im Finale des Jubiläumsjahrs, so dass wir nicht über noch ausstehende Höhepunkte der Festperiode berichten können. Trotzdem hoffen wir, Ihnen, liebe Leser, hiermit einen umfassenden Eindruck von den Jubiläumsfeierlichkeiten

zu vermitteln. Über Veranstaltungen, die nach dem Redaktionsschluss der ACAMONTA stattfinden – wie zum Beispiel über den großen Festakt am 21. November 2015 in Anwesenheit des Bundespräsidenten sowie von einem diesem Anlass gewidmeten Aufzug der größten Bergparade der Region sowie über die Geburtstagsfeier in der Neuen Mensa – informieren wir Sie mit dem Einleger in diesem Heft oder zu gegebener Zeit auf der Website der Bergakademie bzw. auch in der regionalen Presse. Wir laden Sie ein, auch weiterhin die Jubiläums-Homepage unter 250.tu-freiberg.de zu besuchen.

Mit einem herzlichen Glückauf
Prof. Dr. Jürgen Bast
Beauftragter des Rektorats
für das Jubiläum
Dipl.-Volksw. Claudia Baldauf
Jubiläumskordinatorin

Festveranstaltungen,
 Ausstellungen,
 Publikationen

9. Dezember 2014 Jubiläumsmedaille erschienen

Anlässlich des Jubiläums wurde eine Silbermedaille (Durchmesser 60 mm, Gewicht: ca. 88 g) herausgegeben. Die streng auf 250 Stück limitierte Medaille ist in der terra mineralia erhältlich.



© TU Bergakademie Freiberg/Mario Köhler

6. März 2015

Einweihung des Historicums

Mit der Einweihung des Historicums ist offiziell das 250. Jubiläumsjahr der unserer Bergakademie eingeläutet worden. Das Historicum präsentiert mit zahlreichen Exponaten, Bildern und Zeitdokumenten auf einzigartige, anschauliche Weise die 250-jährige Geschichte der ältesten technischen Hochschule im deutschsprachigen Raum (s. *Beitrag N. Pohl S., ab S. 119*).

9. März – 30. April 2015

Ausstellung

„Wissenschaftlerinnen und Studentinnen an der Bergakademie“

Der Geschichte des Frauenstudiums an der TU Bergakademie Freiberg – von der ersten eingeschriebenen Studentin bis heute – widmete sich die Ausstellung „Studentinnen und Wissenschaftlerinnen der (TU) Bergakademie Freiberg“, (s. *Pressemittteilung und Rede J. Pinka, ab S. 120*).

2. April – 30. August 2015

Sonderausstellung

„Fliegende Juwelen II“

Eine der schönsten Sonderausstellungen kehrte zurück in die terra mineralia: Die „Fliegenden Juwelen II“. Die Besucher erwarteten neue, farbenfrohe Exponate aus dem Reich der Insekten und der Minerale, die sich zu 150 Paaren zusammengefunden haben: Jeweils ein Mineral korrespondiert mit einem Insekt. Sie ähneln auf frappierende Weise einander in Farbe, Form, Muster, Zeichnung und Schattierung.



Labradorit und Morphofalter in der Ausstellung „Fliegende Juwelen II“

14. April und 20. Mai 2015

Bergakademische Studententage

In diesem Jahr wurden die Studententage, getrennt in einen Sport- und in einen Kulturteil veranstaltet. Der „Sporttag“, als erster Teil der Studententage, fand bei bestem Wetter im Glückauf-Stadion und in der Rüleין-von-Calw-Sporthalle statt. Ganz im Zeichen des Fairplays war dieses sportliche Großereignis mit spannenden Wettkämpfen bei kostenloser Verpflegung ein voller Erfolg. Außer dem traditionellen Campuslauf wurden Turniere in den Sportarten Volleyball, Fußball, Basketball und Frisbee ausgetragen. Am 20. Mai eröffneten Vertreter der Studentenschaft das alljährliche Sommerfest auf dem Messeplatz. Zahlreiche Attraktionen sowie ein Bühnenprogramm und clevere Standkonzepte fanden bis in den Abend hinein Anklang bei den Besuchern. Arbeitsgemeinschaften und Initiativen hatten Spiele und Aktionen organisiert, bei denen man gut ins Gespräch kam. Auch der Studentenrat war dieses Mal durch seine Mitmachaktion „Schlag den StuRa“ mittendrin im Geschehen. Erfolgreich verlief der Tag auch für die deutsche Knochenmarkspenderdatei, da sich über 60 Studierende typisieren ließen.



Volleyball-Turnier in der Rüleין-von-Calw-Sporthalle © Meira Hamburg

25. April und 4. Juli 2015

Konzerte des Collegium Musicum

Die „Freiberg-Sinfonie“ als Geburtstagsgeschenk und Open Air bei den Freiburger Sommernächten: Das Collegium Musicum gratulierte der Bergakademie mit einer Auftragskomposition zu ihrem 250. Geburtstag. Zum Festkonzert in der Nikolaikirche präsentierte das Sinfonieorchester die „Freiberg-Sinfonie“ von Sebastian Paul Rehnert erstmals der Öffentlichkeit. Das Werk ist eine Hommage an die Bergstadt und ihre heimliche Hymne, das Steigerlied. Zahlreiche

Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Politik und Gesellschaft erlebten eine gelungene Uraufführung, die auf große Begeisterung und Anerkennung stieß. Am 4. Juli trat das Collegium Musicum zudem erstmals auch bei den Freiburger Sommernächten im Schlosshof auf.

5. Juni 2015

Handball-Freundschaftsspiel SC DHfK Leipzig – HSG Freiberg

In der Ernst-Grube-Halle begrüßten über 500 Zuschauer den Erstligisten aus Leipzig. Die Ehrengäste der Bergakademie – der Rektor, Prof. Dr. Barbknecht, die Prorektorin für Bildung, Prof. Dr. Rogler, und der Kanzler, Dr. Handschuh, – ließen es sich nicht nehmen, die Gäste persönlich willkommen zu heißen. Die Partie endete mit dem Sieg der Leipziger bei einem Spielstand von 45:22.

5. Juni 2015 Neues Liederbuch

Pünktlich zum 250-jährigen Bestehen der TU Bergakademie Freiberg wurde der erweiterte Liederkanon der Bergakademie neu herausgegeben, ergänzt um den TU-Song „Wir sind die Bergakademie“ (Text und Musik: M. Reich).

20. Juni 2015 Jubiläumsnacht der Wissenschaft und Wirtschaft

Sechs Wissenschaftsmielen, 100 Pavillons Wissenschaft zum Erleben, Experimente zum Mitmachen und die Premiere des TU-Musikvideos bestimmten das Bild der Freiburger Altstadt in jener Nacht. Partner der Jubiläumsnacht waren die Stadt Freiberg, die regionale Wirtschaft mit über 20 Firmen und Unternehmen aus dem DBI-Industriegebiet Halsbrücker Straße sowie das Geschwister-Scholl-Gymnasium. Auf eine Entdeckungstour in die faszinierende Welt der Wissenschaft luden Wissenschaftler, Studierende und Mitarbeiter der Bergakademie große und kleine Besucher aus Freiberg und ganz Sachsen ab 18 Uhr in das Stadtzentrum zwischen Schloßplatz und Schlosshof, Burgstraße, Prüferstraße und Brennhausgasse ein. Auf vier Bühnen kamen neben Vorträgen und Experimentalvorlesungen auch Musik und Unterhaltung nicht zu kurz. Zudem wurde an diesem Abend der vom Leiter der Kustodie, Dr. Jörg Zaun, herausgegebene Bildband „Bergakademische Schätze“ zu den Sammlungen der Bergakademie erstmalig vorgestellt.



© TU Bergakademie Freiberg/Crispin-Iven Mokry

Multimedia-Show auf dem Schloßplatz zur Jubiläumsnacht der Wissenschaft und Wirtschaft

15./16. Juli 2015 **Otto Night**

Zur Otto Night verlieh die Bergakademie Freiberg zum 16. Mal die beliebten Otto Awards für die besten studentischen Kurzfilme in elf Kategorien. Rund 380 Studenten und Interessierte schauten sich in der Alten Mensa die Premieren der Filme und die anschließende Preisverleihung an, wobei die Bandbreite der Themen und Filmgenres von Gesellschaftskritik bis Comedy reichte. Ins Leben gerufen hat den Wettbewerb Prof. Dr. Michael Hinner von der Professur für Englische Fachsprache.

22. Juli 2015 **Heißluftballon zum Jubiläum auf Jungfernfahrt**

Seit Dezember 2014 verfügt die Bergakademie über einen eigenen, dem Jubiläum gewidmeten Heißluftballon. Er soll durch ein Dresdner Ballonfahrtunternehmen bis zum Jahr 2019 für Fahrten über sächsische Städte eingesetzt werden. Hunderte Meter über der Universitätsstadt war am 22. Juli das Logo der TU Bergakademie Freiberg zu sehen: Von der Wiese vor dem Clemens-Winkler-Bau erhob sich der Jubiläumsballon zum ersten Mal in die Lüfte. Seine Freiburger Jungfernfahrt führte ihn über Freiberg hinaus bis nach Naundorf. Zu Passagieren einer Freifahrt wählten die Fachschaftsrate Studierende, deren besonderes Engagement und herausragende Erfolge damit gewürdigt wurden.



© TU Bergakademie Freiberg

Alle Gewinner der Otto Night auf der Bühne

16. September – 21. November 2015 **Sonderausstellung „Das Gedächtnis des zukünftigen Materials“**

Die Bergakademie hat in ihrer 250-jährigen Geschichte einen umfangreichen, Forschung und Lehre dienenden Sammlungsfundus zusammengetragen. Das Kuratorenteam, bestehend aus Elly Brose-Eiermann, Jörg Goedecke und Dr. Jörg Zaun, hatte fünf Künstler eingeladen – mit der Bitte, diese Sammlungsobjekte als Anregung – als „Ressource“ – zu nutzen und sich mit eigenen Arbeiten auf diese Objekte zu beziehen. Die Früchte dieser „künstlerischen Forschung“ sollen kommunikativ sowohl zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit als auch in die Wissenschaft zurückwirken.

8. Oktober 2015 **250 Jahre TU Bergakademie Freiberg und 500 Jahre Geschwister-Scholl-Gymnasium Freiberg**

Anlässlich des 500-jährigen Schul- und des 250-jährigen Universitätsjubiläums veranstalteten beide Einrichtungen am 8. Oktober auf dem Campus der Universität einen Projekttag. Ca. 1000 Schüler besuchten an diesem Tag in Begleitung ihrer Lehrer interessante gestaltete Vorträge sowie Vorlesungen und nahmen an Führungen und Besichtigungen teil.



© TU Bergakademie Freiberg/Deiv Müller

Der Jubiläumsheißluftballon

Weitere Termine im Jubiläumsjahr

- **23. Oktober 2015 – 5. Februar 2016:** Wanderausstellung „Industriearchitektur in Sachsen. erhalten – erleben – erinnern“
- **20. November 2015:** Konzertante Aufführung der Oper „Das Waldmädchen“
- **21. November 2015 – 28. Februar: 2016:** Sonderausstellung „Der Bergbau und das Weiße Gold – die Porzellansammlung Mittelschule aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum“
- **21. November 2015:** Festakt anlässlich der Gründung der Bergakademie Freiberg mit großer Bergparade und Geburtstagsfeier für Mitarbeiter, Studierende und Freunde der Bergakademie
- **25. November 2015:** Präsentation der Sonderbriefmarke anlässlich des 250-Jahre-Jubiläums
- **27. November 2015:** Jahresversammlung der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg mit anschließender Barbarafeier
- **16. Dezember 2015:** Hochschuladventskonzert des Collegium Musicum im Audimax
- **3. Mai 2016:** Abschluss des Jubiläumsjahres

Fachtagungen

5.–6. März 2015	Symposium für Aufbereitungstechnik	Das Symposium fand am Institut für Aufbereitungsmaschinen der TU Bergakademie Freiberg statt. Diese wissenschaftliche Fachtagung wird seit 2006 alljährlich in der Bergstadt veranstaltet. Wiederum trafen sich Repräsentanten aus Industrie und Forschung an der Ressourcenuniversität, um sich über Ergebnisse zum neuesten Stand der Rohstoffaufbereitung und des Wertstoffrecyclings sowie über technische Neuerungen auszutauschen.
17.–18. März 2015	14. Baustoffkolloquium: Über Asphalt, Beton und Mörtel	Das 14. Baustoffkolloquium zog Anfang März 150 Teilnehmer in die Bergstadt. In den Vorträgen und Diskussionen ging es u.a. um aktuelle Herausforderungen der Baustoffkunde. Ein Höhepunkt war die Verleihung des Förderpreises der Stiftung „Steine – Erden – Bergbau und Umwelt“.
25.–26. März 2015	5. Symposium „Freiberger Innovationen“	Antworten auf die Frage, wie Forschung und Wirtschaft die kurz- und langfristigen Herausforderungen der Energie- und Rohstoffwende meistern können, diskutierten international renommierte Rohstoff-Experten.
25.–27. März 2015	MEFORM	Unter dem Titel „Leichtmetalle – Umformtechnologien und Weiterverarbeitung“ veranstaltete das Institut für Metallformung die MEFORM-Tagung zu Entwicklungen von Werkstofftechnologien für die Leichtmetalle Aluminium, Magnesium und Titan sowie deren Legierungen.
7.–11. April 2015	Tagung zu Geologie und Bergbau in Sachsen	Über 130 Wissenschaftler aus ganz Deutschland tauschten im Rahmen der 136. Tagung des Oberrheinischen Geologischen Vereins bei Vorträgen, Exkursionen und Führungen zum Thema „Geologie und Bergbau in Sachsen“ aktuelle Erkenntnisse aus. Das umfangreiche Programm mit zehn Vorträgen hiesiger Fachleute, elf Exkursionen sowie zwei Spezialführungen spannte einen weiten erdgeschichtlichen Bogen und führte die Teilnehmer u.a. in den Tagebau Jämschwalde/Niederlausitz, aber auch ins Freiberger Revier zur „Reichen Zeche“ und zur „Alten Elisabeth“.
7.–8. Mai 2015	16. Geokinematischer Tag	Die durch das Institut für Markscheidewesen und Geodäsie jährlich veranstaltete technische Tagung war diesmal dem 250-jährigen Jubiläum der Etablierung der Markscheidkunde an der Bergakademie Freiberg gewidmet.
14.–17. Mai 2015	Geophysikalisches Aktionsprogramm	Im Mai fand in Freiberg das Geophysikalische Aktionsprogramm (GAP) statt, bei dem sich über 160 Studierende dieser Fachsparte aus allen Erdteilen zusammenfanden, um über Studium und Beruf zu diskutieren.
5.–7. Juni 2015	Symposium „Berg- und verbindungsstudentische Traditionen in Freiberg“	Das Gründungsjubiläum der Bergakademie bot Anlass, auch auf die Entwicklung des studentischen Lebens und studentischer Traditionen zurückzublicken. In gemeinsamer Initiative wurde dazu von den vier aktuell in Freiberg aktiven Studentenverbindungen – dem Berg- und Hüttenmännischen Verein, dem Corps Saxo-Borussia, dem Verein deutscher Studenten Freiberg und der Akademischen Sportverbindung „Alte Elisabeth“ – ein Symposium organisiert.
11.–12. Juni 2015	2. Internationale Freiberger Tagung zu Energiespeichermaterialien (ESTORM)	Neue Materialien für zukünftige Energiespeicherkonzepte bildeten den Schwerpunkt bei ESTORM 2015. Dabei kamen erneut Vertreter aus Industrie und Forschung zusammen, um gemeinsam Fragen rund um Wirkprinzipien neuartiger elektrochemischer Energiespeicher zu diskutieren.
17.–19. Juni 2015	66. Berg- und Hüttenmännischer Tag	Unter dem Leitthema „Innovative Ressourcen-Technologien“ fanden insgesamt 13 Fach-Symposien mit insgesamt rund 800 Teilnehmern aus über 24 Ländern im Rahmen der jährlichen Freiberger Forschungskonferenz der TU Bergakademie Freiberg statt. Die diversen Symposien widmeten sich Themenbereichen wie Bio-Hydrometallurgie, Rohstoffchemie, Chemie des Siliziums sowie dem Thema „Wasser und Bergbau“. Auch Fragen der Technologien wurden behandelt; dazu gab es Symposien zu den Fachdisziplinen Geotechnik, Bohrlochintegrität sowie Maschinen und Verfahren für den Bergbau und den Spezialtiefbau. Auf dem Programm standen außerdem Robotik und Automation im Bergbau und innovative Ortungsverfahren unter Tage. Ein weiteres Fachkolloquium thematisierte unter dem Titel „Ressourcen und Verhalten“ das Spannungsfeld zwischen neuen, effizienten und nachhaltigen Technologien und der ihnen durch die Bevölkerung nicht von vornherein entgegengebrachten Akzeptanz.
21.–26. Juni 2015	26. Tagung der Societät der Bergbaukunde	Der Fokus dieser Tagung lag auf dem Problemfeld der Ausbildung in bergbaurelevanten Berufen und auf dem der Zukunft des Bergbaus. So ging es in den Vorträgen u. a. um den Status des Bergbaus in Deutschland sowie um neue Entwicklungen in allen Teilen der Erde.
23.–26. Juni 2015	24. Weltbergbaukongress in Vorbereitung	Auf Einladung der TU Bergakademie traf sich das Internationale Organisationskomitee (IOC) des Weltbergbaukongresses 2016. Dieser Kongress hat eine lange Tradition: Der erste fand 1958 in Warschau auf Initiative polnischer Wissenschaftler statt.
5.–13. September 2015	17. Jahrestagung der International Association for Mathematical Geosciences	Rund 300 Teilnehmer aus Europa, China, Indien, Neuseeland, Australien, Kanada, den USA und Südamerika – darunter Geoinformatiker, Geologen und Mathematiker aus allen Erdteilen – verständigten sich in fünf parallel stattfindenden Sitzungen über die Anwendung und die Erweiterung der praktische Nutzung von mathematischen Modellen und von numerischen Methoden, insbesondere geologischen 3D-Visualisierungen.
17.–18. September 2015	7. Jahrestagung der Gesellschaft für Universitätssammlungen	Die Tagung fand unter dem Titel „Zwischen Kellerdepot und Forschungsolymp“ in Freiberg und Dresden statt. Erstmals trafen sich Vertreter universitärer Sammlungen zweier technischer Universitäten, um über aktuelle Fragen der Bewahrung und Nutzung von naturwissenschaftlichen und technischen Sammlungen zu beraten.
24.–25. September 2015	6. Freiberger Crashworkshop	Der 6. Freiberger Crashworkshop führte Vertreter aus der Automobil- und der Zulieferindustrie sowie der Wissenschaft zusammen und bot eine interessante Mischung aus Vorträgen seitens von Vertretern der Industrie und der Forschung sowie Präsentationen von studentischen Arbeiten. Dabei waren sowohl anwendungsrelevante Crashfragestellungen im Fokus als auch Grundlagenfragen der Werkstoffentwicklung und -charakterisierung sowie der Modellierung von Crashstrukturen.
24.–25. September 2015	Internationales Symposium „Recent Trends in Fracture and Damage Mechanics“	Mit einem internationalen Symposium zur Bruchmechanik ehrte das Institut für Mechanik und Fluidodynamik der TU Bergakademie Freiberg Prof. Meinhard Kuna für seine Verdienste in Freiberg und verabschiedete ihn offiziell in den „aktiven Ruhestand“.
7.–10. Oktober 2015	Tagung Energie und Rohstoffe / 7. Bergbaukolloquium	Die Veranstaltung ist eine Verbindung der 4. Tagung für Energie und Rohstoffe und des 7. Bergbaukolloquiums und wurde von rund 220 Experten aus den Bereichen Energie, Bergbau, Geowissenschaften, Geotechnik, Markscheidewesen sowie Berg- und Energierecht besucht, die über aktuelle technische und geowissenschaftliche Aspekte der Energie- und Rohstoffversorgung diskutierten.

Weitere Termine im Jubiläumsjahr (nach Redaktionsschluss): 22. Oktober 2015: 39. Clemens-Winkler-Kolloquium; 29.–30. Oktober 2015: 25. Ledebur-Kolloquium; 11.–12. November 2015: 20. Tagung „Aufbereitung und Recycling“; 28.–29. November 2015: Rundgespräch Strömungsmechanik 2015.

Tagungsimpressionen



© Andreas Peukert

Blick in das Auditorium beim Symposium für Aufbereitungstechnik



© TU Bergakademie Freiberg

Dr.-Ing. Karl-Heinz Löbel hält den Vortrag zu 250 Jahre Markscheidekunde



© TU Bergakademie Freiberg

Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft diskutierten zum 5. Symposium „Freiberger Innovationen“ in der Alten Mensa



© Corinna Keppel

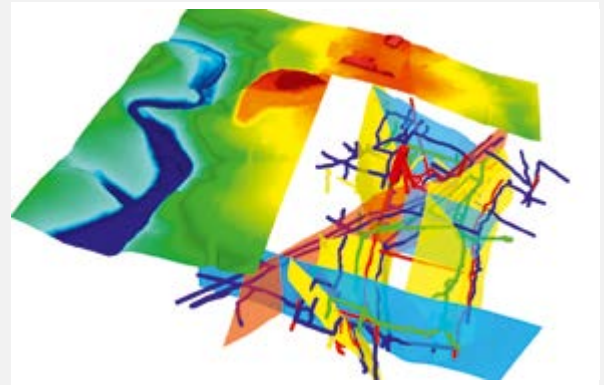
Die Teilnehmer des Geophysikalischen Aktionsprogramms



© TU Bergakademie Freiberg

Prof. Dr. Carsten Drebenstedt bei seinem Eröffnungsvortrag für das 14. Baustoffkolloquium

17. Jahrestagung der International Association for Mathematical Geosciences: 3D-Modellierung der Reichen Zeche



© TU Bergakademie Freiberg

Teilnehmer des Internationalen Organisationskomitees (IOC) des Weltbergbaukongresses 2016



© TU Bergakademie Freiberg/Deitlev Müller

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2014

Begrüßung

Der stellvertretende Vorsitzende und Geschäftsführer des Vereins, Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar, begrüßte die Versammlungsteilnehmer und dankte für das zahlreiche Erscheinen. Im Gedenken an die verstorbenen Vereinsmitglieder erhoben sich die Anwesenden zu einer Schweigeminute.

Jahresbericht des Vorstands

Der Tätigkeitsbericht des Vorstands wurde von Prof. Kretzschmar vorgetragen. Die Mitgliederzahl des Vereins beläuft sich auf 1146 persönliche und 99 juristische Mitglieder (Stand: 24.11.2014). Es wurden 82 neue persönliche Mitglieder aufgenommen, und es gab 18 persönliche Austritte, 7 Austritte juristischer Mitglieder, 8 Streichungen und 13 Sterbefälle.

Die Einnahmen des Vereins liegen mit Stand vom November 2014 bei 153.200 €. Die Ausgaben belaufen sich derzeit (24.11.14) auf 126.337 € (Plan 162.250 €). Für das Jahr 2015 ist im Etatentwurf eine Beibehaltung der Ausgaben vorgesehen. Somit werden die Einnahmen und Ausgaben mit je 161.250 € geplant. Des Weiteren ist für die vorgesehene 250-Jahrfeier der TU Bergakademie im Jahr 2015 ein Betrag von 40.000 € aus dem Aufkommen des VFF eingestellt.

Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren wie in den vergangenen Jahren Exkursionen, Stipendien, Tagungen und Kolloquien sowie Publikationen und Diplom- und Masterarbeiten. Speziell wurden die Mittel für die Studienförderung in der geplanten Summe von 25.000 € abgerufen. Der Verein unterstützte die Vergaben des von-Oppel-Preises, des Weisbach-Preises sowie der sechs Agricola-Preise in den Veranstaltungen zur Immatrikulationsfeier im Oktober und zur Absolventenverabschiedung im November.

Des Weiteren wurde über die auflagenfrei ausgegangene Finanzprüfung durch den bestellten Wirtschafts- und Steuerprüfer im Oktober 2014 informiert. Prof. Kretzschmar würdigte besonders die Arbeit von Prof. Roewer und des Redaktionsteams für die wiederum hervorragende Ausgabe der Zeitschrift „ACAMONTA“ zur

Vorbereitung des Jubiläumsjahres 2015. Der Geschäftsführer stellte das Präsent des Vereins an die Universität zum Jubiläum „250 Jahre Bergakademie Freiberg“ im Jahr 2015 vor. Es handelt sich dabei um eine 2 m hohe stilisierte Figur der Heiligen Barbara, für die ein Aufstellplatz im Foyer des Hauptgebäudes vorbereitet ist. Prof. Kretzschmar informierte auch über den „Freiberger Gelehrtenweg“, der in Zusammenarbeit mit der Stadtmarketing-Gesellschaft bereits häufig als Wegweiser einer einstündigen Führung für Touristen und Absolventen nachgefragt wird. Er berichtete außerdem über die erfolgreichen Gesprächsabende des Vereins für Studenten unter dem Motto „Alte Hasen diskutieren mit jungen Füchsen“. Aktuell erwähnenswert ist die kürzlich stattgefunden Veranstaltung zum Thema „Energiewende – Marktgerecht? Systemdurchdacht? Pro und Contra“, die etwa 60 Teilnehmer anlockte.

Den Bericht des Rechnungsprüfers trug Herr Knull vor. Die Finanzprüfung wurde durch den Wirtschaftsprüfer im November 2014 vorgenommen. Die Rechnungsprüfung ergab entsprechend den Grundsätzen für das Jahr 2013 keine Beanstandungen. Der Rechnungsprüfer empfahl die Entlastung des Vorstands.

Diskussion zum Jahresbericht und Entlastung des Vorstands zum Etat 2013, Beschluss des Etats 2015

Der Jahresbericht 2013 und der Etatentwurf für das Geschäftsjahr 2015 wurden auf Antrag des Schatzmeisters des Vereins ohne Diskussionsmeldungen mit einer Stimmenthaltung verabschiedet. Dem Antrag der Geschäftsführung auf Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2013 wurde einstimmig zugestimmt.

Auszeichnungen und Ehrungen

Zur Auszeichnung mit dem Cotta-Preis wurden fünf Masterarbeiten und zwei Dissertationen vorgeschlagen. Die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise erhielten in der

- Kategorie I, Dissertationen: Dr.-Ing. David Ehinger, Fakultät 5, „Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhalten zellulärer TRIP-Stahl- und TRIP-Matrix-Composite-Strukturen in Abhängigkeit von Beanspruchung, Temperatur und Geschwindigkeit“.
- Kategorie II, Diplom- und Masterarbeiten: Catleen Conrad, Fakultät 2, „Purification and characterization of two

recombinant dye-decolorizing peroxidases DypA and DypB from *Rhodococcus opacus* 1 CP“, Ann Helen Klingner, Fakultät 6, „Die Entwicklung des Industriekomplexes Kauffahrt in Chemnitz als Standort der Automobilgeschichte“.

Die Preisträger stellten in kurzen, interessanten Vorträgen die Ergebnisse ihrer Arbeiten vor. Es wurde wiederum eine Ehrung für „50 Jahre Promotion“ durch den VFF vorgenommen. Geehrt wurden: Dr. Karl-Heinz Gärtner, Dr. Dietmar Harzt, Prof. Christian Oelsner, Dr. Herbert Pffor, Prof. Norbert Piatkowiak und Prof. Christian Wegerdt.

Satzungsänderung

Dem VFF ist vom verstorbenen Herrn Günter Heinisch in Hof ein testamentarisches Erbe von ca. 1,5 Mio. € mit der Auflage zugefallen, dieses für die Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg zu verwenden. Dieser Auflage nachkommend, ist der VFF in die Gründungsphase der „Heinisch-Stiftung“ eingetreten. Der VFF kann jedoch nach dem Vereinsrecht diese Stiftung nur dann gründen, wenn diese Option in seiner Satzung verankert ist, was bisher nicht gegeben war. Deshalb wurde die Mitgliederversammlung um Beschlüsse zur Satzungsänderung gebeten, die jedem Mitglied zugeschickt worden waren. Dazu wurden von den 223 anwesenden Mitgliedern folgende Beschlüsse in offener Abstimmung gefasst:

- Die Satzung wird, wie schriftlich vorgeschlagen, für die Stiftungsgründung geändert: 222 Ja-Stimmen, 1 Nein-Stimme
- Die geänderte Satzung (§§ 2, 3, 6) wird angenommen: 218 Ja-Stimmen, 4 Enthaltungen, 1 Nein-Stimme

Damit ist die am 28. November 2014 geänderte Satzung von der Mitgliederversammlung angenommen worden und wird für die notarielle Registrierung vorbereitet. Der Vorstand des VFF hatte in seiner vorangegangenen Sitzung die geänderte Satzung einstimmig gebilligt.

Vortrag des Rektors

In Vorbereitung des 250. Jubiläumsjahres 2015 (Ressourcenuniversität seit 1765) der TU Bergakademie Freiberg wurde der traditionelle Informationsvortrag des Rektors mit dem Festvortrag „Jubiläum 250“ zusammengelegt. In seinem facettenreichen, umfassenden Vortrag ging der Rektor auf Geschichte, Gegenwart und Zukunft der TU Bergakademie

ein und stellte den Inhalt seines Vortrags mit den Worten dar, die in der Zeitschrift ACAMONTA 2014 in seinen Beiträgen von S. 4 bis 8 nachzulesen sind. Per saldo: Die TU Bergakademie Freiberg ist so gut verfasst, dass sie die kommenden 250 Jahre mit Optimismus angehen kann.

Abendliche Barbarafeier

Die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung feierten im Festsaal der Alten Mensa bei frohen Begegnungs- und Gesprächsrunden das Fest der Heiligen Barbara. Die Verleihung des „Ehrenarschleders“ an Herrn Dr. Hubert Höwener durch den Rektor und die „Berggeschworenen“ bildete einen Höhepunkt des Abends. In einer Videoeinspielung wurde eine weitere Ehrenarschleder-Verleihung an die Bundestagsabgeordnete Frau Veronika Bellmann während der Absolventenverabschiedung am 8.11.2014 gezeigt. Eine besondere Ehrung erhielt Prof. Gerhard Roewer mit der Verleihung des Ehren-Bergkittels der TU Bergakademie. Damit wurden sein Engagement und sein Ideenreichtum für sein zehnjähriges Wirken als Redaktionsleiter der Zeitschrift ACAMONTA sichtbar gewürdigt. Rektor Prof. Meyer übergab den Ehren-Bergkittel. Den musikalischen Teil des Abends gestalteten ausländische Studierende mit Kulturdarbietungen aus ihren Herkunftsländern mit Tanz, Gesang oder Spiel als begeisternde Reise durch die Welt, von Herrn Büttner und Frau Junghans sehr gelungen organisiert und geleitet. Immerhin studieren aktuell 895 Ausländer an der Bergakademie. Dem nachfolgenden „Berg-Büffet“ wurde fleißig zugesprochen. Die abendliche Bergmusik mit dem Musikkorps Saxonia Freiberg und der Gesang des Steigerlieds rundeten den Abend ab.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Vereinsaktivitäten 2015

Mitgliederstand

Tabelle 1 benennt den aktuellen Mitgliederbestand und die neuere Bestandsfluktuation. Der VFF hat gegenwärtig 1207 persönliche und 95 juristische Mitglieder, insgesamt 1302. Wir verzeichnen also seit Jahren einen kontinuierlichen Anstieg der Mitgliederzahl. Den 81 Eintritten seit der vorigen Mitgliederversammlung stehen zwölf Austritte, zwei Streichungen wegen unbekannter Verzugs und sechs Todesfälle gegenüber. Die Geschäftsführung bittet alle Mitglieder um werbende Ansprache im eigenen Kollegenkreis.

Tab. 1: Mitgliederbewegung 2014/2015

Mitgliederbestand (Stichtag)	2014 (28.11.2014)	2015 (15.10.2015)
Gesamtmitgliederzahl	1.245	1.302
persönliche	1.146	1.207
juristische	99	95
Eintritte		
– persönliche	82	81
– juristische	–	–
Austritte		
– persönliche	18	12
– juristische	7	4
– Streichungen (unbekannt Verzogene)	8	2
– Verstorbene	13	6

Unser Durchschnittsalter beträgt 58 Jahre. Zwei Drittel der Mitglieder sind über 50 Jahre, 5 % sind Studierende und Absolventen bis zu 30 Jahren. Diese Altersstruktur entspricht dem Freundes- und Fördercharakter unseres Vereins, wengleich Verjüngungswünsche immer bestehen. Durch eine planvolle Intensivierung der ALUMNI-Tätigkeit des Vereins beabsichtigt die Geschäftsführung, stärker auch junge Absolventen für eine Vereinsmitgliedschaft zu werben.

Finanzen

Die solide Finanzsituation des VFF belegt Tabelle 2 zum aktuellen Einnahmen-Ausgaben-Stand. Die Einnahmen und die Ausgaben des VFF bewegen sich auf Vorjahresniveau. Dankbar sind wir allen Spendern für deren zusätzliche Beiträge. Die Einnahme-Position „Sonstiges“ wird dominiert von den Personalkosten für die Stellen der ALUMNI-Beauftragten, die im TU-Auftrag in die VFF-Geschäftsstelle integriert sind. Etwa zwei Drittel der Vereinsausgaben (ohne die Zweckprojekte) fließen direkt in die Förderung der TU Bergakademie ein (Pos. TU-Förderung und ALUMNI), ein Drittel wird für die Geschäftsstelle, für Publikationen und für die Finanzierung unserer Jahresveranstaltung benötigt.

Außer diesem Vereinshaushalt verwaltet der VFF noch Zweckprojekte für Forschung, Bildung und Begegnungsveranstaltungen der TU Bergakademie mit einem jährlichen Budget zwischen 200 bis 300 T€. Zehn Förderkreise einzelner Institute bzw. Fachrichtungen pflegen das Begegnungsgeschehen. Termingebundene Zweckprojekte in F/E und Ausbildung werden betreut. Die Rücklagen des Vereins schwanken um 60 T€ über das Jahr. Eine Rückstellung von 40 T€ wurde gebildet, um zur 250-Jahr-Feier

Tab. 2: Finanzüberblick 2014 und 2015

2014 Ist (Gesamt)	Positionen	2015 Ist (15.10.15)
427.258	Einnahmen (€)	285.976
51.684	Mitgliedsbeiträge	52.885
9.511	Spenden	11.232
91.498	Sonstiges (incl. ALUMNI)	74.323
274.565	TU-Zweckprojekte	147.536
336.637	Ausgaben (€)	261.369
21.807	Geschäftsstelle	17.450
45.111	TU-Förderung	37.635
12.279	Publikationen	28.634
6.206	Veranstaltungen	470
78.252	Sonstiges (incl. ALUMNI)	69.018
172.982	TU-Zweckprojekte	108.162

der TU Bergakademie eine lebensgroße Metallfigur der Heiligen Barbara für den Eingangsbereich des TU-Hauptgebäudes zu finanzieren und zu präsentieren. Diese Skulptur wurde im Anschluss an die Mitgliederversammlung am 27. November 2015 vom Verein an den Rektor in einer würdigen Feier mit Ansprachen, Enthüllung und Empfang übergeben. Dank der Beiträge und Spenden der Mitglieder steht der Verein auch im Jahr 2015 auf stabiler finanzieller Basis – in Kontinuität zu den Vorjahren.

Publikationen

Die jährliche VFF-Hauptpublikation ist die jedem Mitglied zugehende Vereinszeitschrift ACAMONTA, die gemeinsam mit dem Rektor der TU Bergakademie herausgegeben wird. Dem Redaktionsteam ist wie stets sehr zu danken für die dahinter verborgene umfangreiche Detailarbeit.

Die öffentlichkeitswirksame Tätigkeit erstreckte sich im Jahr 2015 u. a. auch auf die figürliche Gestaltung des Freiburger Gelehrtenwegs. Auf Anregung der VFF-Geschäftsstelle schuf der Seiffener Holzkunsthändler Siegfried Werner den Historischen Freiburger Gelehrtenzug mit elf charakteristischen Holzfiguren, Freiburger Professoren, Studenten und Oberberghauptleute darstellend, die zum weltweiten Ruf der Bergakademie maßgeblich beigetragen haben und sich außerdem entlang des Freiburger Gelehrtenwegs in der Altstadt durch Denkmale und Gedenktafeln dem Betrachter präsentieren.

Alumni-Arbeit im FAN

Die Alumni-Betreuung der Bergakademie-Absolventen geschieht im Auftrag der Universität durch zwei hochmotivierete Alumni-Beauftragte im VFF. Obwohl FAN (Freiburger Alumni Netzwerk) und

VFF organisatorisch selbstständige Institutionen sind, ergeben sich wegen der inhaltlichen Ähnlichkeiten der zu erledigenden Arbeit willkommene Synergieeffekte – dadurch, dass oft gemeinsame Veranstaltungen für Absolventen und Studierende der TU Bergakademie vorbereitet und durchgeführt werden. Das sind konkret beispielsweise die studentischen Gesprächsabende, die jährliche Absolventenverabschiedung im November und die Verleihung der silbernen und der goldenen Diplome. Eine ausführliche Darstellung dieser FAN-Arbeit finden Sie im Beitrag von S. Preißler u. C. Bornkamp, *ab S. 124*. Diese Zusammenarbeit FAN/VFF hat sich bewährt und sollte fortgesetzt werden. Die VFF-Geschäftsführung bedankt sich bei beiden Alumni-Beauftragten, Frau Preißler und Frau Dr. Bornkamp, für ihr effizientes Wirken.

Studentische Gesprächsabende

Der VFF setzte die Gesprächsreihen „Alte Hasen informieren junge Füchse“ mit den Gesprächsthemen: „Energiewende – Marktgerecht, Systemorientiert? – Pro und Contra“ sowie „Studenten in Geldnot – Fördermöglichkeiten durch den Verein“ fort, die nach wie vor – trotz eines oft umfänglichen Parallelangebots an Veranstaltungen in der Stadt – Anklang in der Studentenschaft fanden.

Heinisch-Stiftung

Die vom VFF gegründete Heinisch-Stiftung für die Förderung der geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg hat ihre Tätigkeit aufgenommen, nachdem am 17. März 2015 die offizielle, urkundliche Bestätigung des Stiftungsstatus' durch die Landesdirektion Sachsen erfolgt war. Das fünfköpfige Stiftungskuratorium und der dreiköpfige Vorstand der Stiftung haben in einer konstituierenden Sitzung am 19. Mai 2015 die volle Geschäftstätigkeit aufgenommen, die im laufenden Jahr durch Zukäufe von Edelmetallstufen und im Jahr 2016 zudem von mineralwissenschaftlichen Projekten geprägt ist bzw. sein wird. Die Heinisch-Stiftung wird vom VFF-Vorstand als beispielgebendes Vorbild für analoge Stiftungsaktivitäten betrachtet, wobei auch Zustiftungen möglich sind. Auf diesem Weg kann eine zusätzliche Finanzhilfe für die Pflege und Erweiterung der Geowissenschaftlichen Sammlungen – neben den Zuweisungen öffentlicher Mittel – gewährt werden.

Preisverleihungen

Der VFF ist Initiator und Träger verschiedener Preisverleihungen an Studierende und Beschäftigte der Bergakademie:

- Bernhard-von-Cotta-Preise für jeweils zwei ausgezeichnete Dissertationen und Diplom/Masterarbeiten

- Friedrich-Wilhelm-von-Oppel-Preis für ein besonderes sozial-kulturelles Engagement eines Studierenden
- Julius-Weisbach-Preise für zwei herausragende universitäre Lehrende
- Georgius-Agricola-Preise für sechs hervorragende Studierende, jeweils fakultätsbezogen (einmaliger Zuschuss)

Ausblick 2016

Der VFF-Vorstand und die Geschäftsführung, inbegriffen Frau Meister und die beiden Alumni-Beauftragten, werden im Jahr 2016 die Vereinsarbeit in der gewohnten Kontinuität sowie auf solider Finanzbasis mit nachstehend genannten Förderaktivitäten fortsetzen:

- Förderung von Studierenden und Instituten in der Lehre
- Unterstützung und Verwaltung von Forschungs- und Weiterbildungsprojekten der Universität
- Alumni-Arbeit fortsetzen/erweitern
- Rektorfonds, IUZ-Fonds
- Preisverleihungen
- Informations- und Festveranstaltungen
- Publikationen
- Heinisch-Stiftung.

Anregungen und Signale der Bereitschaft zur Mitwirkung im Rahmen dieser recht vielfältigen Vereinsarbeit werden gern entgegengenommen.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Der VFF vergibt sechs Deutschland-Stipendien

Der VFF hat am 12. Juni 2015 sechs Deutschland-Stipendien für das Sommersemester 2015 und das Wintersemester 2015/16 vergeben. Die Urkundenüberreichung erfolgte im Rahmen einer Feierlichkeit für die insgesamt 78 Deutschland-Stipendiaten der TU Bergakademie Freiberg, darunter die sechs VFF-Stipendiaten:

- Li Du, Masterziel in Wirtschaftsmathematik (Fakultät 1)
- Andrea Weiße, Masterziel in Angewandte Naturwissenschaft (Fakultät 2)
- Carolin Ader, Masterziel in Geophysik (Fakultät 3)
- Julia Bieske, Masterziel in Technologiemanagement für den Maschinenbau (Fakultät 4)
- Markus Nürnberger, Diplomziel im Fahrzeugbau (Fakultät 5)
- Tina Liebscher, Masterziel in Betriebswirtschaftslehre (Fakultät 6).

Das Deutschlandstipendium beträgt 300 € monatlich, davon 150 gezahlt vom VFF, die um einen ebensolchen Betrag durch das BMBF aufgestockt werden. Es wird an besonders leistungsbereite Studierende vergeben. Deren Auswahl erfolgte durch den VFF, gemeinsam mit der Universität. Maßgebliche Auswahlkriterien des VFF sind:

- Herausragende bisherige Studienergebnisse
- Bindung an die TU Bergakademie Freiberg bis zum Studienabschluss
- Vergabe von sechs Stipendien – jeweils eines pro Fakultät

Die finanziellen Mittel erwirtschaftete der VFF aus der von ihm geführten Alumni-Arbeit, die vertragsgemäß im Universitätsauftrag erfolgt. Insofern werden diese Mittel an die TU Bergakademie zurückgeführt und nicht aus den VFF-Eigenmitteln getragen.

Die Stipendiaten werden an den VFF über ihre Studienergebnisse berichten.



Geschäftsführer Prof. Kretzschmar mit den beiden Stipendiatinnen Li Du (links) und Julia Bieske während der Feier zur Stipendienverleihung

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Konstituierung der „Heinisch-Stiftung“

Am 19. Mai 2015 fanden sich der Vorstand und das Kuratorium der neu gegründeten „Heinisch-Stiftung“ zur konstituierenden Sitzung zusammen. Herr Günter Heinisch, verstorben im Jahr 2013 in Hof, bestimmte in seinem Testament den Verein „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.“ zum Miterben. Der dem Förderverein VFF zufallende Teil des Nachlasses soll gemäß Heinischs testamentarisch fixiertem Willen in seinem Gesamtumfang für die Förderung der Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg eingesetzt werden. Der Vorstand des VFF beschloss daraufhin, die „Günter Heinisch-Stiftung des Fördervereins VFF für die Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg“ zu gründen und zu betreuen. Diese Stiftung mit ihrem Kapitalstock in siebenstelliger Euro-Höhe wird den Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie dauerhaft eine jährliche finanzielle Förderung ermöglichen, die dazu dient, den gemeinnützigen Stiftungszielen zu entsprechen:

- 1) Wissenschaftliche Betreuung und Erweiterung der Sammlungen
- 2) Förderung innovativer Forschungsansätze, die zu den Sammlungen einen Bezug haben
- 3) Förderung öffentlich zugänglicher Bildungsangebote mittels der Sammlungen.

Der dreiköpfige Stiftungsvorstand wird das Stiftungswerk verwalten und betreuen und einem fünfköpfigen Stiftungskuratorium gegenüber jährlich Rechenschaft ablegen.

Die Heinisch-Stiftung ist die erste kapitalstarke, vom Verein VFF gegründete sowie betreute Stiftung zu Gunsten und für Zwecke der TU Bergakademie. Sie dient als Vorbild für künftige, ähnliche Vorhaben. Sie ist offen für weitere (Zu-)Stiftungen. Sie bietet sich als „Muster“ für Erblasser wie auch für „rezente“ Förderer der TU Bergakademie an, die die Freiburger Alma mater auf diesem Wege unterstützen und sich im Stiftungsnamen „unsterblich“ gefasst sehen wollen. Der Verein VFF wird solchen Vermächtnissen stets treu nachkommen.

Das Günter-Heinisch-Erbe widerspiegelt aber auch die Ausstrahlungskraft der Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg, denen der Stifter es zueignete. Es zeigt, wie langjährige persönliche und vertrauensvolle Kontakte von Bergakademisten in alle Welt zu für die TU glücklichen Nachlassregelungen führen können. Diese sind „morgen“ notwendiger und von eher noch nachhaltiger wirkendem Fördereffekt als heute.

Vita Günter Heinisch

Günter Heinisch wurde 1931 in Hof als Sohn eines Rechtsanwalts geboren. Nach dem Besuch der Volksschule wechselte er auf das Humanistische Gymnasium, an dem er 1949 die Abiturprüfung ablegte. Wegen der damals unsicheren wirtschaftlichen und politischen Verhältnisse verzichtete er auf ein Universitätsstudium und absolvierte eine Banklehre. Nach Beendigung der Lehrzeit wechselte Heinisch als Bankkaufmann an die Niederlassung der Dresdner Bank nach Nürnberg, wo er vier Jahre wirkte. 1957 folgte er einem Angebot des damals schon berühmten Porzellanherstellers Rosenthal, in der kaufmännischen Hauptverwaltung in Marktrechwitz tätig zu werden. Diesem Unternehmen blieb Günter Heinisch bis zu seinem altersbedingten Ausscheiden viele Jahre in führender Position als Leiter des Finanz- und Rechnungswesens einer Tochterfirma treu.



Der überzeugte Oberfranke hatte viele Hobbys. Sportlich interessierte ihn vor allem das Bergsteigen, daneben die Fotografie und das Briefmarkensammeln. Leidenschaftlich verbunden war er schon seit seiner Jugendzeit dem Mineralsammeln. Die Reichhaltigkeit seiner Sammlung verblüffte nicht nur Laien.

Im Mittelpunkt seines Lebens stand allerdings seit 1966 die Freimaurei. In jenem Jahr wurde er in die Loge „Zum Morgenstern“ aufgenommen und drei Jahre später zum „Meister der königlichen Kunst“ erhoben. In seiner Loge versah der umfassend gebildete Günter Heinisch zahlreiche Ämter. 2011 wurde er aufgrund seiner Verdienste zum Ehrenmitglied seiner Loge ernannt. Zwei Jahre später, am 1. August 2013, starb er nach langer Krankheit in einem Hofer Altenheim.

Günter Heinisch war als exzellenter, aktiver Sammler von der Mineralogischen Sammlung in Freiberg sehr beeindruckt, aber nicht nur von den Mineralen, sondern vor allem von den Aktivitäten der Mitarbeiter, seien es die regelmäßigen Sonderausstellungen in Freiberg oder die unzähligen Präsentationen auf Mineralienmessen und Vortragsveranstaltungen außer Haus. Dadurch bestärkt, beschloss Günter Heinisch schon vor vielen Jahren, die Geowissenschaftlichen Sammlungen Freibergs auf die für die Alma Mater so erfreuliche Weise zu unterstützen.

■ Andreas Massanek

Eine silberne Heilige für die Bergakademie

Die Heilige Barbara wird von vielen Gewerken als Schutzheilige beansprucht. Sie gilt als Patronin „des Bergbaus, der Türme, der Festungsbauten und der Artillerie; der Bergleute, Geologen, Architekten, Maurer, Steinhauer, Zimmerleute, Dachdecker, Elektriker, Bauern, Metzger, Köche, Glöckner, Glockengießer, Feuerwehrlaute, Totengräber, Hutmacher, Artilleristen, Waffenschmiede, Sprengmeister, Buchhändler, Bürstenbinder, Goldschmiede, Sprengmeister und Salpetersieder; der Mädchen, Gefangenen, Sterbenden; für eine gute Todesstunde; gegen Gewitter, Feuergefahren, Fieber, Pest und jähen Tod; der Diözese Katowice“¹. Am vertrautesten ist sie uns jedoch von Bergbaustollen her und als Schutzheilige in Kapellen. Hier in Freiberg, an der ältesten montanwissenschaftlichen Universität der Welt, sind Barbarafeiern fester Bestandteil einer mindestens seit dem 19. Jahrhundert gepflegten Tradition² – seit 1991 ausgerichtet durch den Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg. Der Verein hatte sich deshalb vorgenommen, der Bergakademie zum 250-jährigen Bestehen ein besonderes Geschenk zu machen: eine Skulptur der Hl. Barbara.

Da das Hauptgebäude der TU in der Akademiestraße mit seinem gläsernen Fahrstuhl und den hohen, offenen Etagen einem Stolln ähnlich angelegt ist, war ein optimaler Standplatz schnell gefunden. Spannender gestaltete sich die erste Ideenfindung, weil eine so populäre Gestalt wie die Hl. Barbara bereits als deutliche Vorstellung bei allen Diskussionsteilnehmern existierte – nur dass es dabei grundsätzliche Differenzen gab. Die einen sahen die Hl. Barbara als üppige, barocke Figur in faltig wallenden Gewändern, die anderen stritten für die überstreckte Jugendstilerscheinung. Verbürgtes, andererseits aber auch umstrittenes Beiwerk wie der Turm, der Heiligenschein, die Hostie, das Schwert oder der Kelch wurden abwechselnd als unabdingbar oder als nicht mehr zeitgemäß angesehen, so dass am Ende eine unerotische Frau mit weiblichen Formen als Heilige ohne Heiligenschein mit und ohne Turm, Hostie, Schwert und Kelch hätte herauskommen müssen, um allen Beteiligten gerecht zu werden.

Der Gestaltungsprozess begann zunächst formal. So waren Material und Größe der Skulptur schnell festgelegt: Als Silberbergbaustadt sollte Freiberg eine



Die Heilige Barbara

Die Heilige Barbara soll Ende des dritten bis Anfang des vierten Jahrhunderts nach Christus im heutigen Nahen Osten gelebt haben; das ökumenische Heiligenlexikon bezeichnet sie als „eine historisch eher unwahrscheinliche Figur“¹. Den Legenden gemeinsam ist die Beschreibung als eine sehr schöne und sehr kluge Frau, die sich entgegen dem Willen des Vaters christlich taufen ließ. Ob allerdings die christliche Taufe, die Eifersucht des Vaters oder die Veränderung eines Bauwerks nach christlichen Regeln den Grund für ihren Tod lieferten, ist nicht einheitlich überliefert. Die Rolle des Turms ist ebenfalls nicht geklärt. Mal wird er als Gefängnis, mal als Rückzugsort, mal als Kern des Streites dargestellt. Inwieweit das angebliche Martyrium der heiligen Barbara ‚nur‘ aus der Enthauptung durch des Vaters Schwert bestand oder sie in der Gefangenschaft, in der sie sich von Hostien und Wasser aus dem Kelch ernährt haben soll³, geschlagen, verbrannt, verstümmelt und nackt an den Pranger gestellt wurde, ist ebenfalls umstritten. Als Schutzpatronin der Bergleute gilt sie vermutlich, weil sich zu ihrer Rettung ein Fels geöffnet haben soll.² Trotz aller historischen Unwägbarkeiten ist die heilige Barbara „eine der bekanntesten christlichen Heiligen“¹.

versilberte Barbara erhalten. Sie würde so groß sein, dass ein unten vor ihr stehender Betrachter über Gesicht und Hände eine Verbindung zu ihr aufbauen kann, auch wenn ihn die Figur überragt, und sich zusätzlich beim Blick von der oberen Etage weitere Anknüpfungspunkte ergeben.

Liest man heutzutage alte Schilderungen der Torturen der heiligen Barbara, kommt einem das Verhalten der Umgebung, ja selbst der Familie der jungen Frau, außergewöhnlich hart, grausam und selbstgerecht vor. Auch wenn Darstellungen solch archaischer Bestrafungs- und Verstümmelungsaktionen über die Medien heute wieder in unseren europäischen Alltag schwappen, wollte ich die Versatzstücke der Geschichte dazu verwenden, um den Aufbruchcharakter und das hoffnungsvolle Vorwärtsblicken – das Aufsteigen der Barbara – zu gestalten. Sie sollte realitätsnahe Züge besitzen – ihre Schönheit und Verletzlichkeit zeigen, aber auch allgemeinere, abstraktere. Durch bewusst offen gestaltete Elemente lässt sich das Gestein des Gebirges ausmachen, in dem sie sich versteckt haben soll; es könnte aber auch das Alte, das Bröckelnde, das Archaische sein, aus dem sie heraus- und über das sie hinwegschreitet.

Die Verfechter des Turms als unabdingbare Zugabe werden ihn unter der linken Hand der Barbara erkennen. Er ist hier allerdings nicht ein verkleinertes Erinnerungstück an ihren Zufluchtsort, das sie mit sich herumträgt. Er dient ihr als Stütze, um sich – allen Anfechtungen zum Trotz – emporzuheben. Mein Ziel war es, der heiligen Barbara viele Facetten zu geben. Jede der möglichen Ansichten spiegelt andere Eigenschaften wider: Schönheit, Kraft, Schutzbedürftigkeit, Zeitlosigkeit, Verletzlichkeit, Unantastbarkeit und Verinnahmbarkeit. Als Verkörperung dieser Vielschichtigkeit kann sie als Sinnbild für die gesamte Universität stehen, sowohl für die Bergleute als auch für alle anderen Forschenden, Mitarbeitenden und Studierenden. Es gibt auch unter unwägbarsten Bedingungen eine Kontinuität und Beständigkeit, die es ermöglicht, menschliche Werte, kulturelle und wissenschaftliche Errungenschaften zu schützen, sich Neugier und Entschlusskraft zu erhalten, um diese Welt etwas besser zu machen, auch wenn man manchmal glaubt, damit allein zu sein.

■ Susanne Roewer



Fotos (5): © Gerhard Haug, Berlin

Es werde eine Skulptur – Daten und Fakten

Nach der Ideenfindung und Diskussion ging es im August 2014 ins Künstleratelier von Susanne Roewer und an die ‚wirkliche‘ (Hand-)Arbeit an der „Heiligen Barbara“. In den ersten 200 Arbeitsstunden wurde ein schulterhohes Gips-Stahl-Fundament gebaut und immer wieder an die Erfordernisse der ersten feinen Oberflächenbearbeitungen angepasst, damit die Gipsvorlage der Figur auch standfest sei und bleiben möge. Insgesamt eine Tonne Gips und ca. 500 Arbeitsstunden später war die Arbeit der Künstlerin fast getan; es mussten ‚nur noch‘ vier zupackende Männer dirigiert werden, um das Gipsoriginal ohne Bruchschaden aus den verwinkelten Gängen des Ateliers in den Rathenauhallen in Berlin-Oberschöneweide herauszubekommen.

Mit dem neuen Jahr 2015 begannen die Arbeiten in der Gießerei Krepp, wo nochmals eine Tonne Gips, aber auch Wachs und Silikon zum Bau der Gussform benötigt wurden. Nach weiteren drei Monaten, dem Vergießen von 165 kg Bronze und dem Auftragen von 4 m² Blattsilber war das Hauptsächliche geschafft: Die versilberte Bronzeskulptur der „Heiligen Barbara“ stand zur ersten Besichtigung und Abnahme durch Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg in der Kunstgießerei in Berlin-Weißensee bereit.

Die Finalisierung der Patina, der Transport, die Aufstellung, die Befestigung und – nicht zu vergessen – eine adäquate Beleuchtung füllten den dritten und letzten Teil des Aufgabenkatalogs vor der Enthüllung der „Heiligen Barbara“ am 27. November 2015.

■ Steffen Kolb

Literaturhinweise für den Beitrag von Susanne Roewer und den Infokasten:

- 1 Schäfer, Joachim: Ökumenisches Heiligenlexikon, 2015. <https://www.heiligenlexikon.de/BiographienB/Barbara.htm>
- 2 Vgl. O. V.: Barbara-Tag - Gedenktag der heiligen Barbara, 2014. <http://www.mdr.de/kultur/religion-leben/barbaratag104.html>
- 3 Vgl. O. V.: Heilige Barbara, o.J. <http://www.vierzehnheiligen.de/de/gnadenaltar/heilige-barbara.php>

Der Historische Freiburger Gelehrtenzug

In Freiberg gibt es seit einiger Zeit den Gelehrtenweg, der als besonders für Touristen interessante Stadtroute an ausgewählten Denkmälern und Gedenktafeln in der Freiburger Altstadt vorbeiführt. Dieser vom VFF konzipierte Gelehrtenweg wird von der Freiburger Stadtmarketing GmbH betreut. Er soll insbesondere Absolventen der Universität zu einem lehrreichen Stadtrundgang animieren und wird in diesem Sinne auch gut angenommen. Die mit ihm gewürdigten Freiburger Gelehrten gibt es nun zusätzlich auch „mit Händen greifbar“ – als Formation charakteristischer „Köpfe“ in Gestalt von Holzfiguren in einem sog. Gelehrtenzug. Auf Anregung des VFF schuf der Seiffener Holzkunsthändler Siegfried Werner diese schöne Figurengruppe. Dieser Zug wird – wie es sich gehört – angeführt von den Gründern der Bergakademie, F. A. von Heynitz und F. W. von Opperl; er lenkt die Aufmerksamkeit dann weiter zum „Vater“ der Mineralogie/Geologie, A. G. Werner, und zu dessen berühmtem Schüler A. v. Humboldt; er setzt sich fort mit dem Begründer der deutschen Gastechnik, W. A. Lampadius – vorbei an den Entdeckern der Elemente Indium (H. T. Richter/F. Reich) und Germanium (C. A. Winkler) – bis hin zu den Bergbauromantikern Oberberghauptmann S. A. W. von Herder mit den Studenten G. P. F. von Hardenberg (Novalis) und K. T.



© TU Bergakademie Freiberg

Körner. Dieser Zug von Gelehrten des 18. und 19. Jahrhunderts ließe sich natürlich verlängern und in unsere Zeit hinein fortsetzen – abhängig vom Interesse und von denkbaren Initiativen aus den Reihen der Bergakademie von heute, ihrer Absolventen und Angehörigen. Mir als passioniertem Sammler macht es persönlich Freude, diesen Zug auch bei mir zu Hause ständig präsent zu haben und durch ihn täglich an unsere Alma mater Freibergensis erinnert zu werden.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Bernhard-von-Cotta-Preis 2014:

Reinigung und Charakterisierung von zwei Peroxidasen

DypA und DypB aus *Rhodococcus opacus* 1CP

Catleen Conrad¹

Das Bodenbakterium *Rhodococcus opacus* 1CP ist für seine Fähigkeit bekannt, organische Schadstoffe abzubauen. In meiner Studie lag der Fokus auf zwei Genprodukten, den Farbstoff abbauenden Peroxidasen DypA und DypB, die unter Anwendung von Klonierungs- und Expressionsstrategien mit hohen spezifischen Aktivitäten in reiner Form gewonnen werden konnten. Eine umfassende biochemische Analyse zeigte, dass beide Enzyme in der Lage sind, Farbstoffe unterschiedlicher Klassen, insbesondere jedoch die Struktur der als schwer abbaubar geltenden Anthraquinone, anzugreifen und zu zerstören. Damit empfehlen sie sich als perspektivreiche enzymatische Systeme zum Abbau toxischer Farbstoffe, beispielsweise in industriellen Abwässern.

Farbstoff abbauende Peroxidasen (Dye-decolorizing peroxidase); Anthraquinone (anthraquinones); *Rhodococcus* (*Rhodococcus*)

Motivation und Hintergrund

Die kürzlich entdeckten Farbstoffe abbauenden Peroxidasen (Dyps, engl. *dye-decolorizing peroxidases*) unterscheiden sich erheblich von den gewöhnlichen Peroxidasen und wurden deshalb einer neuen Superfamilie – der hämhaltiger Peroxidasen – zugeordnet. Dyps sind beispielsweise in der Lage, ein breites Substanzspektrum an für die Familie der Pflanzenperoxidase typischen Substraten abzubauen, wie z. B. 2,6-Dimethoxyphenol, Lignin, Guaiacol und Veratrylalkohol. Zudem reagieren sie mit Farbstoffen unterschiedlicher Molekülstruktur, insbesondere mit Anthraquinonen. Diese ungewöhnliche Substratspezifität wird durch einen einzigartigen Mechanismus reflektiert, dem eine bemerkenswerte Charakteristik der beteiligten Struktureinheiten (Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur) zu Grunde liegt, die für klassische Hämperoxidase untypisch ist.

Obwohl bisher nur wenige Studien die Funktion und die Struktur dieser Proteine belegen, scheint es, als ob es sich hier um bifunktionale Enzyme mit Hydrolase- oder Oxygenase- sowie typischer Peroxidase-Aktivität handelt. Bis heute sind etwa 230 dieser sowohl aus Bakterien als auch aus Pilzen isolierten Dyps bekannt und in der

PeroxiBase-Datenbank registriert. Ihr Vorkommen lässt vermuten, dass es sich hierbei um phylogenetisch sehr alte Enzyme handelt, die bereits vor der Spaltung der Organismenwelt in die Domänen Bakteria und Eukarya existiert haben könnten.

Durch Vergleich der Sequenz des kürzlich entschlüsselten Genoms des Gram-positiven Aktinobakteriums *Rhodococcus opacus* 1CP, das die Fähigkeit besitzt, auf kontaminierten Böden zu leben, mit Proteinsequenzen aus der NCBI Datenbank wurden zwei Farbstoff abbauende Peroxidasen (DypA und DypB) entdeckt. Die Studie zeigt die Effizienz der Produktion der häm-haltigen Enzyme DypA und DypB in einem *E. coli*-basierten Expressionssystem bei Zufütterung von Hämin. Mit Hilfe der Nickel-Chelat-Affinitätschromatografie wurde nun eine Ein-Schritt-Reinigungsmethode etabliert, die es erlaubt, diese Enzyme mit hohen spezifischen Aktivitäten in reiner Form darzustellen. Die biochemische Charakterisierung dieser rekombinanten, globulären Enzyme ergab, dass diese über lange Zeit stabil sind.

Ergebnisse

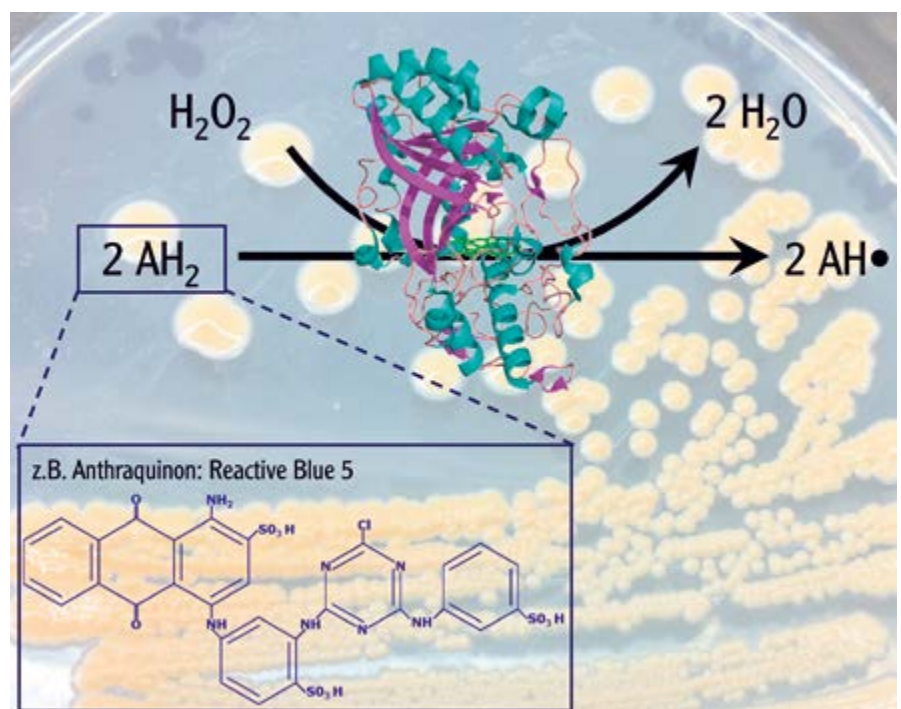
Beide Enzyme katalysieren nicht nur die Umsetzung von ABTS (2,2'-Azi-

no-bis[3-ethylbenzthiazolin-6-Sulfonsäure]), das ein typisches Substrat für Peroxidasen im Allgemeinen ist, sondern entfärbten auch Farbstoffe verschiedener Farbstoffklassen, darunter den Anthrachinonfarbstoff *Reactive Blue 5* (RB5), vgl. Abb. 1), den Azofarbstoff *Reactive Black 5* und – im Fall von DypA – den polymeren Anthrachinonfarbstoff *Poly R-478*, dessen Abbau bisher durch kein anderes Enzym bewerkstelligt werden konnte.

Die Untersuchungen zeigten, dass DypA den Abbau von RB5 gegenüber dem von ABTS bevorzugt, bei DypB ist die Relation umgekehrt. Im Allgemeinen besitzen Dyps der Klassen A und B viel niedrigere Peroxidaseaktivitäten als die der Klassen C und D (etwa 1000-fach niedrigere). Jedoch ergaben unsere kinetischen Studien, dass diese Enzyme vergleichbare bzw. nicht um mehr als zwei Größenordnungen kleinere Aktivitäten entwickeln. Darüber hinaus waren beide Enzyme erstaunlich tolerant gegenüber einer hohen H_2O_2 -Konzentration.

Fazit

Damit verkörpern rekombinantes DypA und DypB aus *Rhodococcus opacus* 1CP ein enormes Potenzial für biotechnologische Anwendungen und interessante enzymatische Systeme, insbesondere für den Abbau toxischer Farbstoffe, beispielsweise in industriellen Abwässern, nicht zuletzt auch der Textilindustrie.



Schematische Darstellung des Farbstoffabbaus durch Farbstoff abbauende Peroxidasen aus *Rhodococcus opacus* 1CP

Foto: Michele Oelschlägel, Grafik: C. Conrad

¹ Catleen.Conrad@uniklinikum-dresden.de
Institut für Klinische Chemie und
Labormedizin

Bernhard-von-Cotta-Preis 2014:

Die Entwicklung des Industriekomplexes Kauffahrtei in Chemnitz als Standort der Automobilgeschichte

Ann Helen Klingner

Fragestellung und Forschungsstand

Viele Unternehmen berufen sich auf ihre langjährige Tradition und Erfolgsgeschichte – auch der Volkswagen-Konzern. Das Motorenwerk Chemnitz als Teilunternehmen der VW Sachsen GmbH ist seit der Wende in der Kauffahrtei in Chemnitz ansässig (Abb. 1). Ziel meiner Arbeit war es, die historische Entwicklung des Standorts aufzuarbeiten. Dabei galt es zum einen zu untersuchen, wie sich seine diversen Nutzungsformen, angefangen von den 1920er-Jahren bis heute, auf den Standort auswirkten. Zum anderen war zu überprüfen, warum sich die Gebäudebestände und die Infrastruktur des Komplexes so drastisch veränderten und welche Rolle dabei die wechselnde Nutzung der Anlagen spielte. Betrachtet wurde auch die Frage, wie die politischen Systemumbrüche 1918/19, 1933, 1945/49 und 1989/90 die Entwicklung des Standorts beeinflusst und gelenkt haben. Historische Aufarbeitungen zum Automobilstandort Chemnitz sind in der Literatur durchaus vorhanden, jedoch konzentrieren sich die meisten Dokumentationen auf nur wenige Themenbereiche, wie die Auto Union AG¹ oder die Prestowerke². Ansonsten lagen bisher zum Standort Kauffahrtei kaum Untersuchungen und Veröffentlichungen vor. Besonders

die Zeit vor 1945 galt als „blinder Fleck“ in der Forschung. Aufgrund dessen war eine ausgiebige Archivrecherche unumgänglich, wobei das Staatsarchiv Chemnitz³ als Hauptanlaufpunkt diente.

Ergebnisse

Die historische Entwicklung des Standorts lässt sich signifikant nach Zeitabschnitten und -zäsuren, die von den politischen Systemwechseln 1918/19, 1933, 1945 und 1989/90 geprägt wurden, darstellen. Die politische Ordnung Deutschlands wechselte im 20. Jahrhundert insgesamt vier Mal. Nach dem Ende des Kaiserreichs 1918/19 entstand die erste Demokratie in Deutschland, die Weimarer Republik. Nach den schwierigen Nachkriegsjahren war ab Mitte der 1920er-Jahre ein Aufwärtstrend in der deutschen Wirtschaft zu verzeichnen. Die Straße Kauffahrtei wurde in diesem Zusammenhang ab Mitte der 1920er-Jahre infrastrukturell erschlossen.⁴ Im Gefolge dessen siedelte sich das Unternehmen Chemnitzer Teppichfabrik Oscar Kohorn (gegründet 1909)⁵ mit einem Fabrikneubau am Standort an.

Diese Firma fertigte (Haargarn-)Teppiche.⁶ Der Aufbau und die Ausstattung der Fabrikanlagen waren in neuerer Zeit kaum

noch bekannt und konnten im Rahmen der Masterarbeit erstmalig recherchiert und dokumentiert werden.⁷ Neben der Fertigung von Teppichen versuchte Kohorn auch ein neues Produktions- und Absatzgebiet – eines für Maschinen zur Herstellung von Viskosefasern – zu erschließen. Hierzu gründete er Mitte der 1920er Jahre die Oscar Kohorn & Co. Maschinenfabrik.⁸ Die Weltwirtschaftskrise wirkte sich jedoch stark absatzmindernd auf beide Unternehmen aus. Gegen beide Firmen Kohorns wurde 1931 ein Konkursverfahren eröffnet.⁹ Mit der Machtübernahme der Nationalsozialisten 1933 denaturierte die Demokratie Deutschlands zu einer Diktatur. Auswirkungen dieses Wandels betrafen auch das Unternehmen Oscar Kohorn & Co. GmbH, das 1935 aus dem Zusammenschluss der beiden Firmen Teppichfabrik Oscar Kohorn & Co. und der Oscar Kohorn & Co. Maschinenfabrik hervorging.¹⁰ Oscar Kohorn und seine Familie waren jüdischer Abstammung. Die systematische anti-jüdische Politik des nationalsozialistischen Regimes, der Boykott jüdischer Geschäfte und letztendlich der Erlass der Nürnberger Gesetze im September 1935 bewogen Kohorn sicherlich dazu, die Gelegenheit einer Geschäftsreise nach Japan im Oktober 1935 zum Verlassen Deutschlands zu nutzen.¹¹ Sein Neffe Leo Kohorn (ebenfalls jüdischer Abstammung) führte das Unternehmen bis 1937 weiter; nachfolgend übernahm ein Treuhänder die Geschäfte. Die Fabrikanlagen wurden ab 1938 durch



Abb. 1: Luftbild Motorenwerk Chemnitz, Kauffahrtei 2013 [Quelle VW Sachsen GmbH, Motorenwerk Chemnitz]



Abb. 2: Luftbild Altchemnitz, Bereich Kauffahrtei/ Scheffelstraße um 1935. Im rechten unteren Bildrand ist die Hauptverwaltung der Auto Union AG zu sehen. Links schließt sich das Gelände der Teppichfabrik Oscar Kohorn & Co. an. [Quelle: Schlossbergmuseum Chemnitz]

die Firma Viscosa GmbH für den Bau und die Errichtung von Kunstseide- und Zellwollanlagen genutzt.¹² Mit Ausbruch des Zweiten Weltkrieges beschlagnahmte sie jedoch das Oberkommando des Heeres (OKH).¹³

Bereits seit Ende 1939 gab es seitens der Auto Union AG Überlegungen, angesichts der geographischen Nähe zur Hauptverwaltung in der Scheffelstraße (damals Bernd-Rosemeyer-Straße) das Grundstück der Teppichfabrik zu erwerben. Mitte 1941 erfolgten der Kauf und eine Erweiterung des Grundstücks (Abb. 2).¹⁴ Die Planungen für ein neues Werk der Auto Union AG, das den Standort Chemnitz Siegmars ersetzen sollte, konnten aufgrund des kriegsbedingten Neubauverbots nicht verwirklicht werden. Stattdessen kam es zu einer Umnutzung der Anlagen im Sinne der Rüstungsproduktion. Von 1941 bis 1945 wurden am Standort Maschinengewehre des Typs MG 151¹⁵ produziert. Die Straße Kauffahrtei blieb von den verheerenden alliierten Bombenangriffen gegen Ende des Krieges auf die Stadt Chemnitz zum Großteil verschont. Die sowjetische Besatzungsmacht beschlagnahmte nach Kriegsende 1945 das betriebliche Vermögen der Auto Union AG inklusive aller Betriebsstätten und gab das Unternehmen aufgrund der Kategorisierung als Rüstungskonzern für die vollständige Demontage frei.¹⁶

Das Kriegsende 1945, die sowjetische Besetzung der Stadt Chemnitz und die Demontage sämtlicher Anlagen der Auto Union AG waren eine Zäsur. Die Aufnahme von Fahrzeugreparaturen in den Hallen der Auto Union AG war der erste Schritt auf dem Wege der Kauffahrtei zur Etablierung als Automobilstandort.¹⁷ Bis zur Gründung des VEB Barkas Werke Karl-Marx-Stadt¹⁸ 1958

gliederte sich das Gelände in Areale für das Fahrzeug- und für das Motorenwerk. Neben Motoren, v. a. später für den Pkw Trabant, wurden auch stationäre Motoren, Einspritzpumpen und die Karosserie für den Barkas B 1000 hergestellt. Insgesamt war das Fertigungsprogramm sehr breit aufgestellt. Um die Konkurrenzfähigkeit der in der DDR hergestellten Fahrzeuge zu verbessern, wurde 1984 ein Vertrag zwischen dem Außenhandel der DDR und der Volkswagen AG über die Lizenznahme für Viertakt-Ottomotoren geschlossen. Der VEB Barkas Werke Karl-Marx-Stadt konnte die Produktionsrechte für die Motoren für das Werk Kauffahrtei gewinnen.¹⁹

Diese zukunftsorientierte Zusammenarbeit sicherte dem Standort und vielen seiner Mitarbeiter das Weiterbestehen nach der Wende 1989/90. Die Volkswagen Sachsen GmbH, gegründet 1990, übernahm neben dem Sachsenring Automobilwerk in Zwickau auch das Werk in der Kauffahrtei. Seitdem ist die Kauffahrtei 47 als Motorenwerk Chemnitz u. a. wieder für die Belieferung des Fahrzeugwerks Zwickau mit Motoren zuständig. Glücklicherweise blieb dem Standort das Konkurschicksal vieler anderer Betriebe der DDR – wie auch der Barkas-Werke in Hainichen und Frankenberg – erspart. Um einen modernen Industriestandort zu schaffen, waren zahlreiche Gebäudeabbrüche und eine fast komplette Neuanlegung der Infrastruktur notwendig geworden. Das Werk ist heute ein Hauptproduzent von Ottomotoren und beliefert Fahrzeugwerke des VW-Konzerns weltweit.

Literatur und Quellen

1 Feldkamp, Jörg: 75 Jahre Auto Union. Begleitbuch anlässlich der Ausstellung „Vier Ringe für Sachsen. 75 Jahre Auto Union“ vom 9. Juni bis 2. September 2007 im Industriemuseum Chemnitz. Chemnitz 2007.

- 2 Mugler, Albrecht: Presto. Eine vergessene Fahrzeugmarke aus Sachsen. Zwickau 2010.
- 3 Dort lagern u. a. die Bestände an Dokumenten der Auto Union. Vgl. Kukowski, Martin: Findbuch zu den Beständen Auto Union AG, Horchwerke AG, Audi-Automobilwerke AG und Zschopauer Motorenwerke J. S. Rasmussen. Band 1. AG. Halle/Saale 2000. Und: Kukowski, Martin: Findbuch zu den Beständen Auto Union AG, Horchwerke AG, Audi-Automobilwerke AG und Zschopauer Motorenwerke J. S. Rasmussen. Band 2. AG. Halle/Saale 2000.
- 4 Kassner, Jens: Chemnitz. Architektur. Stadt der Moderne. Leipzig 2009, S. 167.
- 5 StadtAC, Handelsregister. Blatt 6213, Bl. 26.
- 6 Haargarn wird gefertigt aus groben Wollen und Tierhaaren (Rind, Ziege, Pferd). Auch Mischungen mit Chemiefasern sind gängig. Das Garn wird verwendet für Einlagestoffe und Teppiche. Siehe dazu: Kiessling, Alois; Max, Matthes: Textil-Fachwörterbuch, S. 167.
- 7 Bauunterlagen befinden sich v. a. im Bauaktenarchiv der Stadt Chemnitz. Vgl. u. a. BauaktenAC, Kauffahrtei 31, Akten des Rates der Stadt Chemnitz – Baupolizeiamt – das Grundstück No. 211 des Flurbuches für Altchemnitz. Eigentümer: Chemnitzer Teppichfabrik Oscar Kohorn & Co. Verschiedene Bände.
- 8 StadtAC Handelsregister, Blatt 6213, Bl. 65.
- 9 Ebd., Bl. 71.
- 10 StadtAC Handelsregister, Blatt 26. Bl. 40.
- 11 StadtAC Handelsregister, Blatt 6213, Bl. 72-74.
- 12 StadtAC Handelsregister, Blatt 26, Bl. 89b.
- 13 StAC, 31050, Nr.2446, Bl. 52.
- 14 StAC, 31050, Nr.252, Bl. 550.
- 15 StAC, 31050, Nr.393, Bl. 81.
- 16 Kirchberg, Peter: Plaste, Blech und Planwirtschaft. Die Geschichte des Automobilbaus in der DDR. Berlin 2005, S. 33. Siehe dazu Kapitel 3.1.2. Folgend zitiert als: Kirchberg, Plaste.
- 17 Kukowski, Martin: Die Transformation des westsächsischen Automobilbaus nach 1945 am Beispiel der Auto Union AG, Chemnitz, S. 224. In: Hess, Ulrich; Listewnik, Petra, Schäfer, Michael: Unternehmen im regionalen und lokalen Raum. 1750–2000. Leipzig 2004, S. 237.
- 18 Wappler, Günther: Framo & Barkas. Die Geschichte der 2-Takt Transporter aus Sachsen. Zwickau 2005, S. 44.
- 19 Kirchberg, Plaste, S. 568.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2014:

Festigkeits-, Verformungs- und Versagensverhalten zellulärer TRIP-Stahl- und TRIP-Matrix-Composite-Strukturen in Abhängigkeit von Beanspruchung, Temperatur und Geschwindigkeit

David Ehinger

Einleitung

Im Interesse der Einhaltung umfangreicher Gesetzesvorlagen und sonstiger strenger Regularien bezüglich Ökonomie, Sicherheit und Komfort liegt der Fokus der Bemühungen um die Verkehrstechnik bereits seit Jahren bei der Entwicklung und Umsetzung neuer Material- und Konstruktionskonzepte im Sinne des Werkstoff- und Strukturleichtbaus. Weitere Aufgabenschwerpunkte betreffen die Erforschung und Konzipierung geeigneter Sicherheitssysteme für den Insassenschutz sowie die Optimierung des Kraftstoffverbrauchs bzw. des CO₂-Ausstoßes. Die Implementierung neuartiger energieabsorbierender Komponenten, Trägerstrukturen und Interieurbauteile zur Erhöhung der aktiven bzw. passiven Sicherheit von Automobil-, Luft- und Schienenfahrzeugen wirkt dem ökonomischen Leichtbaugedanken jedoch oftmals entgegen. Um eine optimale Kombination aller dieser Zielstellungen dennoch zu gewährleisten, bietet sich der Einsatz von innovativen Werkstoffsystemen im Zusammenspiel von Aluminium/CFK-Verbundbauweisen, niedrig- bzw. hochlegierten hochfesten Stählen, Verbundwerkstoffen oder zellulären Strukturen an. Solche Materialien bzw. Strukturen empfehlen sich durch sehr attraktive spezifische Festigkeits- und Verformungseigenschaften bei niedrigem Materialgewicht. Metastabile hochlegierte, austenitische Stähle verfügen zudem über die besondere Eigenschaft, während einer plastischen Deformation einer verformungsinduzierten, martensitischen Phasenumwandlung zu unterliegen, die im Sinne des sog. *Transformation Induced Plasticity (TRIP)*-Effekts zu einer weiteren Festigkeitssteigerung sowie einer Duktilitäts- und Zähigkeitserhöhung beiträgt. Neben den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs sind insbesondere das Design bzw. die Geometrie und der Versagensmodus des Bauteils während der Beanspruchung von großer Bedeutung. Da sich natürliche (biogene) Strukturen zumeist durch eine hohe Steifigkeit, Tragfähigkeit und Gewichtseffizienz auszeichnen, besteht bei Ingenieuren ein großes Interesse daran, deren Gestalt und Topologie auf technische Komponenten zu übertragen

bzw. sie in Form von „biomimetischen“ oder „bionischen“ Materialien, wie Schäumen, Hohlkugelclustern, Gitter- und Wabenstrukturen, in die konstruktive Praxis einzuführen.

Die grundlegende Vision, die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 799 „TRIP-MATRIX-COMPOSITE“ verfolgt wird, ist die der Erforschung einer neuen Klasse von Hochleistungsmaterialien, die neben einer metastabilen hochlegierten, austenitischen Stahlmatrix und einem an die jeweilige Bauteilbeanspruchung angepassten Strukturdesign eine metastabile, zähe, MgO-teilstabilisierte ZrO₂ (Mg-PSZ)-Keramik beinhalten. Das besondere Zusammenspiel zwischen dem makroskopischen Verhalten, den Mikrostrukturmerkmalen, den Verformungs- und Umwandlungsmechanismen sowie den Grenzflächenwechselwirkungen in den TRIP-Matrix-Compositen soll in erster Linie dazu genutzt werden, neuartige hocheffiziente, komplexe und höchstbeanspruchbare Komponenten für den Insassenschutz in zukünftigen Verkehrsfahrzeugen bereitzustellen.

Die hier referierte Forschung befasst sich mit der experimentellen Untersuchung und der modellgestützten Beschreibung des Fließspannungs-, Verformungs- und Versagensverhaltens zellulärer Wabenstrukturen unter einsinniger Druck- und Biegebeanspruchung bei unterschiedlichen Deformationsgeschwindigkeiten und Temperaturen. Dabei wurden insbesondere die Knick- und Versagensmodi der Struktur und deren Wechselwirkung mit den Verfestigungs- und Entfestigungsprozessen des Matrixwerkstoffs, den

martensitischen Phasenumwandlungen sowie den Schädigungsmechanismen in den Einzelkomponenten Stahl und Keramik betrachtet.

Ergebnisse

Die untersuchten Wabenstrukturen weisen in Abhängigkeit von Strukturtyp (196 bzw. 64 *cells per square inch*) und Werkstoffzustand ein unterschiedliches Fließspannungsverhalten auf – basierend auf jeweils andersartigen Verformungs- und Versagensmechanismen. Die in *Abb. 1a* und *Abb. 1b* dargestellten Spannungs-Stauchungs-Kurven, resultierend aus quasistatischer Druckbeanspruchung (entlang der Kanalachse X₃, d. h. *out-of-plane (OOP)*), sind durch einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Spannungsanstieg gekennzeichnet, beruhend auf einer Materialverfestigung – hin bis zu einem Spannungsmaximum und nachfolgendem Spannungsabfall oder auch plateauconformem Verhalten. Eine Festigkeitserhöhung aufgrund in die Stahlmatrix (Zustände 5Z und 10Z mit 5 bzw. 10 Vol.% ZrO₂) eingebrachter Mg-PSZ-Partikel ließ sich ausschließlich im ersten Verformungsstadium bzw. im sog. Vorknickstadium (*pre-buckling*) der Struktur nachweisen.

Das unterschiedliche Verformungs- und Schädigungsverhalten der Wabenkörper wird in *Abb. 2* exemplarisch u. a. für den Zustand 5Z veranschaulicht. Die höherdichten 196 cpsi-Strukturen versagen nach Überschreiten des Spannungsmaximums (*post-buckling*) durch die Ausbildung von plastischen Fließgelenken und -kinken, die sich kreuzförmig in Richtung

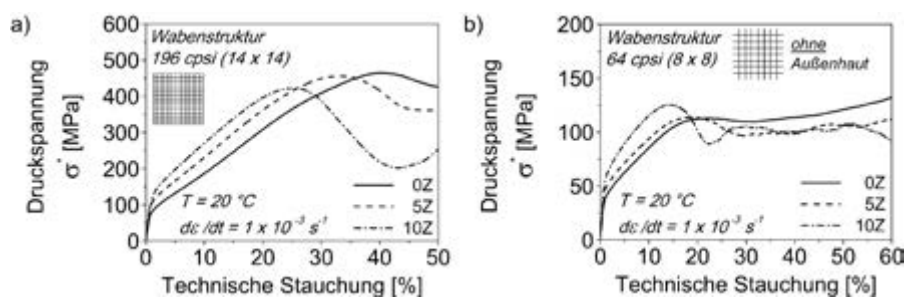


Abb. 1: Spannungs-Stauchungs-Verhalten der Wabenkörper unter quasistatischer OOP-Druckbeanspruchung ($d\varepsilon/dt = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$; ε =Dehnung) bei Raumtemperatur in Abhängigkeit von dem Mg-PSZ-Partikelanteil: a) 196 cpsi-Strukturen [1, 2, 3], b) 64 cpsi-Strukturen ohne Außenhaut

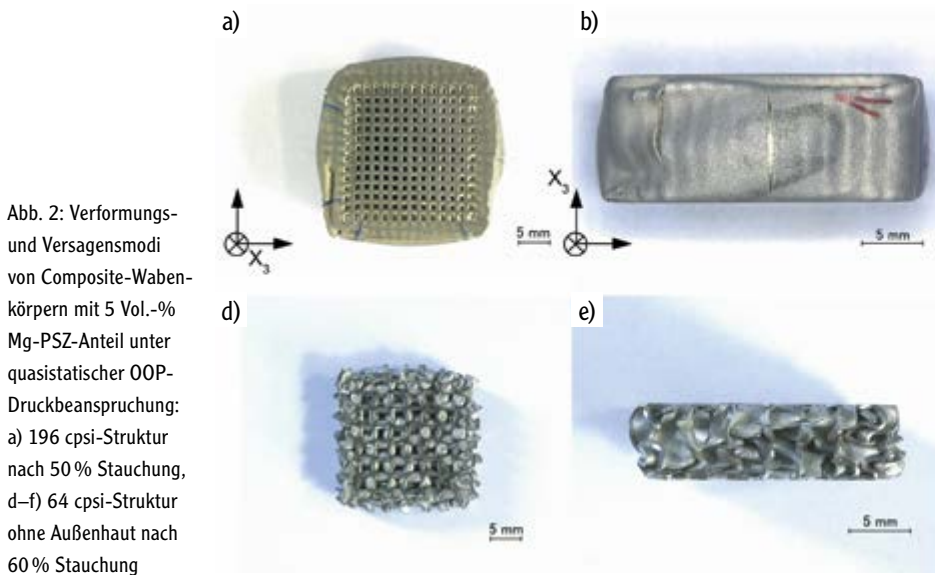


Abb. 2: Verformungs- und Versagensmodi von Composite-Wabenkörpern mit 5 Vol.-% Mg-PSZ-Anteil unter quasistatischer OOP-Druckbeanspruchung: a) 196 cpsi-Struktur nach 50 % Stauchung, d-f) 64 cpsi-Struktur ohne Außenhaut nach 60 % Stauchung

Probenmitte orientieren [4, 5]. Nach einer technischen Stauchung um 50% werden vorwiegend in den Verbundwerkstoffzuständen Makroschädigungsprozesse in der Außenhaut und im stark deformierten Wabenzentrum eingeleitet. Dagegen wird das Verformungsverhalten der 64 cpsi-Strukturen bei hohen Deformationsgraden durch eine progressive Faltung der Kanalwände auf niedrigerem, nahezu konstantem Spannungsniveau dominiert. Die Schädigung tritt hier bevorzugt in den nach außen gerichteten, lokal unter Zug beanspruchten Knickzonen auf.

Eine Erhöhung der Dehngeschwindigkeit ($d\varepsilon/dt$) und eine Veränderung der Prüf- bzw. Deformationstemperatur haben gleichermaßen signifikante Auswirkungen auf das Fließspannungs- und Verformungsverhalten [2, 6]. Demzufolge wird bei höheren Dehnraten $d\varepsilon/dt \geq 10^{-1} s^{-1}$ eine dynamische Festigkeitssteigerung

hervorgerufen (s. Abb. 3), die jedoch materialspezifisch von einer quasiadiabatischen Probenerwärmung und Struktur-schädigung überlagert sein kann. Die in Form von Wärme gespeicherte Energie (~95% der geleisteten plastischen Verformungsarbeit) bewirkt mit zunehmender Stauchung eine Abnahme des TRIP-Effekts (d. h. eine Verringerung des martensitischen Volumenanteils in der Stahlmatrix, Vol.-% α'), gleichbedeutend mit einer Materialentfestigung [7].

Hingegen werden bei niedrigeren Umgebungstemperaturen ($T < RT$) höhere Spannungs- und Dehnungskonzentrationen in der Stahlmatrix und insbesondere an den Grenzflächen bzw. innerhalb der Keramikpartikel induziert, wodurch ausgeprägte Verzerrungen (Abb. 4a, blau \rightarrow grün \uparrow), martensitische Phasenumwandlungen (Abb. 4b), aber auch Risse in den einzelnen Werkstoffkomponenten (Abb.

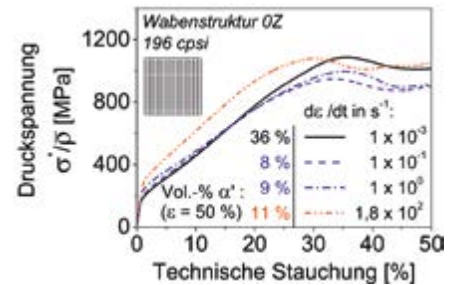
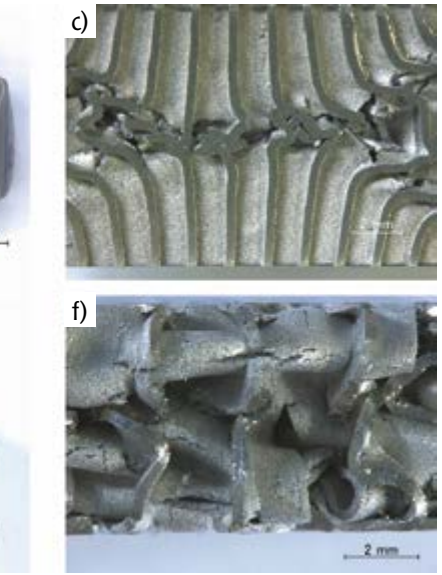


Abb. 3: Spannungs-Stauchungs-Kurven für TRIP-Stahl (OZ)-Wabenkörper unter OOP-Druckbeanspruchung in Abhängigkeit von der Dehnrate; einschließlich Entwicklung des martensitischen Volumenanteils nach 50% Stauchung [7]

4c) hervorgerufen werden [8]. Die höchste Festigkeit und eine maximale Energieabsorption (entspricht der Fläche unter der Spannungs-Stauchungskurve) wurden bei einer crashrelevanten Beanspruchung von $1,8 \times 10^2 s^{-1}$ und/oder tiefen Temperaturen gemessen.

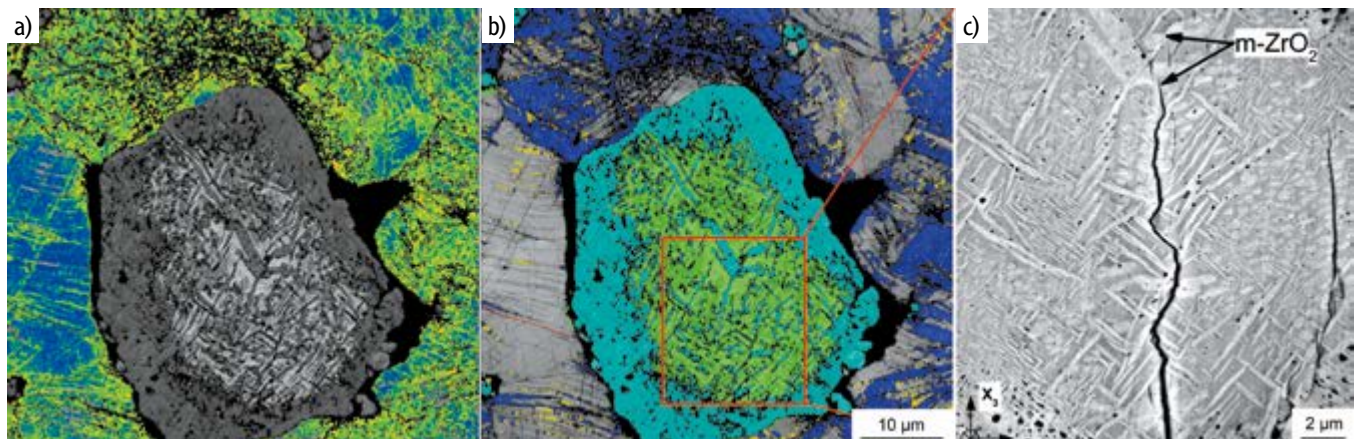


Abb. 4: REM/EBSD-Untersuchungen zur Mikrostruktur der 196 cpsi-Composite (10Z)-Struktur unter quasistatischer OOP-Druckbeanspruchung ($d\varepsilon/dt = 10^{-3} s^{-1}$) bei 20% Stauchung und $-60^\circ C$ (a-c) [8]: a) Missorientierung (KAM) in der Nähe eines ZrO_2 -Partikels (Bandkontrast), b) EBSD-Phasendarstellung: Austenit (γ -Fe) – grau (Bandkontrast), α' -Martensit – blau, ε -Martensit – gelb, $\Sigma 3$ -Zwillingsgrenzen – rot, c/t- ZrO_2 – grün, m- ZrO_2 – cyan-blau, c) monokline (m) Zwillingsdomänen an Rissflanken und Rissspitzen bzw. im Zentrum eines intakten ZrO_2 -Partikels

Zusammenfassung

Das Fließspannungs- und Verformungsverhalten sowie das Versagensbild zellulärer Wabenstrukturen wird maßgeblich vom Wabendesign, von der Verformungsgeschwindigkeit, der Prüf- und Deformationstemperatur, der Werkstoffzusammensetzung und der Art der Beanspruchung beeinflusst. Im Gegensatz zu konventionellen dünnwandigen Hohlstrukturen sind diese Wabenkörper durch ein ausgeprägtes plastisches Vorknickstadium gekennzeichnet, das von den Verfestigungs- und Entfestigungsprozessen des Matrixwerkstoffs, den martensitischen Phasenumwandlungen sowie den Verstärkungs- und Schädigungsmechanismen in den Einzelkomponenten Stahl und Keramik kontrolliert wird. Eine Erhöhung der Verformungsgeschwindigkeit und/oder des Mg-PSZ-Anteils führt zunächst zu einer Steigerung des Spannungsniveaus und der Energieabsorption, jedoch mit fortschreitender Verformung zu einer thermischen Entfestigung bzw. Materialschädigung.

Aufbauend auf den experimentellen Ergebnissen wurden darüber hinaus ein semi-empirisches Fließkurvenmodell und analytische Versagensmodelle zur Beschreibung des Fließspannungsverhaltens und zur Vorhersage von Strukturkennwerten in Abhängigkeit von Wabendesign,

Temperatur, Dehnrate und Werkstoffzustand erstellt.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dieser Arbeit dienen als Grundlage für die Erforschung und Weiterentwicklung neuartiger oder bereits etablierter Material- und -Strukturkonzepte im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 799 „TRIP-MATRIX-COMPOSITE“.

Danksagung: Ein herzlicher Dank gilt dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie e.V. für die Verleihung des Bernhard-von-Cotta-Preises 2014, der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die langjährige finanzielle Projektunterstützung und allen Kollegen des Sonderforschungsbereichs 799 TRIP-MATRIX-COMPOSITE für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Themenvernetzung.

Referenzen

- 1 D. Ehinger, L. Krüger, U. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Strain Rate Effect on Material Behavior of TRIP-Steel/Zirconia Honeycomb Structures", *Steel research int.*, 82(9):1048-1056, 2011.
- 2 D. Ehinger, L. Krüger, U. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Deformation Mechanisms and Martensitic Phase Transformation in TRIP-Steel/Zirconia Honeycombs", *Steel research int.*, 83(6):565-575, 2012.
- 3 C. Weigelt, H. Berek, C. G. Aneziris, D. Ehinger und U. Martin, "Martensitic Phase Transformation in TRIP-steel / Mg-PSZ Honeycomb Composite Materials on Mecha-

nical Load", *Adv. Eng. Mater.*, 14(1-2):53-60, 2012.

- 4 L. Krüger, D. Ehinger, U. Martin, S. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Microstructure and mechanical properties of cold extruded, cellular TRIP-matrix composite structures under quasi-static and dynamic compression," *High Performance Structures and Materials V, WIT Transactions on The Built Environment*, 112:39-49, 2010.
- 5 U. Martin, D. Ehinger, L. Krüger, S. Martin, T. Mottitschka, C. Weigelt, C. G. Aneziris und M. Herrmann, "Cellular Energy Absorbing TRIP-Steel/Mg-PSZ Composite: Honeycomb Structures Fabricated by a New Extrusion Powder Technology"; *Adv. Mater. Sci. Eng.*, 2010(Article ID 269537):1-6, 2010.
- 6 D. Ehinger, L. Krüger, S. Krause, U. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Dynamic impact of high-density square honeycombs made of TRIP steel and TRIP matrix composite material"; *10th Int. Conf. on the Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading (DYMAT), EPJ WEB of Conf.*, 26(01056):1-6, 2012.
- 7 [7] D. Ehinger, L. Krüger, U. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Buckling and crush resistance of high-density TRIP-steel and TRIP-matrix composite honeycombs to out-of-plane compressive load"; *Int. J. Solids Struct.*, 66:207-217, 2015.
- 8 D. Ehinger, L. Krüger, U. Martin, C. Weigelt und C. G. Aneziris, "Temperature effects on the deformation behavior of high-density TRIP steel and particle-reinforced TRIP steel/zirconia honeycombs under quasi-static compressive loading", *Adv. Eng. Mater.*, 15(7):646-657, 2013.

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.

Summerschool Arctic Floating University 2015 – Exploring Russian Arctic

Die Summerschool Arctic floating University wurde von der Northern Arctic Federal University in Arkhangelsk organisiert. Sie bestand aus einer per Schiff unternommenen Expedition, während der sowohl Forschungsarbeit getätigt wurde als auch Lehrveranstaltungen gehalten wurden.

Franz-Josef-Land



Das Expeditionsschiff ankert in der Stillen Bucht (Tikhaya Bay) im Franz-Josef-Land

Die Route der Expedition verlief von Archangelsk über Waigatsch und Nowaja Semlja nach Franz-Joseph-Land. Während der Expedition wurden folgende Forschungsprojekte bearbeitet und Lehrmodule behandelt:

- Ornithologische Untersuchungen
- Bodenuntersuchungen (Permafrost)
- Ozeanografische Untersuchungen (Messungen der Salinität und der Temperatur des Ozeans)
- Meteorologische Untersuchungen
- Klimaforschung
- Geologische Untersuchungen der Küstenzone
- Arktische Vegetation
- Vermessungsarbeit
- Medizinische Untersuchungen (Verhalten des Herz-Kreislaufsystems in hohen Breitengraden)
- Soziologische Untersuchungen (Situation der indigenen Völker)
- Geopolitische Untersuchungen (Arktiserschließung, geopolitische Aspekte)

Die Verantwortlichen der jeweiligen Module realisierten während der Fahrt Lehrveranstaltungen zu ihrem jeweiligen Fach bzw. Themengebiet. Am vorletzten Tag der Expedition war es die Aufgabe einer jeden Forschungsgruppe, ihre Ergebnisse in Form eines Vortrags zu präsentieren. Während der Summerschool hatten die Studenten vielfache Gelegenheit, sich in wissenschaftliche Projekte einzuklinken oder ggf. eigene durchzuführen.

So veranschaulichte Christine Seupel mit Hilfe von Klimadaten, die durch die internationale Klimamodellierungsgemeinschaft im Rahmen des Modellvergleichsprojekts CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5*) erstellt wurden, den Rückgang der Meereisüberdeckung der Arktis. Dabei wurden die Daten der deutschen Max-Planck-Gesellschaft mit denen aus dem Brasilianischen Klimamodell verglichen. Außerdem hatte sie Gelegenheit, an den ozeanografischen Untersuchungen im Weißen Meer teilzunehmen. Dabei wurden auf verschiedenen

Profilen die Salinität und die Temperatur des Ozeans bestimmt. Die erhaltenen Werte wurden mit den aus vorherigen Expeditionen stammenden Messergebnissen verglichen.

Christoph Böttger bearbeitete ein eigenes, von Professor Drebenstedt, Freiberg, verantwortetes Forschungsprojekt. Im Auftrag von Dr. Taras Shepel maß er die auf dem Achterdeck an der Winde des Schiffes auftretenden Neigungen und Beschleunigungen. Diese Daten werden für die weitere Forschungsarbeit im Rahmen eines Meeresbergbau-Projekts benötigt, um Gerätetechnik in Gestalt eines *Single Bucket Dredgers* entwerfen zu können. Bis jetzt waren nur diejenigen Kräfte, Beschleunigungen und Neigungen zahlenmäßig bekannt, die vom Grabgefäß auf das Stahlseil wirken. Nun konnte erstmals untersucht werden, welche Beschleunigungen und Neigungen bei unterschiedlichen Wellen- und Wetterbedingungen vom Schiff her auf das Stahlseil wirken.

■ Christine Seupel, Christoph Böttger

Brennendes Eis und die Bergakademie? Und ob das geht!



© MARUM Bremen, https://www.marum.de/en/Mensch_und_Meerchina

Das bei der Dissoziation freigesetzte Methan brennt, wodurch der Eindruck eines brennenden Eisstücks entsteht

Um die steigende, globale Nachfrage nach Energie zu stillen, stoßen Ingenieure und Wissenschaftler in immer neue, auch unwirtliche Regionen der Erde vor, u. a. in die Tiefsee. An den Kontinentalhängen der Erde schlummert ein Schatz, der unscheinbarer nicht sein könnte. Begraben unter mehreren hundert Metern Sediment, stößt man auf eine eisähnliche Substanz, die ihren Spitznamen „brennendes Eis“ wirklich verdient hat. Denn in diesem „Eis“ entdeckte man vor nun fast 50 Jahren Kohlenwasserstoffe, zumeist Methan, das in Hydratkäfigen eingebunden ist. Dieses Eis bekam den Namen Methanhydrat, das als potenzieller Energieträger der Zukunft Schlagzeilen machte, da man davon ausgeht, dass weltweit etwa 3.000 Gt Kohlenstoff im Methanhydrat gebunden sind. Das ist etwa dreimal so viel, wie in allen heute bekannten Vorräten an konventionellen Energieträgern (Kohle, Erdgas, Erdöl) zusammen. Weltweit laufen unzählige Programme, die sich der Erforschung von Methanhydrat widmen. Auch bei uns ist dieses Thema aktuell, und die TU Bergakademie Freiberg leistet zu ihm ihren Beitrag.

Im Rahmen des durch die Bundesregierung geförderten Projekts SUGAR wurde vom „Zentrum für marine Umweltwissenschaften“ (MARUM) in Bremen ein Meeresbodenbohrgerät (MeBo) entwickelt, das der submarinen Probennahme dienen soll. Hierbei wird eine vollautomatische Bohranlage von einem Schiff aus auf dem Meeresgrund abgesetzt. Das von der

BAUER-Gruppe gebaute MeBo ist in der Lage, eine Endteufe von 75 m zu erreichen. Durch Verwendung einer Hohlbohrkrone kann der Meeresboden über die gesamte Bohrlochlänge beprobt werden, was einen Einblick in den Aufbau, die Zusammensetzung und die Struktur des Meeresbodens ermöglicht. Nach einer erfolgreichen Testperiode entschied man sich, ein weiteres MeBo zu entwickeln. Allerdings sollte die maximal erreichbare Teufe auf nun 200 Meter vergrößert werden sowie der Einbau von Messinstrumenten erfolgen, um Aussagen über das Umgebungsgestein und das Bohrloch selbst treffen zu können. Letzteres ist Aufgabe des Instituts für Bohrtechnik und Fluidbergbau in Freiberg. Unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich arbeiten Dipl.-Ing. Christian Schröder sowie mehrere Studenten an diesem Projekt. Ziel des Projekts ist es, eine Sonde zu entwickeln, die bereits während, spätestens jedoch nach Beendigung der Bohrarbeiten, eine möglichst detailgetreue Aussage über die Größe, Ergiebigkeit und Qualität der erkundeten Lagerstätte zulässt. Des Weiteren soll im Rahmen des Projekts das MeBo von einem ROV (*Remote Operated Vehicle*) zu einem kommerziell nutzbaren, automatisiert zu steuernden Explorationsbohrgerät weiterentwickelt werden.

Zu Beginn der dritten Projektphase wurde für die Entwicklung einer Messsonde die Antares Datensysteme GmbH hinzugezogen. Im März wurde ein Treffen vereinbart, um sich über den Projektfortschritt zu beraten und sich über Details auszutauschen. Dank der Unterstützung durch den Verein „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.“ konnten auch zwei Studenten (Tobias Tröger und der Autor) an dem Treffen in Bremen an der dortigen Universität teilnehmen. Beide beschäftigten wir uns schon im Rahmen einer Studienarbeit bzw. eines Seminars mit der Thematik und konnten es kaum erwarten, das Angelesene in praxi zu sehen. Am 4. März 2015 war es dann soweit: Wir fuhren zu den heiligen Montagehallen der Uni Bremen. In einem modernen, 2008 eingeweihten Gebäudekomplex in Sichtweite des berühmten Fallturms für Schwerelosigkeitsversuche, der mit seinen Backstein-, Glas- und Stahlelementen eine interessante Mischung aus industrieller und moderner Architektur in sich vereint, befindet sich das MARUM samt Werkhallen, Büros, dem Bohrkernlager und den zugehörigen Laboren. Der Projektverantwortliche, Dr.

Freudenthal, erwartete uns bereits und begrüßte uns mit einer Präsentation zum aktuellen Stand des Projekts, während man durch ein Innenfenster bereits einen neugierigen Blick auf das MeBo in der angrenzenden Halle werfen konnte. So erfuhren wir, dass zum Zeitpunkt unserer Ankunft Wissenschaftler mit der korrekten Programmierung der Rohreinbaumechanismen beschäftigt waren – mit einem Prozess, der auf offener See komplett automatisiert ablaufen soll. Man kann das mit einem Kind vergleichen, das das Laufen lernt. Alle Schritte müssen einzeln von dem Kind bzw. von der Maschine erlernt werden – mit dem Unterschied, dass bei einem Fehler das 12 Tonnen schwere MeBo nicht umfallen darf und stattdessen nur eine Fehlermeldung an die Steuereinheit sendet. Dann war es an der Zeit, das MeBo aus nächster Nähe zu betrachten. Für den praxisorientierten Studenten ist das beste Anschauungsmaterial schließlich die Maschine selbst. Der Einbau einer Rohrtour mittels hydraulischer Greifer wurde simuliert. Des Weiteren konnte man neben den diversen Bohrkronen, der Steuereinheit, die ein wenig an ein Cockpit erinnerte, und dem Kabel zur Datenübertragung auch die speziellen Beprobungsbehälter, die den Druck in der entsprechenden Wassertiefe simulieren (da Methanhydrate bei Standarddruck dissoziieren) in natura betrachten. Nachdem wir einen Einblick in das MeBo selbst erhalten hatten, wurde uns das zusätzliche Equipment für die Stromversorgung, die Datenübertragung und den Transport des MeBo vorgestellt, das in Containern untergebracht war, da das den Transport auf Forschungsschiffen deutlich erleichtert. Auf Anfrage zeigte uns Dr. Freudenthal noch weitere Systeme für die Erforschung der Tiefsee sowie eines der größten Bohrkernlager für marine Sedimente in Europa. In den Laboren wurden uns die Verfahren gezeigt, mit denen die bei Expeditionen gewonnenen Kerne untersucht werden.

Zwar ist bis zu einer wirtschaftlichen Nutzung von Methanhydraten noch ein weiter Weg zu gehen, aber Forscher auf der ganzen Welt beschäftigen sich mit dem „brennenden Eis“ als einem Energieträger der Zukunft, der das Potenzial besitzt, bisher genutzte fossile Energieträger als dominierende Primärenergiequelle abzulösen. Und was wäre das für eine Ressourcenuniversität, wenn sie sich an der Lösung dieser Aufgabe nicht beteiligte?

■ Lennart Schimmrigk, Tobias Tröger,
Christian Schröder



Wasserprobenahme von heißen Quellen der Steamboat Springs Region für chemische Analysen im Labor

Fünf Monate Gastforscherin an der Colorado School of Mines

Im Anschluss an meine Mastergraduierung in Lagerstättenlehre an der TU Bergakademie Freiberg entschied ich mich für einen fünfmonatigen Gastforschungsaufenthalt an der Colorado School of Mines (CSM). Die CSM in Golden genießt weltweit einen ausgezeichneten Ruf und hat sich in der Ausbildung von Geowissenschaftlern und als Forschungseinrichtung im Bereich Bergbau verdient gemacht. Diese Partneruniversität der Bergakademie bietet jedes Jahr Freiburger Studenten die Möglichkeit, ein Austauschsemester zu absolvieren.

Golden ist Teil der Metropolregion Denver im Bundesstaat Colorado, USA, und verdankt seinen Namen dem Goldsucher Thomas L. Golden. Colorado ist in den USA als einer der landschaftlich schönsten Staaten bekannt; die ca. 300 Tage Sonnenschein im Jahr sind daran sicher nicht ganz unschuldig. Colorado und besonders Denver ist ein Zentrum der Rohstoffwirtschaft. Neben der CSM haben zahlreiche Bergbauunternehmen ihren Hauptsitz oder eine Zweigstelle in Denver. Hinzu kommen zwei weltberühmte Molybdänit-Lagerstätten (Climax, Henderson) in unmittelbarer Nähe und eine lange Bergbaugeschichte.

Ab Beginn des Jahres (2015) unterstützte ich als Gastwissenschaftlerin das Team des mineralanalytischen Labors. Gemeinsam mit der Leiterin des Labors, Katharina Pfaff, und anderen Masterstudenten analysierten wir Proben aus Industrie- und Hochschulprojekten mit der QEMSCAN, einem auf rasterelektronischen Abbildungen basierenden Analysegerät, das den „Chemismus“ der Proben wiedergibt. Die

dabei ermittelten Daten liefern statistisch sichere Kennwerte über die stoffliche Zusammensetzung und die strukturellen Eigenschaften von Locker- und Festgesteinen, Erzen, Aufbereitungskonzentrationen und metallurgischen Produkten. Außerdem können zur mineralogischen Charakterisierung der Einzelkomponenten Parameter, wie die Korngestalt und Größe sowie deren Verteilung, Kornbindung und/oder Verwachsungen analysiert werden. Texturale Informationen – wie zum Beispiel über die Art der Raumerfüllung (Porosität) – oder die Bestimmung organischer Komponenten finden vor allem bei der Erdölexploration Anwendung.

Mein Forschungsprojekt galt der Estelle-Liegenschaft, einem Gebiet im Süden von Alaska, etwa 170 km nordwestlich von Anchorage, die wegen ihrer Goldvorkommen Gegenstand der Untersuchungen ist. Unklar ist bisher, woher das Gold stammt, welche genetischen Prozesse zur Goldmineralisation geführt haben und ob das edle Metall in Zukunft wirtschaftlich gewonnen werden kann. Um diese Fragen zu beantworten, wurden sowohl die magmatisch-hydrothermalen Fluide sowie das Nebengestein auf ihre mineralchemischen Eigenschaften hin untersucht – basierend auf den zuvor erwähnten QEMSCAN-Analysen zur Bestimmung des Modalbestands der Proben –, und um Dünnschliffscans herzustellen, ausgehend von den BSE-Bildern. Spurenelemente und deren Verteilung in den Gangmineralen (Arsenopyrit und Löllingit) wurden mit der LA-ICP-MS (*Laser ablation inductive coupled plasma mass spectrometry*) ermittelt. Anhand von

Untersuchungen der Fluideinschlüsse in den erzführenden Quarzgängen konnten Aussagen zu den Mineralisationsbedingungen und Eigenschaften der Fluide getroffen werden. Parallel dazu wurden Kathodolumineszenzbilder erzeugt, mit denen man die verschiedenen Ganggenerationen voneinander unterscheiden konnte.

Die Goldmineralisationen im südwestlichen Alaska werden mit drei kretazischen magmatischen Events assoziiert, wobei das jüngste Ereignis (75–65 Ma) mit Estelle in Verbindung gesetzt wird. In unmittelbarer Nähe des reduzierten intrusionsgebundenen Au-Systems Estelle befinden sich der reduzierte Au-Cu-*Island Mountain Porphyry* und der oxidierte Cu-Au-*Whistle Porphyry*. Ziel war es, die komplexe Mineralisationsgeschichte des Estelle-Systems zu verstehen und in eine Relation zum Genesemodell dieser Art von Gold-Lagerstätten zu bringen.

Der Estelle-Komplex besteht aus mehreren undifferenzierten Intrusionskörpern, die eine nordstreichende Bergkette aufbauen, welche bisher nur mit dem Helikopter und – wegen ihrer Nordlage – auch nur in den Sommermonaten erreichbar sind. Das gesamte zu untersuchende Territorium ist bisher noch nicht infrastrukturell erschlossen. Im Tal gibt es aber ein Explorationscamp, von dem aus 2012 und 2013 Exkursionen des U.S.G.S. (US-amerikanischer geologischer Dienst) starteten, um die Region rund um Estelle geologisch zu kartieren und Proben zu nehmen. Diese Proben wurden in vorangegangenen Projektarbeiten petrografisch beschrieben sowie altersdatiert und standen mir für weitere Untersuchungen zur Verfügung. Mein Fokus lag in der Dokumentation und Darstellung der mineralanalytischen Ergebnisse und der Interpretation der Messungen.

Im Sommer kann man in den Rocky Mountains wandern oder an einer der zahlreichen weltberühmten Fundstellen Minerale sammeln, im Winter hat man die Auswahl zwischen 15 Skigebieten.

Im Mai hatte ich die Gelegenheit, mit einer Gruppe von Masterstudenten auf eine zweiwöchige Exkursion nach Kanada zu fahren, um dort die Geologie eines Archaischen Grünsteingürtels zu studieren. Meine Praktikumsbetreuerin willigte in meine Bitte, den nordamerikanischen Kontinent besser kennenzulernen, gern ein. Für mich war das eine großartige Gelegenheit, neben der Labortätigkeit auch im Gelände praktische Erfahrungen zu sammeln.

■ Julia Schmiedel

Chronik 2016

725 Jahre – 1291

- Dietrich Obras wird als erster Bürgermeister der Stadt Freiberg genannt. Er steht an der Spitze des Rates und der Stadtgemeinde.
- Der Markgraf verbrieft den Freiburger Bürgern Zoll- und Geleitsfreiheit für die Mark Meißen und Thüringen.

475 Jahre – 1541

- Herzog Heinrich der Fromme wird als erster Wettinischer Fürst im Chor des Freiburger Domes beigesetzt.

375 Jahre – 1641

- erstmals Schießpulver im sächsischen Bergbau eingesetzt (Schneeberg)

250 Jahre – 1766

- Anfang Mai beginnen im Erdgeschoss des Wohnhauses von Oberberghauptmann Friedrich Wilhelm von Oppel in der Futtergasse (heute Akademiestraße 6) die ersten Vorlesungen an der neugegründeten Bergakademie Freiberg.
- (14.11.) Friedrich Wilhelm Wagner geboren, Student 1784/88, 1795 Oberstollnfaktor und Beisitzer im Bergamt Freiberg, 1823 Vizebergmeister

225 Jahre – 1791

- (Tag unbekannt) Johann Friedrich Scheuchler gestorben, Oberbergamtssekretär, führt 1771-1774 die Aufsicht über die Mineraliensammlungen der Bergakademie, später Oberbergmeister von Schneeberg
- (18.05.) Friedrich August Breithaupt geboren, Student 1811/13, 1826-1866 Professor für Mineralogie, 1813-1834 letzter sächsischer Edsteininspektor

175 Jahre – 1841

- (05.01.) „Bergmännischer Verein“ in Freiberg gegründet
- (16.01.) Johann August Sieghardt gestorben, Student 1769, 1802-1834 Lehrer für Probierkunst, Oberschiedswarden beim Oberhüttenamt in Freiberg
- (24.02.) Arnulf Schertel geboren, 1896-1902 (Tod) Professor für Hüttenkunde, 1873-1902 Leiter des Hüttenlaboratoriums bei den Freiburger Hütten
- (02.03.) Fritz Honigmann geboren, Student 1865/66, Bergwerksdirektor in Westfalen, Erfinder des nach ihm benannten Schachtbohrverfahrens im schwimmenden und rollenden Gebirge
- (23.03.) Clement Le Neve Foster geboren, Student 1859/60, Bergingenieur in Venezuela, Italien und England, 1890 Professor für Bergbaukunde an der Royal School of Mines London
- (16.04.) Eduard Othberg geboren, Student 1860/62, Bergdirektor der Kupfergruben von Mancayan auf Luzon/Philippinen, Generaldirektor des Eschweiler Bergwerksvereins
- (23.05.) Franz Xaver von Baader gestorben, Student 1788/92, 1807 Oberbergrat bei der Generaldirektion der bayrischen Bergwerke und Salinen in München, 1828 Professor für Philosophie und Theologie an der Universität München
- (21.08.) Jean Francois d'Aubuisson de Voisins gestorben, Student 1797/1802, Chefingenieur im französischen Corps des Mines, sein Buch „Les Mines de Freiberg“ wurde um 1840 für den Französischunterricht an der Bergakademie benutzt
- (15.12.) Ernst Theodor Böhmer geboren, Student 1861/65, Bergdirektor im Oelsnitzer Steinkohlenbergbau

150 Jahre – 1866

- „Breithaupt-Stipendium“, gestiftet von der Freiburger Freimaurerloge „Zu den drei Bergen“, anlässlich des 40-jährigen Lehrerbildungs- und Eintritts in den Ruhestand von Mineralogie-Professor August Breithaupt
- (02.02.) Bergmeister Wilhelm Fischer gestorben, Student 1813, stiftet 3.000 Mark zur Vergabe von Reisestipendien für Bergakademisten
- (08.04.) Max Zell geboren, Student 1887/91, 1923 Ehrendoktor, Generaldirektor der Halleischen Pfännerschaft A.G.
- (13.04.) Wilhelm Völker geboren, Student 1888/94, Hütteningenieur und Direktor mehrerer Eisenwerke
- (04.07.) Otto Brunck geboren, 1896-1934 Professor für Chemie, 1919/20 und 1930/31 Rektor der Bergakademie Freiberg
- (09.08.) Cornelius Blankevoort geboren, Student 1888/92, 1897-1932 Oberster staatl. Aufsichtsbeamter des holländischen Steinkohlenbergbaus
- (03.11.) Alfred Bernhard Thiemann geboren, Student 1886/90, Hüttenleiter im Blaufarbenwerk Niederpfannenstiel (seit 1922 Stadtteil von Aue)
- (11.12.) Carl Friedrich Selbmann gestorben, Student 1811/15, Betriebsinspektor der Porzellanmanufaktur Meißen
- (12.12.) Friedrich Carl von Schenk gestorben, Student 1807/1810, Geheimer Rat, Direktor der Bayerischen General-Bergwerks- und Salinen-Administration
- (20.12.) Reinhold Freiherr von Walther geboren, 1918-1939 Professor für Organische Chemie und Chemie der Kohle, 1931-1933 Rektor der Bergakademie Freiberg
- (25.12.) Franz Hermann Böhme geboren, 1900-1902 Professor für Bergrecht und Allgemeine Rechtskunde, 1919-1932 Präsident des Landesrechnungshofs Dresden

125 Jahre – 1891

- Errichtung der „Wiede-Stiftung“ zur Reiseunterstützung für Studierende der Bergakademie durch Gotthelf Anton Wiede, Student 1858/59, Bergwerksbesitzer und Bergrat aus Bockau bei Zwickau
- (22.03.) Friedrich Constantin Freiherr von Beust gestorben, Student 1822/25, 1844 Berghauptmann und Blaufarbenwerkskommissar, 1851-1867 sächsischer Oberberghauptmann
- (27.04.) Otto Emicke geboren, 1928-1946 Professor für Verformungskunde, 1949-1956 Direktor des Forschungsinstituts für NE-Metalle in Freiberg
- (19.06.) Franz Brenthel geboren, Student 1910/19, 1930-1946 Professor für Hüttenkunde, Elektrometallurgie und Probierkunde, 1939-1944 Rektor der Bergakademie Freiberg
- (23.07.) Frederikus Knoops geboren, 1928-1946 a. o. Professor für Elektrometallurgie und Elektrowärme, 1953-1956 Professor mit Lehrauftrag für Elektrowärme
- (12.09.) Carl Gustav Kreischer gestorben, Student 1858/62, 1871-1891 Professor für Bergbaukunde und Aufbereitung, ab 1874 nebenamtlich Leiter der Bibliothek der Bergakademie

100 Jahre – 1916

- Einrichtung der „Alfred-Wiede-Stiftung“ für Forschungszwecke“ mit einem Kapital von 100.000 Mark, durch Bergrat Georg Alfred Wiede, Student 1882/85, 1921 Ehrendoktor der Bergakademie Freiberg

- „Jubiläumsstiftung der Stadt Freiberg für die Bergakademie Freiberg“ anlässlich ihres 150-jährigen Bestehens errichtet
- (21.05.) „Jubiläums-Stiftung an der Bergakademie Freiberg“ anlässlich der Feier ihres 150-jährigen Bestehens von ehemaligen Studierenden errichtet; Kazim Ergin geboren, Student 1937/39, Professor für Geophysik an der Universität Istanbul
- (29.07.) Neubau für das Geologische und Mineralogische Institut in der Brennhaugasse 14 feierlich übergeben
- (25.08.) Arno Hermann Müller geboren, 1958-1981 Professor für Paläontologie, 1992 Bundesverdienstkreuz Erster Klasse, 2003 Ehrensenator der Bergakademie
- (24.12.) Carl Ernst Hermann Menzel gestorben, Student 1855/59, 1914 Ehrendoktor der Bergakademie, 1885-1901 Bergamtsrat, Leitung Referat Kohlenbergbau am Bergamt Freiberg

75 Jahre – 1941

- Johannes Heinrich Otto Wagener gestorben, Student 1882/85, 1890 Bergdirektor beim Steinkohlenbergbauverein Concordia in Oelsnitz/Erzgeb., 1902-1908 technisches Vorstandsmitglied bei der Braunkohlen- und Brikkett-Industrie A.G. (BUBIAG) Berlin
- (01.04.) Einführung der Diplomstudiengänge Geologie, Geophysik und Metallogie
- (21.09.) Kurt Bähr gestorben, 1933 Ehrensenator, Direktor des Braunkohlenwerks Phönix bei Meuselwitz
- (22.09.) „Zuwendung der Mitteldeutschen Stahlwerke Riesa“ zur Unterstützung von Studierenden der Eisenhüttenkunde für Studienzwecke und Lehrfahrten gestiftet

50 Jahre – 1966

- (19.01.) Ernst-Joachim Ivers gestorben, Student 1919/22, 1957-1962 Professor für Aufbereitung an der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar
- (21.05.) Wolfgang Küntscher gestorben, Student 1921/25, 1953-1956 Professor für Eisenhüttenkunde, 1956-1959 Professor für Sonderstahlkunde
- (13.07.) Otto Meißer gestorben, 1940-1946 a. o. Professor und 1951-1964 Professor mit Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, 1955-1957 Rektor der Bergakademie Freiberg
- (19.12.) Partnerschaftsvertrag mit der Hochschule für Erdöl und Chemie in Baku (Aserbaidschan)

25 Jahre – 1991

- (18.02.) Die Bergakademie Freiberg erhält auf dem 163. Plenum der Hochschulrektorenkonferenz in Bonn den Status eines stimmführenden Mitglieds, Aufnahme als erste Hochschule der neuen Bundesländer in dieses Gremium
- (05.04.) Der Gründungsprozess des neuen Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften beginnt mit Ernennung eines Gründungsdekans
- (01.07.) Wiedergründung Studentenwerk Freiberg
- (17.07.) Rolf Rösler gestorben, Student 1950/53, 1978-1991 Professor für Geophysik
- (25.07.) Verkündung Sächsisches Hochschulneuerungsgesetz, wird Grundlage für Hochschulreform
- (27.10.) Harald Straubel gestorben, 1956-1957 Professor für Experimentalphysik
- (30.10.) Günter Henseke gestorben, 1959-1971 Professor für Organische Chemie

■ Roland Volkmer, Norman Pohl



Symposium zu Ehren Lomonossows
im April 2015 im Festsaal der
St. Petersburger Bergbauuniversität

© Andrey Mb. Kucherenko

Zum Gedenken an den 250. Todestag des großen russischen Universalgelehrten Michail W. Lomonossow

Bernd Meyer

Am 15. April 2015 jährte sich der 250. Todestag des Vaters der russischen Wissenschaft und bedeutenden Universalgelehrten Michail Wassiljewitsch Lomonossow. Aus diesem Anlass fand in St. Petersburg ein feierliches Gedenken statt. Die Rektoren der mit Lomonossow verbundenen Universitäten und Vertreter aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft legten Kränze am Grab von Lomonossow auf dem Lazarus-Friedhof des Alexander-Newski-Klosters und Blumen am Lomonossow-Denkmal nieder. Ein Höhepunkt war das anschließende Internationale Symposium „Das Erbe von Michail W. Lomonossow und seine Bedeutung für die moderne Wissenschaft“, das von der St. Petersburger Bergbauuniversität durchgeführt wurde.

Schlagworte: Michail Lomonossow, Johann Friedrich Henckel, Metallurgisches Laboratorium, Freiberg, Lomonossow-Haus / Michail Lomonosov, Johann Friedrich Henckel, Metallurgical Lab, Freiberg, Lomonosov Center

Im Gedenken an Michail Wassiljewitsch Lomonossow würdigten am 15. April 2015 in St. Petersburg die Rektoren der mit Lomonossow verbundenen Universitäten aus Deutschland und Russland sowie hochrangige Vertreter aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft beider Länder den 250. Todestag des Vaters der russischen Wissenschaft und bedeutenden Universalgelehrten mit einer Kranzniederlegung – zunächst am Grab von Lomonossow auf dem Lazarus-Friedhof des Alexander-Newski-Klosters, im Anschluss daran am Lomonossow-Denkmal auf der Wassiljewski-Insel.

An der Kranzniederlegung beteiligten sich Prof. Wiktor A. Sadownitschij, Rektor der Moskauer Lomonossow-Universität, der ältesten und bedeutendsten Universität Russlands, die 1755 auf Initiative von Michail Lomonossow gegründet wurde, und Prof. Wladimir S. Litwinenko, Rektor der Bergbauuniversität St. Petersburg, der führenden russischen Universität im Rohstoffbereich. Die Region Archangelsk, Heimat von Michail Lomonossow, wurde

vom Minister für Bildung und Forschung Igor W. Skubenko vertreten. Von der Philipps-Universität Marburg, an der Michail Lomonossow in den Jahren 1736 bis 1739 unter der Obhut des bekannten Philosophen Christian Wolff studierte, nahm der Prorektor Forschung und Internationales, Prof. Ulrich Koert, teil. Das deutsche Generalkonsulat in St. Petersburg wurde durch die Leiterin der Wirtschaftsabteilung, Frau Katrin Werdermann, vertreten. Auch sei erwähnt, dass zahlreiche Studenten und wissenschaftliche Mitarbeiter der Bergbauuniversität St. Petersburg mit schönem Blumenschmuck Lomonossow besondere Ehre erwiesen.

Als Repräsentant der TU Bergakademie Freiberg würdigte Prof. Bernd Meyer, der auch die Ehrung angeregt hatte, Lomonossows vielfältige Impulse für die Wissenschaft, für die Vervollkommnung der russischen Sprache und für die Wissenschaftsbeziehungen zwischen Sachsen und Russland. Er wurde begleitet von dem Stifterehepaar Marianne und Dr. Frank-Michael Engel, dem die TU Bergakademie

1 Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer
TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Energieverfahrenstechnik
und Chemieingenieurwesen,
Altrector



Foto: Felix Bahnlaw

Kranzniederlegung am Grab Lomonossows auf dem Lazarus-Friedhof in St. Petersburg am 15. April 2015; v. l. Prof. Carsten Drebenstedt, Dr. Frank-Michael Engel, Marianne Engel, Prof. Bernd Meyer

Freiberg die Lomonossov-Gedenkstätte in der Freiburger Fischerstraße zu verdanken hat, dem Dekan der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, Prof. Carsten Drebenstedt, und dem Chemnitzer Wissenschafts- und Technikhistoriker, Prof. Friedrich Naumann.

Mit der gemeinsamen Kranzniederlegung am Grab von Lomonossov und der anschließenden Gedenkveranstaltung am Lomonossov-Denkmal auf der Vasiljevskij Insel würdigten die anwesenden russischen und deutschen Gäste die Verdienste Lomonossows um die Begründung der russischen Wissenschaft sowie die deutsch-russischen Wissenschaftsbeziehungen – verliehen dem Gedanken der Internationalisierung von Bildung und Wissenschaft, die bereits mit der Entsendung Lomonossows nach Marburg und Freiberg ihren Anfang nahm, sichtbaren und symbolhaften Ausdruck. Die deutsch-russische Ehrung des frühen Pioniers der Bildungs- und Wissenschaftskooperation zwischen Deutschland und Russland war gleichsam ein Bekenntnis für die Fortsetzung der in den letzten Jahrzehnten entstandenen vertrauensvollen und partnerschaftlichen Beziehungen in der Wissenschaft zwischen beiden Ländern.

Der Nachmittag stand ganz im Zeichen des Internationalen Symposiums „Das Erbe von Michail W. Lomonossov und seine Bedeutung für die moderne Wissenschaft“, das im Festsaal der St. Petersburger Bergbauuniversität stattfand und gleichermaßen von Mitarbeitern und Studenten der



Foto: Friedrich Naumann

Prof. Wladimir S. Litwinenko bei der Eröffnung des Internationalen Symposiums; im Hintergrund v. l. Dieter Zirpka, Prof. Bernd Meyer, Julia M. Sishchuk, Prof. Natalia W. Paschkewitsch, Andrej S. Maximow

Bildungseinrichtung verfolgt wurde. In den Beiträgen der deutschen und russischen Redner wurde die Bedeutung des interkulturellen Austauschs zwischen den Studenten und jungen Wissenschaftlern beider Länder für die Gestaltung einer friedlichen Zukunft, ganz dem Geiste und Vermächtnis Lomonossows folgend, unterstrichen. Für die TU Bergakademie Freiberg referierte Prof. Naumann zum Thema „Michail W. Lomonossows Einfluss auf die Herausbildung der geologischen Wissenschaften in Russland“. Der Vortrag ging insbesondere dem Einfluss nach, den Lomonossov nach seiner Ausbildung in Marburg und Freiberg auf die Begründung der Geologischen Wissenschaften in Russland gehabt hat – schließlich verfasste der Gelehrte mit dem Fachbuch „Первые основания металлургии или рудных дел“ (St. Petersburg 1763) ein erstes russischsprachiges Kompendium zum Berg- und Hüttenwesen und legte damit den Grundstein zur Systematisierung und Bewertung montanistischer Spezialkenntnisse.

Die Stadt Freiberg und die altherwürdige Bergakademie wahren bis heute die Erinnerung an Michail Lomonossov und sind stolz darauf, dass dieser spätere Genius der Wissenschaft in ihren Mauern weilte und in seiner Freiburger Studienzeit das Rüstzeug für seine wissenschaftliche Laufbahn erhielt. Der junge Lomonossov, aus einer einfachen Fischerfamilie aus der Region Archangelsk im hohen Norden Russlands stammend, wurde von der

St. Petersburger Akademie der Wissenschaften 1736 zunächst nach Marburg zum Studium entsandt und gelangte hier in die Schule des berühmten Gelehrten Christian Wolff, der sich bereits unter Peter I. für die Begründung der russischen Wissenschaft eingesetzt hatte. Nur ein knappes Jahr, von Juli 1739 bis Mai 1740, weilte Lomonossov schließlich in der Bergstadt Freiberg, um spezifische Kenntnisse zum hier bereits hochentwickelten Berg- und Hüttenwesen zu erwerben. Auch nach seiner Rückkehr nach St. Petersburg 1741 hielt er die Verbindung nach Freiberg aufrecht. Als Adjunkt der St. Petersburger Akademie der Wissenschaften lernte er auch den späteren Professor der Bergakademie Freiberg, Christlieb Ehregott Gellert, kennen. Gellert hielt sich von 1735 bis 1744 in der Newa-Stadt auf und war auf den Gebieten Chemie und Physik tätig. Beide Gelehrte standen im geistigen Austausch und beeinflussten sich gegenseitig bei ihren Forschungen zur Mineralogie und zur metallurgischen Chemie. Michail Lomonossov verstarb am 15. April 1765, etwa ein halbes Jahr bevor die Bergakademie Freiberg gegründet wurde, die in diesem Jahr als weltälteste montanwissenschaftliche Hochschule ihr 250-jähriges Jubiläum feiert.

Gemeinsam mit der St. Petersburger Bergbauuniversität, die 1773 – also nur acht Jahre nach Gründung der Bergakademie – von der russischen Zarin Katharina II. aus der Taufe gehoben wurde, pflegen die beiden weltältesten



Foto: Detlev Müller

Feierliche Eröffnung des Lomonossow-Hauses in Freiberg am 7. Februar 2014; v. l. Dr. Frank-Michael Engel, Prof. Wladimir S. Litwinenko, Prof. Bernd Meyer, Prof. Georg Unland, Marianne Engel

Montanuniversitäten das Andenken an Lomonossow auf besondere Weise. Ein großartiges Ereignis war die Eröffnung des Gebäudekomplexes „Lomonossow-Haus“ am 7. Februar 2014 in Freiberg. Er entstand am historischen Ort in der Fischerstraße, also direkt in der Freiburger Altstadt, und zwar an jenem Platz, wo Lomonossow in den Jahren 1739/40 im Metallurgischen Labor bei dem berühmten Berg- und Hüttenwesen erworben hatte. Das Lomonossow-Haus

konnte dank der maßgeblichen finanziellen Beteiligung der St. Petersburger Bergbauuniversität sowie der Stifter Marianne und Dr. Frank-Michael Engel errichtet werden. Unterstützung wurde zudem von der Stadt Freiberg im Rahmen des Förderprogramms „Städtebaulicher Denkmalschutz“ gewährt. Konzipiert als Zentrum für die Bildungspartnerschaft mit Russland auf dem Gebiet der nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft mit einer Lomonossow-Gedenkstätte, zugleich Wohn- und Begegnungszentrum, setzt das

Lomonossow-Haus heute neue Maßstäbe für die internationale Bildungskooperation. Gleichzeitig stellt es eine zweite Heimat für russische Studenten und Wissenschaftler dar, die in Freiberg gewissermaßen auf den Spuren Lomonossows wandeln und zwischen Deutschland und Russland Brücken der Partnerschaft in die Zukunft schlagen.

Die Idee einer feierlichen Kranzniederlegung zu Ehren des 250. Todestages von Michail Lomonossow wurde bei einem Treffen von Prof. Meyer mit dem Gouverneur der Region Archangelsk, Igor A. Orlov, während der Eröffnung des „Lomonossow-Hauses“ am 7. Februar 2014 in Freiberg geboren. Daraufhin besuchte im Mai 2014 eine Delegation der TU Bergakademie Freiberg unter Leitung des Rektors die Region Archangelsk und den Geburtsort von Michail W. Lomonossow unweit des Polarkreises, der inzwischen nach dem russischen Universalgelehrten benannt wurde. Hier fanden auch die Vorbereitungsgespräche mit Gouverneur Orlov und Vertretern der Lomonossow-Stiftung und des Lomonossow-Instituts an der Nördlichen Arktischen Föderalen Universität statt.

Wie die Suche nach internationalen Investoren den ersten ausländischen Studenten an die Bergakademie führte:

Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra und Anton Albert Vergeel

Birgit Seidel-Bachmann

Während viele den Namen des ersten Studenten der Bergakademie, Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra, kennen, ist über den ersten ausländischen Studenten bisher so gut wie nichts bekannt. Dieser hieß Anton Albert Vergeel. Beide lernten sich sogar kennen und absolvierten zusammen eine längere Reise. Sehr gemocht zu haben scheinen sie sich jedoch nicht. Heinrich von Trebra war es in gewisser Weise aber zu verdanken, dass Anton Albert Vergeel den Weg nach Freiberg nahm. Und das kam so:

Als Heinrich von Trebra nach Abschluss seines Studiums in Freiberg als Bergmeister in Marienberg tätig wurde, ging er umgehend die großen und vielfältigen bergbaulichen Herausforderungen seines neuen Amtes an. Auch als Ökonom musste er tätig werden. So sorgte er sich um die Beschaffung frischen, erstmals auch ausländischen Kapitals. Doch wie gelang es ihm, ausländische Investoren

zu finden? Bisher hatten die Marienberger hauptsächlich mit Leipziger Kaufleuten, u. a. mit den Gebrüdern Hansen, zusammengearbeitet. Diese hatten bereits Gewerke, d. h. waren Anteilseigner verschiedener Gruben im Marienberger Revier. Sie kannten den dafür verantwortlichen „Zubußbothen“ namens Donner recht gut. Und: Die geschäftstüchtigen Hansens hatten einen Bruder in Amsterdam. An diesen wandten sich die sächsischen Bergleute unter von Trebra nun, um Gruben in Holland zu „vergewerkschaften“ – sprich: ausländisches Kapital zu beschaffen.

Hansens in Amsterdam lebender Bruder „nahm sich ... der gewagten Sache ... an, weil er von des Zubußbothen Donner geordneter ansehnlicher Provision (Vergewerkungsgebühr und Zubußeinbringgeld) ein genug anlockendes fortdauerndes Prozentchen versprochen erhielt. Er würde aber doch nichts haben ausrichten können, ... da er selbst gar keine Bekanntschaft mit

*Bergwerksangelegenheiten je gehabt hatte. Ueberdem muß in diesem großen Handels-Amsterdam, alles durch Mäcker eingeleitet und durchgetrieben werden, und auch deren hatte keiner die mindeste Kenntniß von Bergwerken.*¹

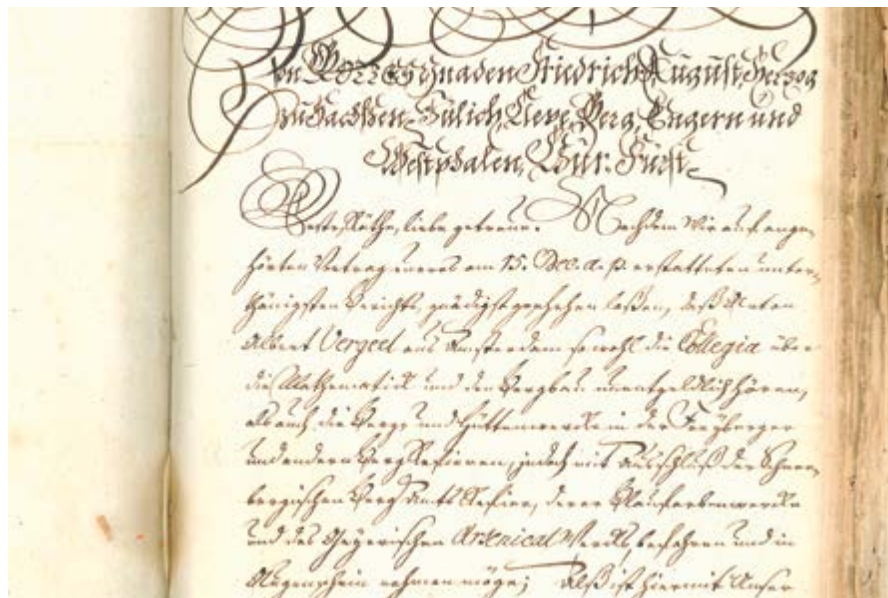
Glücklicherweise hatte Hansen einen Bekannten, einen gebürtigen Schweden namens Vergeel. Dieser, eigentlich ein Kaufmann, war als Übersetzer beim Amsterdamer Magistrat tätig. Vergeel „hatte einige Kenntniß vom Bergbau, oder gab wenigstens vor sie zu haben. Er ging ... zu seinen Beförderern und Bekannten herum, sprach über das Unternehmen, die zehn Gruben zu vergewerkschaften mit ihnen, versicherte daß er, der Kenntniß vom Bergbau als Schwede besitze, die Sache für ächt und sehr wichtig erkennen müsse ... In kurzer Zeit waren die zehn Gruben vergewerkschaftet.“² Dieser aus Schweden stammende und nunmehr in Amsterdam lebende Vergeel hatte einen Sohn namens Anton Albert Vergeel. Ganz sicher war es der Wunsch des Vaters, dass wenigstens

1 von Trebra, Friedrich Wilhelm Heinrich: Bergmeister-Leben und Wirken in Marienberg vom 1. Dezember 1767 bis August 1779, Freiberg, 1818, Nachdruck 1990, S. 209-210
2 Ebenda, S. 212-213

sein Sohn tatsächlich etwas vom Bergbau verstehen möge. Schon bald schickte er ihn deshalb nach Freiberg. Bereits am 15. Dezember 1770 richtete Vergeel Junior – er hatte sich zu diesem Zeitpunkt schon „*um den Bergbau zu studieren aus Amsterdam in Holland nach Sachsen, und hier nach Freiberg, begeben*“³ – ein Schreiben an das Oberbergamt. In diesem, einem Aufnahmegesuch, schildert er u. a., wie er auf die Bergakademie aufmerksam geworden war. Er schreibt weiter, dass sein „*Vater als Rathstranlateur zu Amsterdam zu Gewerkschaftung gedachter zehn Gruben ... sich viel Mühe gegeben, und vieles zum glücklichen Fortgang der Sache beigetragen hat*“⁴, und ersucht um Erlaubnis, Vorlesungen in Mathematik und Bergbau unentgeltlich hören sowie Gruben befahren zu dürfen.

Das Oberbergamt, dem die Bergakademie damals zugeordnet war, vermag dies jedoch nicht selbst zu entscheiden. Die Zulassung zum Studium, aber auch die Besichtigung der sächsischen Berg- und Hüttenanlagen, bedurfte der Genehmigung durch den Kurfürsten. Schließlich musste man Wirtschaftsspionage vermeiden, denn Sachsen verfügte bereits damals über bedeutende und teilweise einmalige Werke und Technologien. Darunter befand sich beispielsweise das „*im Geyerschen Wald gelegene ehemals größte Arsenikwerk Sachsens*.“⁵ Über lange Zeit war es das einzige seiner Art. Als später Konkurrenzwerke entstehen sollten, gab es erbitterte Rechtsstreite. So war die Situation Ende des 18. Jahrhunderts. Und da kommt nun ein Ausländer ... verständlich, dass man da erst einmal in Dresden nachfragen muss. Die sächsische Regierung gestattet per Schreiben vom 9. Februar 1771, „*dass Anton Albert Vergeel aus Amsterdam sowohl die Collegia über die Mathematik und den Bergbau unentgeltlich hören als auch die Berg- und Hüttenwerke im Freiberg und anderen Bergrevieren, jedoch mit Ausschluß der Schneebergischen Bergamtsreviere, derer Blaufarbenwerke und des Geyerischen Arsenikwerks, befahren und in Augenschein nehmen möge*.“⁶

So wird Anton Albert Vergeel zum ersten ausländischen Studenten der Bergakademie, und zwar offenbar aus Dankbarkeit für die Verdienste seines Vaters bei der Vergewerkschaftung der Marienberger



Schreiben vom Februar 1771 aus Dresden mit der Genehmigung, Albert Vergeel als Studenten an die Bergakademie aufzunehmen

Gruben, ohne dafür Gebühren zahlen zu müssen. Spätere Zulassungsschreiben an ausländische Studenten lauten zwar fast wörtlich identisch, allerdings werden dann Kosten in Rechnung gestellt.

Anton Albert Vergeel nahm also 1771, nur sechs Jahre nach der Gründung der Bergakademie, als erster ausländischer Student sein Studium in Freiberg auf. Wie lange blieb er in Freiberg? Zunächst nicht sehr lange, denn inzwischen hatte Heinrich von Trebra im nahegelegenen Marienberg eine brisante Nachricht ereilt. Sie kam von Anton von Heynitz persönlich: „*Ihre Gewerken sind unruhig geworden in Amsterdam, ..., und sie werden selbst hingehen müssen, um sie wieder zu beruhigen. Aber binnen 8 Tagen müssen sie ... abreisen* ...“⁷. Heinrich von Trebra musste also schleunigst nach Amsterdam, um die Wogen zu glätten. So schnürt er binnen der gesetzten Frist von nur acht Tagen sein Reisebündel und macht sich auf den Weg. Was lag näher, als den jungen, aus Amsterdam stammenden Studenten, der ja zumindest schon einen gewissen Einblick in den sächsischen Bergbau gewonnen haben musste, mitzunehmen? Begleitet wurden die beiden außerdem von einem weiteren Studenten aus Vergeels Studentenjahrgang, Johann Gottfried Schreiber. Dieser, der dadurch schon zu seiner Studentenzeit ins Ausland reisen durfte, wurde später dann international tätig – in Frankreich, konkret in Grenoble.

Die Abwesenheit der beiden dauerte ca. fünf Monate. Anton Albert Vergeel dürfte

also gleich in seinem ersten Studienjahr eine ganze Menge verpasst haben. Dennoch war er kein „Studienabbrecher“, sondern kehrte brav nach Freiberg zurück, wo es ihm offenbar gefiel. Zu Beginn des Jahres 1772 setzte er sein Studium fort.

Wie wird es ihm, dem ersten und zunächst einzigen ausländischen Studenten der Bergakademie, ansonsten ergangen sein? So richtig lohnte es sich jetzt, zu Beginn des Jahres 1772, gar nicht mehr, diese Frage zu thematisieren: Bereits zu Ostern würde das neue Studienjahr beginnen und Vergeel dann längst nicht mehr der einzige internationale Student sein. Schon ein Jahr nach ihm, also 1772, wurden bereits doppelt so viel Ausländer immatrikuliert wie im Vorjahr – nämlich zwei. Sie kamen aus verschiedenen Enden Europas: der eine aus Russland, der andere aus Spanien.

Die Bergakademie war damals eine kleine Einrichtung mit sehr überschaubaren Studentenzahlen. Insgesamt hatten hier von 1766 bis 1770 gerade einmal 72 Studenten ein Studium begonnen, und auch im darauf folgenden Jahrzehnt sollten nur 127 neue Studenten aufgenommen werden.⁸ Bemerkenswert ist jedoch, dass unter diesen – neben 87 Sachsen und 25 „sonstigen Deutschen“ – bereits 15 Ausländer zu verzeichnen sind. D. h., bereits damals kamen 12 Prozent der Studenten der Bergakademie aus dem Ausland!

Über das weitere Leben Vergeels ist (bisher) nichts bekannt.

⁸ Wagenbreth, Otfried, u.a.: Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte, Freiberg, 2008, S. 53

³ Universitätsarchiv Freiberg, OBA 237, Bl. 219

⁴ Ebenda

⁵ Schiffner, Carl: Alte Hütten und Hämmer in Sachsen, bearbeitet von Werner Gräbner, FFH Kultur und Technik D 14, Berlin, 1959, S. 180

⁶ Universitätsarchiv Freiberg, OBA 237, Bl. 240

⁷ Wie Anm. 1, S. 263–264

Ein amerikanischer Student in Freiberg: Titus Ulke (1866–1961)

Joachim Huth¹

Abstract: Titus Ulke (1866–1961), geboren in Washington, D.C., studierte 1885–1889 an der Bergakademie Freiberg und diplomierte am 05.12.1889 mit dem Prädikat „Gut“. Anschließend war er in den USA als Erzbeprober, Elektrochemiker und später im Patentamt tätig. Als Mitglied der American Electrochemical Society und des AIME veröffentlichte er im Jahr 1903 sein Hauptwerk „Modern Electrolytic Copper Refining“. Ab 1918 widmete er sich der Botanik und der Indianerkultur und promovierte mit 68 Jahren über ein botanisches Thema.

Schlagwörter: amerikanischer Student, amerikanischer Wissenschaftler, Elektrochemie, Kupfer-Raffination, Metallurgie / american student, american scientist, electro-chemistry, copper-refining, metallurgy

Titus Ulke, der Name dürfte kaum geläufig sein, war ein bedeutender amerikanischer Hüttenmann, Elektrochemiker und Naturwissenschaftler. Er hat in Freiberg studiert, wird aber von Carl Schiffner in seinem dreibändigen Werk „Aus dem Leben alter Freiburger Bergstudenten“ nicht erwähnt.

Titus Ulke wurde am 17.10.1866 in Washington, D.C., geboren. Er studierte von 1885 bis 1889 an der Königlichen Bergakademie zu Freiberg. Nach seiner Rückkehr in die USA war er in namhaften Kupferverarbeitungsbetrieben und im amerikanischen Patentamt tätig. Promoviert hat er aber erst mit 68 Jahren – allerdings über ein botanisches Thema. Sein wissenschaftlicher Werdegang ist ebenso bemerkenswert wie sein persönlicher, da er „Spuren“ in Freiberg hinterließ.

Sein Vater Henry Ulke (1821–1910), ein damals bereits bekannter Hofmaler in Berlin, wanderte mit seinen Brüdern Julian und Lee im Jahr 1852 nach New York aus. 1860 ließ er sich in Washington nieder und heiratete Veronica Schultze. Henry Ulke porträtierte Präsidenten und Minister in Washington und gehörte dem Megatherium Club an, einer wissenschaftlichen Gesellschaft des Smithsonian Instituts. Eines seiner besten Gemälde war ein Porträt des Offiziers, Politikers und späteren 18. Präsidenten der USA, Ulysses Simpson Grant (1822–1885), das jetzt in der Langen Galerie des Weißen Hauses hängt. Weitere

Gemälde (u.a. Ludwig van Beethoven, Major John Wesley Powell, Spencer Fullerton Baird, Indianerhäuptling Spotted Tail) sind im Smithsonian American Art Museum in Washington ausgestellt.

Henry Ulke war ein persönlicher Freund Abraham Lincolns (1809–1865), der nach dem auf ihn am 14. April 1865 im Ford's-Theater verübten Anschlag in Ulkes Haus gegenüber dem Theater an der Tenth Street in Washington gebracht wurde und dort am darauffolgenden Tag starb.

Neben dem ältesten Sohn Titus hatten Henry und Veronica Ulke noch einen Sohn, Henry, und die Tochter Mignon, die Sprachwissenschaftlerin und eine berühmte Pianistin war, die sogar ein Konzert vor Präsident Theodore Roosevelt (1858–1919) gab und mit 96 Jahren 1969 starb. Während des 1. Weltkrieges war sie als Übersetzerin im amerikanischen Kriegsministerium tätig gewesen.

Titus Ulke wurde am 5. Oktober 1885 unter der Matrikel-Nr. 3412 an der Königlichen Bergakademie zu Freiberg „inscribirt“. Eine Aufnahmeprüfung entfiel, weil er mit seinen damals 19 Jahren bereits sechs Zeugnisse der Columbian-University zu Washington vorweisen konnte. Von 1885 bis 1889 belegte er außerordentlich viele Fächer; die Namen seiner Lehrer lesen sich wie ein Tableau berühmter Professoren der Bergakademie, von denen genannt seien: Clemens Winkler (anorganische Chemie, qualitative chemische Analyse, chemische Technologie, Maßanalyse, techn.-chem. Gasanalyse), Albin Weisbach (Mineralogie, kristallographisches und mineralogisches Praktikum, mathematische Kristallographie, Kristallphysik), Theodor Richter (Lötrohrprobierkunde, allgemeine Hüttenkunde), Alfred Stelzner (Geognosie, Versteinerungslehre, Bestimmen von Gesteinen, Lagerstättenanalyse), Adolf Ledebur (Salinenkunde, Eisenhüttenkunde, Eisenprobierkunde, Eisenhüttenanlagen, Bergmaterialienlehre). Titus Ulke erreichte gute Leistungen in praktisch allen Fächern und bestand die Diplomprüfung als „Hütteningenieur“ am 05.12.1889 mit dem Prädikat „Gut“.

Das Studentenleben hatte auch seinerzeit noch sonstige schöne Seiten, außerhalb der Vorlesungen und Praktika. Titus

hatte in Freiberg ein Verhältnis mit dem Dienstmädchen Emma Alwine Gärtner, Tochter eines Eisengießers aus Freiberg. Und am 30.06.1888 kam dann der kleine Max Willy Gärtner zur Welt. Ein Urteil zur Unterhaltsklage vor dem Königlichen Amtsgericht Freiberg bestimmte, dass Titus Ulke zur Zahlung der Geburts- und Taufkosten sowie zur Gewährung eines „einstemlich“ festzusetzenden monatlichen Unterhaltsbeitrags bis zum 14. Lebensjahr des Kindes verpflichtet wird.

Nach der Rückkehr in die Vereinigten Staaten 1889 fand Titus Ulke eine Anstellung als Erzbeprober bei der Harney Peak Tin Company mit Sitz in Hill City am Spring Creek, South Dakota. In dieser Zeit – von 1890 bis 1891 – sammelte er in seiner Freizeit Käfer und Ameisen für seinen Vater Henry, einen Hobby-Entomologen. Hierbei wurden auch neue Arten gefunden, deren Benennung und nähere Bestimmung durch den italienischen Entomologen und Spezialisten für Käfer und Hautflügler Dr. Carlo Emery (1848–1925) von der Universität Bologna, Italien, vorgenommen wurde.

Anschließend arbeitete Ulke lange Zeit als Elektrochemiker, anfangs in den Anaconda Copper Works, Butte, Montana, und später bei den Guggenheim Smelting Works and Refinery, Perth Amboy, N. J. Ab 1893 entstanden mehrere Veröffentlichungen zur Kupferraffination bzw. -elektrolyse, zur Verarbeitung von Kupfernickelstein sowie sein Hauptwerk „Modern Electrolytic Copper Refining“ (New York 1903, im Bestand der Bibliothek der TU Bergakademie Freiberg). In diesem Jahr war er bereits Mitglied der American Electrochemical Society und des American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers (AIME). 1896 kehrte er kurz nach Europa zurück. Ein Jahr später führte er eine topografische Vermessung in Montana durch; das betreffende Gebiet ist heute der Glacier National-Park.

1905 begann Titus Ulke seine 13-jährige Tätigkeit im amerikanischen Patentamt, wo er sich insbesondere mit der Prüfung von Düngemitteln beschäftigte. Nebenbei erwarb er nach einem Fernstudium der Rechtswissenschaften an der George-Washington-Universität seinen Bachelor der Rechte und Master für Patentrechte.

Zu seiner Tätigkeit im Patentamt gehörte, dass er vor Ausbruch des 1. Weltkrieges im Regierungsauftrag in Europa weilte, um die Geschäftsmethoden der deutschen und österreichischen Patentämter zu studieren. Der von Deutschland ausgelöste

¹ Kontakt: Joachim Huth,
Maxim-Gorki-Straße 94, 09599 Freiberg
Der Autor ist der Urenkel von Titus Ulke.



Titelblatt des Hauptwerks von Titus Ulke

U-Boot-Krieg verhinderte vorerst für einige Monate seine Rückreise über den Atlantik in die Vereinigten Staaten. So bereiste er zwischenzeitlich Kleinasien, Ägypten und Griechenland. Über die

Schweiz gelangte er endlich nach Genua, von wo ihn der Dampfer „Principe de Udine“ Ende August 1914 zusammen mit zahlreichen anderen Amerikanern zurück nach New York brachte.

Im Patentamt erwartete ihn dann 1918 allerdings nichts Gutes, womit eine Wende in seinem Leben eintrat. Wegen seiner angeblich nicht tolerierbaren Verbindungen zu bekannten Pro-Deutschen wurde er aufgefordert, sofort zurückzutreten, was er auch tat. Seitdem machte Titus Ulke sein heimliches Hobby zum Beruf: Er wandelte sich mehr und mehr zum Naturforscher. Wissenschaftliche Leistungen als Hütteningenieur bzw. Elektrochemiker oder diesbezügliche Veröffentlichungen sind seitdem nicht mehr zu verzeichnen.

Bereits 1917 wurde er von einem Indianerstamm (Blackfoot) im Glacier National Park, den er ja 1897 vermessen hatte, zum Medizinmann ernannt. Später sammelte und benannte er Pflanzen und Fossilien, wobei er auch ein fossiles Meerestier im Kalkstein eines Washingtoner Gebäudes entdeckte. Erst 1934 – mit 68 Jahren – schrieb Titus Ulke seine Doktorarbeit über

die Flora des Yoho Parks, British Columbia, und promovierte zum Ph.D. (Botanik) an der Katholischen Universität Washington. Dieser schenkte er auch seine reichhaltige Botanik-Sammlung. Er entdeckte und beschrieb u. a. Höhlen in Washington (Piney Branch rd. und 16th st.), die auf ein altes Indianerdorf hindeuten. Zu dieser Zeit (1933/34) hatte Titus Ulke bereits das „John Dickson Home“ für pensionierte Herren in Washington bezogen. Diesem übergab er sein gesamtes Geld, Patente und „Unsicherheiten“, wie er selbst sagte.

Am 18.10.1961 starb Dr. Titus Ulke – einen Tag nach seinem 95. Geburtstag – im John Dickson Home. Er wurde zwei Tage darauf auf dem Oak Hill Cemetery beigesetzt. „Ich hatte ein reiches Leben, aber es ist immer noch eine Fülle übrig, um sich darauf zu freuen“, hatte er bereits 1939 geäußert.

Quellen:

- Kirchenbuch St. Jacobi Freiberg 1888/89
- Archiv TU BAF Freiberg
- Smithsonian Institution Archives
- Washington Post
- Wikipedia

Zum 175. Geburtstag Alfred Wilhelm Stelzners, eines verdienstvollen Wissenschaftlers auf dem Gebiet der Geologie und der Lagerstättenlehre

Alfred Stelzner, ein Geologe aus der alten Naumannschen Schule, war in erster Linie Petrograph und renommierter Vertreter der Stratigraphie und der Lagerstättenlehre – von Gebieten, auf denen er als unbestrittene Autorität galt. Er war zudem ein Meister der mechanischen Trennung von Mineralen mittels „schwerer“ Lösungen. Besonders interessierten ihn die Zinnerzlagerstätten des Erzgebirges.

A. W. Stelzner wurde am 20. Dezember 1840 in Dresden geboren. Er besuchte die Kreuz- und dann die Polytechnische Schule und studierte, nachdem er 1859 einen praktisch-bergmännischen Kurs absolviert hatte, ab 1859 an der Bergakademie Freiberg. 1864 bestand er die Diplomprüfung mit Auszeichnung.

Von 1866 bis 1870 war Stelzner Inspektor an der Bergakademie und als solcher mit dem Ordnen der Sammlungen und der Bücherei beschäftigt; gleichzeitig wirkte er auch als Lehrer an der Bergschule Freiberg. 1871 erhielt er einen Ruf zum Professor der Mineralogie und Geologie an die Universität Cordoba in der Argentinischen Republik – mit der Aufgabe, die geologische Beschaffenheit dieses riesigen Landesareals zu untersuchen. Er widmete sich dieser Aufgabe, bis ihn 1874 ein Ruf zum Professor der Geologie an die



Bergakademie Freiberg erreichte. Bei den erzgebirgischen Zinnerzlagerstätten interessierte ihn besonders deren Zusammenhang mit den dortigen Graniten; er befasste sich zudem mit den entsprechenden Lagerstätten Boliviens, über die er viel veröffentlichte. Er reiste oft und untersuchte u. a. auch die Lagerstätten von Modum, Sulitjelma und Naeverhåugen in Norwegen.

Berühmt waren vor allem seine 1879 gehaltenen Vorträge „Die über die Bildung der Erzgänge aufgestellten Theorien“. Seine wissenschaftlichen Arbeiten entstanden fast ausschließlich auf der Grundlage beobachteter und erwiesener Tatsachen. Hypothesen stand er prinzipiell zunächst skeptisch gegenüber. Hatte er sich aber von deren Richtigkeit überzeugt, so verfocht und verfolgte er sie mit Scharfsinn bis zu Klärung des jeweiligen Problems. Die Bergakademie verdankt ihm die Anlage einer reichen Kollektion von Dünnschliffen und die Systematisierung der von v. Cotta hinterlassenen sog. geographischen Sammlung. Er baute diese zu einer großen Erzlagerstätten-Sammlung aus, die zur damaligen Zeit ein „ungeschriebenes Werk“ der Lagerstättenkunde der ganzen Welt darstellte. Auch auf dem Gebiet der Paläontologie hat Stelzner maßgeblich gearbeitet und die Freiburger Petrefakten-Kollektion wesentlich bereichert. Am 25. Februar 1895 verstarb Stelzner und wurde am 2. März auf dem Donatsfriedhof beerdigt. Seine zahlreichen Schüler und Verehrer veranstalteten am 24. Oktober 1897 eine Gedenkfeier. Man stellte eine von Johann Schillings Meisterhand gefertigte Marmorbüste im Foyer des damaligen Geologischen Instituts auf. ■ Gerd Grabow

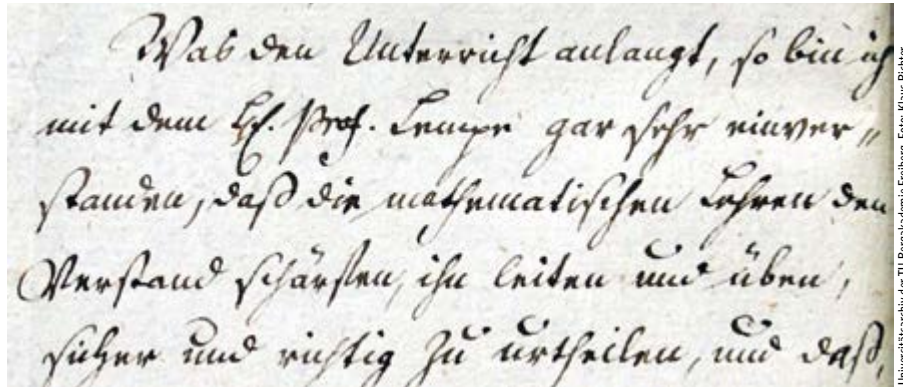
Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier (1738–1805) – ein Mathematiker als erster Professor im Hauptamt der Bergakademie. Teil 2

Klaus Richter

Im Teil 1 des Artikels¹ wurde das Leben und Wirken Charpentiers bis 1784 betrachtet. Geboren 1738 in Dresden, ging Charpentier über Stationen in Görlitz, Leipzig und Freiberg 1758 zum Studium der Rechtswissenschaften und der Mathematik nach Leipzig. 1762 kehrte er als Zeichner nach Freiberg zurück. Er wurde schließlich zum damals einzigen Professor an der 1765 gegründeten Bergakademie Freiberg für das „Mathematische Collegium und die Zeichenschule“ und 1769 zusätzlich zum ersten Professor für Physik berufen. Spätestens ab 1770 wandte sich das Hauptinteresse Charpentiers der Geologie und der Mineralogie zu. Seine 1778 erschienene Monographie „Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande“ bewirkte, dass Kaiser Joseph II. ihn 1784 mit der Renovation seines alten Adelsdiploms und der Erhebung in den Reichsadelstand ehrte. 1784 beendete Charpentier seine Tätigkeit an der Bergakademie und widmete sich nun seiner Laufbahn im Oberberg- und Oberhüttenamt sowie der wissenschaftlichen Arbeit. Teil 1 zeigte auch das einzige überlieferte Porträt Charpentiers: ein Ölgemälde von Anton Graff (1798), dessen Original verschollen ist.

Wirken im Oberbergamt

Bereits in seiner Zeit als Professor an der Bergakademie hatte Charpentier zeitaufwendige Funktionen im kursächsischen Oberbergamt Freiberg übernommen. Ab 1773 besaß er dort als Assessor und Bergkommissionsrat Sitz und Stimme (ab 1788 erster Assessor)². Spätestens ab 1778 wirkte Charpentier bis zum Lebensende als Verwalter der Grube Churprinz Friedrich August in Großschirma. Unter seiner Direktion entstand der Bergwerkskanal vom Churprinz zur Hütte mit dem wohl ersten Kahnhebewerk der Welt. Die Grube Churprinz diente auch als Ausbildungsgrube der Bergakademie. Alexander v. Humboldt, Freiburger Student von 1791 bis 1792, schrieb 1791: „Eine neue Pflanzengattung habe ich auf dem Kurprinz und vor dem Moritzer Stollen entdeckt. ... Das größte Exemplar samt meiner Monographie hat Charpentier an den Kurfürsten geschickt, wofür ich einen sehr höflichen Dank erhalten.“³ Zusätzlich amtierte Charpentier von 1782 bis 1792 als Verwalter des Alaunwerks Schwemsal und ab 1792 bis zum Lebensende als Verwalter des Blaufarbenwerks Oberschlema².



Lehreinschätzung der Bergakademie durch Charpentier, Auszug (1794)²³

Er entwickelte alle diese kurfürstlichen Objekte zu profitablen Vorzeigeunternehmen. Charpentier stieg 1784 zum Wirklichen Bergrat mit Sitz und Stimme im Geheimen Finanzkollegium zu Dresden auf², das auch die Oberaufsicht über die Bergakademie besaß. Seine Leistungen wurden 1800 durch die Ernennung zum Titular-Vizeberghauptmann und 1801 zum Berghauptmann gewürdigt. Zugleich wurde v. Trebra als Oberberghauptmann installiert.

Charpentier setzte seine wissenschaftliche Arbeit auch nach 1784 als Mineraloge und einer der besten Feldgeologen seiner Zeit erfolgreich fort. Er sammelte dabei umfassende Daten im Erzgebirge und im Riesengebirge und veröffentlichte zwei weithin beachtete Monografien: „Beobachtungen über die Lagerstätte der Erze“ (1799) und „Beytrag zur geognostischen Kenntnis des Riesengebirges“ (1804).

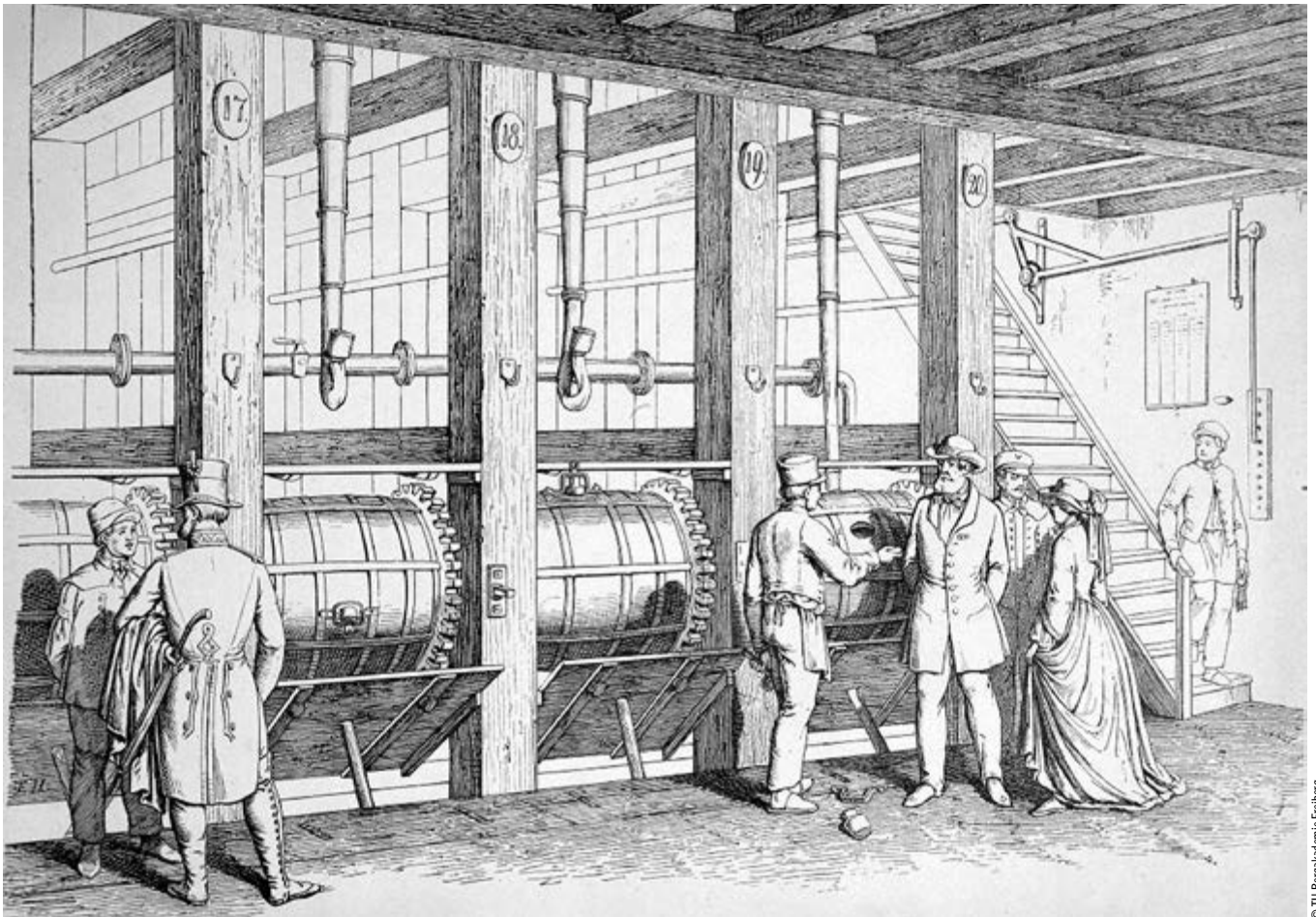
Tätigkeit im Oberhüttenamt

Auch im kursächsischen Hüttenwesen leistete Charpentier Hervorragendes. Von 1788 bis 1801 amtierte er im Oberhüttenamt Freiberg als erster Assessor². Im Spätsommer 1786 fuhr Charpentier nach Glashütte bei Schemnitz (Österreich-Ungarn), um im dortigen Amalgamierwerk die warme Amalgamation in Kupferkesseln nach dem durch Ignaz v. Born verbesserten Verfahren kennenzulernen. Parallel fand in Schemnitz die Gründung der „Societät der Bergwerkskunde“ statt, der ersten internationalen montanwissenschaftlichen Gesellschaft, wobei Charpentier als Direktor der sächsischen Gruppe Mitglied wurde. In Freiberg hatte inzwischen Bergrat Christlieb Ehregott Gellert

das Verfahren der kalten Amalgamation von Silbererzen mit rotierenden Holzfässern entwickelt. Als Charpentiers wohl größte Leistung erwiesen sich der geniale Entwurf und die Leitung des Aufbaus des Amalgamierwerks nach Gellerts Verfahren in Halsbrücke. Der Bau wurde in nur 2½ Jahren 1790 fertiggestellt. Nach einem Großfeuer 1792 entstand bis 1794 ein verbesserter Neubau unter Leitung Charpentiers. Der Weimarerische Staatsminister Ch. G. Voigt schrieb 1795 an Goethe: „Ich glaube nicht, dass eine so wohlgeordnete, im Detail so gut ausgedachte und auf Erleichterung der Kosten und Ersparung der Zeit so sehr hinzielende Fabrikantstalt sonst existiert.“⁴ Das Amalgamierwerk galt als 8. Weltwunder und trug wesentlich zur ökonomischen Stärkung Sachsens bei. Der Kurfürst verfügte 1791, dass Gellert und Charpentier je „6 Pfennige von jeder durch die Amalgamation ausgebrachten Mark Silber“ erhielten.⁵

Kritik an Werners Gangtheorie

Abraham Gottlob Werner, Bergrat ab 1799, lehrte ab 1775 in Freiberg und entwickelte sich bald zur Lichtgestalt der Bergakademie, zum berühmtesten Mineralogen seiner Zeit und Begründer der Geognosie. 1792 wurde er Mitglied im Oberbergamt. Dies führte zu Verstimmungen mit Berghauptmann v. Heynitz, mit v. Trebra und v. Charpentier, da Werner „in Geschäften unentschlossen, zögernd war, mit Fertigung schriftlicher Aufsätze stets zurückblieb“⁶. Bei Charpentier kamen größere wissenschaftliche Differenzen mit Werner hinzu. Charpentier „war geneigt, große Gasexpansionen im Innern der Erde anzunehmen und diesen einen bedeutenden



Eduard Heuchler: Gäste im Amalgamierwerk (1857)²¹

© TU Bergakademie Freiberg

*Einfluss auf die Bildung der Gebirgsmassen zuzuschreiben, während Werner alles aus mechanischen und chemischen Niederschlägen und aus mächtigen Fluten zu erklären suchte.*⁴⁷ Beide „lehren ganz entgegengesetzt“⁴⁸, schrieb Georg Forster 1784. Charpentier meinte, die Geognosie sei noch nicht reif für umfassende Theorien und formulierte nur sehr vorsichtig Hypothesen. Ihm gegenüber stand der für seine Theorien bewunderte Werner. Charpentiers Kritik betraf vor allem Werners Gangtheorie, die seinen Beobachtungen widersprach. Charpentier hatte seine Mutmaßungen zur Entstehung der Gänge bereits 1778 in einer Monographie dargelegt. Werners Theorie erschien 1791 als „Neue Theorie von der Entstehung der Gänge“. Charpentier antwortete darauf in seinen Monografien von 1799 und 1804. Gegen die Autorität Werners konnte er sich aber nicht durchsetzen.

Bei seiner Kritik an Werners Gangtheorie, die von v. Trebra und Goethe unterstützt wurde, nannte Charpentier nie den Namen Werner. Beide gingen sich weitgehend aus dem Weg und „sahen sich wahrscheinlich nur, wenn sie in Geschäften zusammen kamen“⁴⁷. Anders dagegen



Bergmann vor Ort und streichende Erzgänge, Kupferstich, Zeichnung von Charpentier²²

© TU Bergakademie Freiberg

zahlreiche Werner-Schüler, die Charpentier unsachlich angriffen. So schrieb Georg Forster 1784: „... Hier sind sie Ihn [Werner] nicht werth, und die schlechten und dummen Charpentier und von Heinitz drücken ihn schändlich...“⁴⁸. John Hawkins berichtet 1786 in einem Brief aus Wien an Werner über Charpentiers „niederträchtige Absichten“⁴⁹. A. v. Humboldt notierte 1792 in einem Brief aus Wien: „Aber Estner p. halten von seinem [Charpentiers] Wissen, was wir davon halten.“⁴³ Andererseits äußerte

sich Humboldt 1792 empört über das „Betragen [des Reichsfreiherrn vom und zum Stein] gegen Charpentier auf dem Kurprinz“⁴³. Sicher belasteten diese Angriffe Charpentiers Kritik an Werners Gangtheorie als berechtigt. Der Mineraloge v. Leonhard und Goethe trugen nach Charpentiers Tod dazu bei, dessen Erkenntnisse ins rechte Licht zu rücken. Goethe schrieb 1824: „Man erinnere sich der Füllungstheorie [Werners Gangtheorie], welche so überhand nahm, dass eines werten Mannes, von Charpentiers, verständige Bemühungen abgelehnt, beseitigt, mißgachtet, vergessen und zuletzt gar nur durch Hohnrede wieder in Erinnerung gebracht wurden.“⁴⁰

Familie und Adelstitel

Die Familie Charpentier, die seit 1783 in der Freiburger Burgstraße 9 wohnte, hatte vier Töchter und drei Söhne. Wilhelmine, die Älteste, heiratete 1791 den kursächsischen Lieutenant Thiel(e)mann, später Freiherr, sächsischer und russischer Offizier sowie preußischer General. Sie war später Freundin der Schriftstellerin v. Droste-Hülshoff. Karoline, eine „sehr gewandte Klavierspielerin“⁴⁷, blieb

unverheiratet. Ernestine war vermählt mit dem protestantischen Dresdner Oberhofprediger Reinhard. Nach dessen Tod wurde sie die zweite Ehefrau des Grafen v. Hohenthal. Thielemann führte Ende 1797 den Freiburger Studenten und Dichter Novalis in die Familie ein. Charpentiers Tochter Julie, die „die [Glas-]Harmonika artig spielt“⁴, verlobte sich Weihnachten 1798 mit Novalis. Nach Novalis' Tod 1802 heiratete Julie 1804 den Freiburger Studenten und ungarischen Baron v. Podmanitzky. Die Söhne Toussaint und Johann studierten in Freiberg. Toussaint wurde Berghauptmann in Dortmund und Brieg/Schlesien. Johann (Jean), Geologe und Gletscherforscher, amtierte ab 1813 als Salinendirektor in Bex/Schweiz. Der Sohn Georg diente ab 1826 als Polizeipräsident in Dresden.

„Charpentiers Haus war weit und breit als das geselligste und belebteste berühmt.“¹¹ Der Oberhüttenamtsactuarius J. G. Hofmann „dirigierte ... die musikalischen Lustbarkeiten, die im Charpentierschen Hause stattfanden“¹¹. Henrich Steffens, Philosoph, Naturforscher und Freiburger Student schrieb: „Eine Familie, in welcher, durch feine Sitten veredelt, so viel geistig Anregendes mir entgegenkam, hatte ich bis jetzt noch nicht kennen gelernt.“⁷ Novalis dichtete 1798 über die Familie Charpentier: „... Daß der Zauber nicht weicht, welcher das Band beglückt / Eures Bundes ...“¹². Mehrere Autoren nehmen zudem an, dass Charpentier als Urbild für die Gestalt des Meisters Klingsor in Novalis' Roman „Heinrich von Ofterdingen“ diente.¹²

1787 erschien die Behauptung, Charpentier hieße eigentlich Zimmermann, und sein Vater wäre der Dresdner C. Fr. Zimmermann¹³, der schon 1746 über eine Obersächsische Bergakademie schrieb. Charpentier veröffentlichte 1789 seinen Widerspruch dazu¹⁴. Er konnte belegen, dass Johann Ernst v. Charpentier, kursächsischer Hauptmann, sein Vater war, der 1781 in Freiberg im Alter von fast 77 Jahren starb. Als Großvater nannte er Johann Charpentier, Hauptmann in Danzig, und als Urgroßvater Toussaint Charpentier, Adliger aus der Normandie. Die genealogisch wichtigen Angaben zur Geburt von Vater, Groß- und Urgroßvater, aber auch zu Trauung und Tod (außer Vater) fehlten. Das Ritterhaus Stockholm schreibt, dass die Abstammung von Toussaint Charpentier „nie bestätigt wurde“¹⁵. Allerdings bestätigte der Görlitzer Zeichner Schultz (siehe Teil 1) als Zeitzeuge den Großvater, der

gemäß einer weiteren Quelle „ca. 1665 in Riga“²⁴ geboren sein soll.

Nachforschungen ergaben, dass Johann (Jean) Charpentier seit 1696 in Danzig als Hauptmann und Ingenieur-Kapitän diente und dort 1745 starb. Toussaint Charpentier wurde 1611 in Pavilly, Normandie, geboren, als schwedischer Oberstleutnant 1664 in Stockholm geadelt und 1668 ins Ritterhaus Stockholm aufgenommen. Er starb 1683 in Tavastia, Finnland.

Beziehungen zu Zeitgenossen

Abseits des Meinungsstreits über die Gangtheorie fand Charpentier nur lobende Erwähnung. Der Philologe Böttiger, der einst an Bergrat Werners Sarg sprach, schrieb 1813 von „einem Hause ..., wo sich damals die geistreichsten Männer aus dem nördlichen und südlichen Europa zusammenfanden“¹⁶. Georg Christoph Lichtenberg notierte 1779, Charpentier sei ein „sehr feiner unterhaltender Mann“¹⁷. Der Philosoph Erhard nannte 1791 „Charpentier einen Mann nach meinem Herzen“¹⁸. Friedrich Schiller schrieb 1787 an Gottfried Körner über Charpentier: „Eine anziehende sanfte Physiognomie, viel Gutherzigkeit, welche, glaube ich, durch eine Politur der großen Welt noch gewonnen hat. Stille im Charakter, oder besser Sanftmuth, wird durch die Mäßigung, welche die große Welt gibt, ungemein imponirend.“¹⁹ 1790 besuchte höchstwahrscheinlich Goethe Charpentier in Freiberg. Das Studium von Charpentiers „Beobachtungen über die Lagerstätte der Erze“ soll Goethe in „Faust I“ zu jenen Zeilen in der Walpurgisnacht angeregt haben, in denen Faust die Erzgänge durchs Gebirge schimmern sieht: „Wie seltsam glimmert durch die Gründe / Ein morgenrötlich trüber Schein! ...“²⁰

Charpentier starb 67-jährig am 27. Juli 1805 in Freiberg durch Schlaganfall. Charpentier zählte als erster Professor und Förderer der Bergakademie, als erfolgreicher Universalwissenschaftler und Manager zu den herausragenden Freiburger Persönlichkeiten der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Durch die Nachwirkung der unberechtigten Kritik der Schüler Werners wird seine Bedeutung auch heute noch unterschätzt. Henrich Steffens, später Rektor in Breslau und Berlin, stellte in den Erinnerungen an seine Freiburger Studentenzeit von 1800 bis 1802 treffend fest: „... und wir eilten, die Bekanntschaft der beiden, für uns bedeutendsten Männer der Stadt zu machen. Wir besuchten den Berghauptmann von Charpentier und den Bergrat Werner.“⁷

Literatur

- 1 Richter, K.: Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier (1738-1805) – ein Mathematiker als erster Professor im Hauptamt der Bergakademie. Teil 1, ACAMONTA, TU Bergakademie Freiberg, 21(2014), 199-201.
- 2 Churfürstl. Sächs. Hof- u. Staatskalender auf das Jahr 1775, Weidmann, Leipzig; dto. für 1776 bis 1805.
- 3 Jahn, I., Lange, F. G.: Die Jugendbriefe Alexander von Humboldts, Akademie-Verlag, 1973.
- 4 Herrmann, W.: Goethe und Trebra, Freiburger Forschungshefte, D 9, Akademie-Verlag, Berlin, 1955.
- 5 Lauterbach, W.: Bergrat Christlieb Ehregott Gellert, Freiburger Forschungshefte, D 200, Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig/Stuttgart, 1994.
- 6 Frisch, S. G.: Lebensbeschreibung A. G. Werners, Brockhaus, Leipzig, 1825.
- 7 Steffens, H.: Was ich erlebte, Bd. 3, Josef Max und Komp., Breslau, 1841.
- 8 Leuschner, B. (Bearb.): Georg Forsters Werke, Band 14, Akademie Verlag, Berlin, 1978.
- 9 Flügel, H. W.: Abraham Werner und der „Workshop“ von Schemnitz 1786, Jb. Geol. B.-A., Bd. 149, Heft 2/3, 2009.
- 10 Goethe, J. W. v.: Goethes Werke, Band 51, Cotta'sche Buchhandlung, Stuttgart u. Tübingen, 1834, 68.
- 11 Vehse, E.: Geschichte der Höfe des Hauses Sachsen, Hoffmann u. Campe, Hamburg, 1854.
- 12 Ritter, H.: Der unbekanntene Novalis, Sachse & Pohl, Göttingen, 1967.
- 13 Canzler, J. G.: Tableau historique de l'Electorat de Saxe, Brockhaus, Leipzig, 1787, 339.
- 14 Intelligenzblatt der Allg. Literatur-Zeitung, Jena, 27(1789), Bd. 1, 215-216.
- 15 <http://www.riddarhuset.se>, Angaben zu Toussaint Charpentier: Ritter Nr. 765, 2015.
- 16 Böttiger, C. A.: D. Franz Volkmar Reinhard, Arnoldische Buchhandlung, Dresden, 1813.
- 17 Joost, U., Schöne, A. (Hrsg.): Georg Christoph Lichtenberg Briefwechsel, Bd. 4, C.H.Beck, München, 1992.
- 18 Ende, K. A. V. v.: Denkwürdigkeiten des Philosophen u. Arztes Johann Benjamin Erhard, Cotta'sche Buchhandlung, Stuttgart u. Tübingen, 1830.
- 19 Goedeke, K. (Hrsg.): Schillers Briefwechsel mit Körner, Veit & Comp., Leipzig, 1874.
- 20 Schellhas, W.: Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier, Bergakademie 15(1963)10, Berlin, 754-756.
- 21 Heuchler, E.: Die Bergknappen in ihren Berufs- u. Familienleben, Verlagsbuchhandlung Kunze, Dresden, 1857.
- 22 Charpentier, J.Fr.W.v.: Mineralogische Geographie der Chursächsischen Lande, Crusius, Leipzig, 1778.
- 23 Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg: OBA10; Lehreinschätzung vom 03.07.1794.
- 24 Charpentier, R.: En fransk adelsmans tjänstgöring i Sveriges arméer, in: Karolinska förbundets årsbok, Stockholm, 2000.

Oleum für die Industrie

Mike Haustein¹

Vor 140 Jahren, im Oktober 1875, erschien in der renommierten naturwissenschaftlichen Zeitschrift „Dinglers polytechnisches Journal“ ein Artikel, der größte Aufmerksamkeit in Fachkreisen erregte. Dabei hatte der sonst so wortgewandte Clemens Winkler für seinen Beitrag einen denkbar umständlichen Titel gewählt. Trotzdem initiierte seine „Versuche über die Ueberführung der schwefligen Säure in Schwefelsäureanhydrid durch Contactwirkung behufs Darstellung von rauchender Schwefelsäure“ [1] einen Wettlauf um die wirksamste Kontakanlage und das preisgünstigste Oleum, bei dem die staatlichen Muldener Hüttenwerke mit namhaften Privatunternehmen der damaligen Zeit konkurrierten. Zwar konnte im Wesentlichen zunächst eine Firma den Vergleich für sich entscheiden, doch führte die gesamte Entwicklung letztlich zu einem Prozess, der die Chemische Industrie entscheidend beförderte, wenn nicht gar revolutionierte: zum Schwefelsäurekontaktverfahren.

Die Zeichen der Zeit

Am 9. Oktober 1874 wendet sich Clemens Winkler, seit gut einem Jahr Professor für Chemie an der Freiburger Bergakademie, an das in der Nonnengasse 22 residierende Königliche Oberhüttenamt. Nachdrücklich weist er die für die Aufsicht über die fiskalischen Hütten im Königreich Sachsen zuständigen Beamten auf den stetig steigenden Bedarf an rauchender Schwefelsäure, dem sog. Oleum hin. Der Chemiker betont, dass insbesondere durch die einsetzende industrielle Herstellung des Alizarins aus Anthracen mit weiteren erheblichen Preissteigerungen für diese Chemikalie zu rechnen sei, von denen die fiskalischen Freiburger Hüttenwerke partizipieren könnten.

Tatsächlich befinden wir uns in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in der Hochzeit der Teerfarbstoffe. Die Textilindustrie, selbst auf eine schon Jahrzehnte währende stürmische Entwicklung zurückblickend, gierte geradezu nach Färbemitteln für ihre Produkte. Doch die althergebrachten Naturfarbstoffe waren knapp und teuer. Dabei fiel in den zahlreich vorhandenen Gasanstalten jener

Zeit ein Nebenprodukt an, das sich als Rohstoff für die Synthese organischer Farbstoffe geradezu anbot. Der bislang wertlose, aromatenhaltige Steinkohlenteer wird so nicht nur zum Namensgeber der neuen Farbstoffklasse, sondern auch zum Geburtshelfer für die chemische Großindustrie. Für die Synthese der Teerfarbstoffe war der Einsatz konzentrierter Schwefelsäure oder, wenn sie – wie im Falle des Alizarinrots – über einen Sulfonierungsschritt führte, sogar Oleum (Mischungen von wasserfreier Schwefelsäure H_2SO_4 mit bis zu 65 % „freiem“ Schwefeltrioxid SO_3) unerlässlich. Die begrenzte Verfügbarkeit dieser Grundchemikalie galt denn auch als Achillesferse des sich entwickelnden Industriezweigs.

Das böhmische Monopol

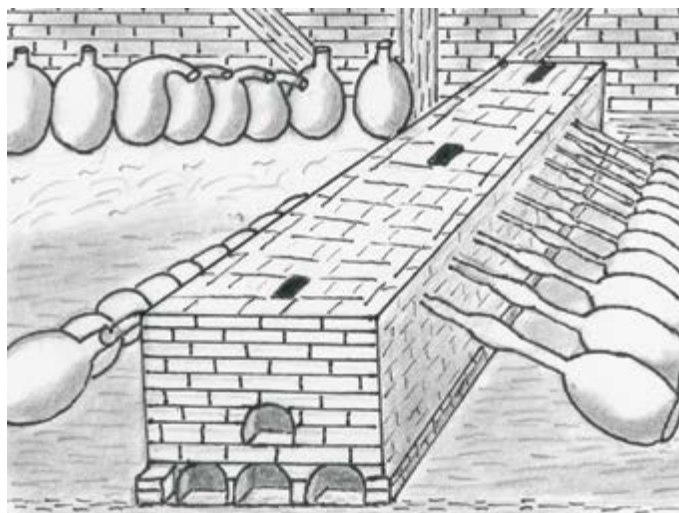
Schon 1857 wurde in Muldenhütten eine Schwefelsäurefabrik, die nach dem damals gängigen, in England entwickelten Bleikammer-Verfahren arbeitete, eingerichtet. [2] Als Rohstoff dienten schwefeldioxidreiche Röstgase. Die Bleikammer- oder englische Schwefelsäure, wie das Produkt genannt wurde, enthielt verfahrensbedingt aber nur maximal 80 % H_2SO_4 . Zwar konnte die Säure durch aufwändiges Abdampfen des Wassers in Platingefäßen auf 95 % aufkonzentriert werden, die Herstellung von Oleum aber war auf diesem Weg nicht möglich.

War man auf die mit Schwefeltrioxid gesättigte Säure – Oleum – angewiesen, so führte kein Weg an den Oleumbrennereien des Johann David v. Starck (1770–1841) bei Pilsen in Böhmen vorbei.



Clemens Winkler als junger Professor im Jahr 1873

Den in dieser Gegend vorkommenden Vitriolstein als Rohstoff nutzend, hatte der Baron zu Anfang des 19. Jahrhunderts ein Monopol für die Spezialchemikalie Oleum errichtet. Dieses Oleum wurde durch Glühen von entwässertem Vitriolstein (Eisen(III)-sulfat) in Retorten und Auffangen des gebildeten Schwefeltrioxids in mit Schwefelsäure gefüllten tönernen Vorlagen gewonnen. Das manufakturartige, mit hohen Verlusten an schwefligsaurem Gas einhergehende Verfahren geißelt Clemens Winkler in seinem Schreiben an das Oberhüttenamt als „... ziemlich roh, der Verbesserung fähig.“ Weiterhin fügt er hinzu, dass „die böhmischen Fabriken alle Anstrengung machen müssen, um den Bedarf nur einigermaßen zu decken, daß ihr Gewinn ein ganz außerordentlicher ist und daß die Abnehmer die Entstehung einer Konkurrenzfabrik sehnlichst herbeiwünschen.“ [3]



Galeerenofen zur Gewinnung von Oleum aus Eisen(III)-sulfat

¹ Dr. habil. Mike Haustein
Nickelhütte Aue GmbH
haustein@nickelhuette-aue.de

Winklers Innovation bestand zunächst aber nur darin, das für die thermische SO_3 -Erzeugung benötigte Eisensulfat künstlich herzustellen und nach dessen Zersetzung das zurückbleibende Eisenoxid mit englischer Schwefelsäure zu regenerieren, um es erneut zu brennen. Zwar prüfte die Behörde den Vorschlag, doch wollte der Funke der Begeisterung nicht recht auf die Beamten überspringen. Sowohl das Oberhüttenamt als auch das stets auf Sparsamkeit bedachte Dresdner Finanzministerium scheuten die Kosten für eine Versuchsanlage. Außerdem zeigte man sich recht zufrieden mit der bereits bestehenden, guten Gewinn abwerfenden Bleikammer-Schwefelsäurefabrik, so dass man sich nicht auf „*das Abentheuer einer neuen Fabrikation*“, wie es in einem entsprechenden Schreiben [3] heißt, einlassen mochte.

Der Stein der Weisen?

Die reservierte Haltung des Oberhüttenamts entmutigte Winkler keineswegs. Im Gegenteil, selbstkritisch erkannte er die Schwäche seines Vorschlags. Das Hauptproblem der Oleumbrennerei, nämlich das Hantieren mit den kleinen tönernen Gefäßen, blieb bestehen und würde die Überführung des Verfahrens in einen industriellen Maßstab behindern oder gar unmöglich machen.

Zielstrebig wandte sich der junge Professor einem anderen Ansatz zu. Die Idee, Schwefeldioxid SO_2 unter Zuhilfenahme von Kontaktsubstanzen (Katalysatoren) zu Schwefelsäureanhydrid SO_3 zu oxidieren, war nicht neu. Schon 1831 erhielt der Essigfabrikant Peregrine Phillips aus Bristol ein englisches Patent auf ein solches Verfahren. Inspiriert wurde Winkler aber vermutlich von den Arbeiten Carl Friedrich Plattners (1800–1858) und Ferdinand Reichs (1799–1883), die mit glühenden Quarzstücken als Kontaktsubstanz auf der Muldener Hütte experimentiert hatten. Allerdings scheiterten diese und weitere Versuche entweder an der technischen Umsetzung des Prozesses, oder das Produkt konnte mit der preisgünstigen Bleikammersäure nicht konkurrieren. Winklers Ansatz, die Kontaktwirkung lediglich zur Herstellung der teuren Spezialchemikalie Oleum zu nutzen und als Rohstoff englische Schwefelsäure zu verwenden, ließ den Kontaktprozess in völlig neuem Licht erscheinen.

Im Winter 1874/75 konstruierte der Freiburger Professor eine Laboratoriumsanlage, mit der er synchron englische



Einige Proben der von Winkler hergestellten Katalysatorsubstanzen blieben in der Sammlung chemischer Präparate der TU Bergakademie Freiberg als einmalige Zeugnisse der Chemiegeschichte erhalten. Sein Verfahren zur Herstellung von platinierterm Asbest wurde 1878 patentiert. Alle frühen Kontaktanlagen arbeiteten mit Platinkatalysatoren; erst ab den 1920er-Jahren wurde das Edelmetall durch das billigere und arsenunempfindlichere Vanadiumpentoxid verdrängt.

Schwefelsäure zersetzen, das enthaltene Wasser kondensieren und die nunmehr trockenen und im stöchiometrischen Verhältnis vorliegenden Gase Schwefeldioxid SO_2 und Sauerstoff O_2 an einem Platinkontakt wiederum zu Schwefelsäureanhydrid SO_3 vereinigen konnte. Als er die vielversprechenden Ergebnisse der Fachwelt in der bereits erwähnten Publikation im Oktober 1875 vorstellte, war diese verblüfft und elektrisiert zugleich. Das begehrte Oleum auf so einfache und elegante Weise zu gewinnen, schien wie der Stein der Weisen zu sein. Zahllose Firmen begannen den nunmehr als „Winklersches Verfahren“ bezeichneten Prozess nachzuahmen. Neben den vielen, heute kaum noch bekannten Unternehmen seien beispielhaft nur die Farbwerke Höchst, die Chemische Fabrik Rhenania in Stolberg bei Aachen und die Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF) genannt.

Umdenken im Oberhüttenamt

Auch dem Oberhüttenamt blieben diese neuen Entwicklungen nicht verborgen. Seit der ersten, abschlägig beschiedenen Eingabe Winklers hatte sich die Situation insofern verändert, als der Preis für englische Schwefelsäure erheblich zurückgegangen war. Die Muldener Säurefabrik arbeitete nun an der Wirtschaftlichkeitsgrenze und sah sich zudem mit Absatzschwierigkeiten konfrontiert. Das Winklersche Verfahren schien einen bequemen Ausweg aus der Misere darzubieten. Der Vorschlag des Oberhüttenamts, die kaum noch absetzbare Kammersäure in das begehrte Oleum umzuarbeiten, überzeugte nun auch das königliche Finanzministerium. Am 3. Januar 1877 werden 3.000 Mark zum Bau einer Versuchsanlage in einem leerstehenden Raum der Muldener Schwefelsäurefabrik bewilligt.

Diese Kehrtwende dürfte nicht unwesentlich durch den seit Februar 1876 amtierenden und mit Clemens Winkler

freundschaftlich verbundenen Oberhüttenverwalter Kurt Merbach (1839–1912) befördert worden sein. Das Duo Winkler/Merbach war es denn auch, das sich in der schwierigen Aufbauphase unermüdlich für das neue Verfahren einsetzte. Während Winkler weiter an dem Prozess forschte und seine Erkenntnisse dem Oberhüttenamt uneigennützig zur Verfügung stellte, räumte Merbach die administrativen und bürokratischen Schwierigkeiten aus dem Weg. Den Aufbau vor Ort leiteten der Hüttenmeister Karl Heinrich Bauer (1839–1895) und Hüttenbaumeister Reinhard Schwamkrug (1840–1885). Die Herstellung des Platinkatalysators übernahm, sofern dieser nicht von Winkler selbst stammte, das Hüttenlaboratorium unter Leitung von Arnulf Schertel (1841–1902).

Die erste Versuchsanlage war Ende Februar 1877 fertiggestellt worden. Sie bestand aus einem mit Koks beheiztem Ofen, in dem sowohl die Zersetzung der englischen Schwefelsäure in mit Quarz gefüllten gusseisernen Röhren als auch die Vereinigung der Spaltgase mittels Platinkontakt vonstattengehen sollte. An die 1,25 m langen und 16,5 cm weiten Zersetzungsröhren schlossen sich zwei Bleischlangen zur Kühlung der Spaltgase und ein Kondensationskasten zur Abscheidung des Wassers an. Bevor das Schwefeldioxid/Sauerstoff-Gemisch in den Kontaktbereich des Ofens zurückströmte, musste es noch einen mit konzentrierter Schwefelsäure besetzten Trockenturm passieren. Nachdem die Gase die im oberen Bereich des Ofens befindlichen, mit platinierterm Asbest gefüllten Kontakt-Röhren verlassen hatten, sollte das gebildete, bei Zimmertemperatur feste Anhydrid in glasierten tönernen Vorlagen, den sog. Tourills, abgeschieden werden. Um letzte Reste des Schwefeltrioxids gewinnen zu können, wurde noch ein mit Schwefelsäure beaufschlagter Absorptionsturm nachgeschaltet. Da Winkler nur mit einer Ausbeute von maximal



Kurt Merbach war maßgeblich an der technischen Umsetzung des Kontaktverfahrens beteiligt. Bekannt wurde er auch durch seine Funktion als Reichstagsabgeordneter des Wahlkreises Freiberg-Brand von 1884 bis 1898. Foto um 1900

70 % rechnete, war vorgesehen, die noch immer SO₂-haltigen Abgase später dem Bleikammersystem der Muldener Schwefelsäurefabrik zuzuführen.

Gedämpfte Euphorie und neuer Ansatz

Noch bevor die Versuchsanlage ihren Betrieb aufnahm, gelangten mehrere Schreiben in Winklers Hände, in denen Firmen über erhebliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung des Prozesses berichteten. Wie ein böses Omen wirkte ein anonymes Brief, in dem behauptet wurde, dass die Methode für die Praxis gänzlich ungeeignet sei. Tatsächlich mussten die Versuche in Muldenhütten schon nach wenigen Tagen abgebrochen werden. Als Schwachpunkt stellte sich aber nicht etwa der Kontakt, sondern die Zersetzung der englischen Schwefelsäure heraus. Einerseits gelang diese nur sehr ungenügend, andererseits konnten die gusseisernen Zersetzungsrohre der aggressiven Säure nur kurze Zeit widerstehen.

Günstigere Resultate erbrachte zunächst der Einsatz speziell angefertigter tönerner Retorten, die anstelle der Gussrohre in den vorhandenen Ofen eingepasst wurden. Mit mehreren Unterbrechungen konnten so bis November 1877 einige Zentner einer stark rauchenden Schwefelsäure erzeugt werden. Dann allerdings waren nicht nur die Retorten wie auch weitere Teile der Anlage total verschlissen, sondern auch die veranschlagten Mittel aufgebraucht, so dass man nicht umhin kam, die Versuche abzubrechen.

Mit dem Argument, zwar keine nennenswerte Menge Oleum, dafür aber wertvolle Erkenntnisse gewonnen zu haben, bemühten sich Bauer und Merbach, das Finanzministerium vom Sinn der Fortführung der Versuche zu überzeugen. Eine größere Anlage, nunmehr mit separatem Zersetzungs- und Vereinigungs-Ofen, sollte den Durchbruch bringen. Statt auf Eisenröhren setzte man nun auf die vermeintlich widerstandsfähigeren glasierten Retorten. Als sich das Ministerium im Mai 1878 dazu durchgerungen hatte, die für den neuen Versuchsaufbau veranschlagten 5.000 Mark zu genehmigen, konnten drei Zersetzungsretorten bestellt und der Umbau der Anlage in Angriff genommen werden.

Doch auch der zweite Versuch stand von Anfang an unter keinem guten Stern. Bereits beim Vorwärmen ging eine der teuren Spezialretorten zu Bruch. Mit dem Eintropfen der Schwefelsäure in nur mehr zwei Zersetzungsgefäße ging die Versuchsanlage am 1. November 1878 in Betrieb. Um einen Eindruck vom desaströsen Fortgang des Versuchs zu erhalten, soll Hüttenmeister Bauer zu Wort kommen: „Nach etwa zehnstündigem Säureeinlauf ... erhielt auch die zweite Zersetzungsretorte Risse und mußte ebenfalls ausgeschaltet werden. Die Zersetzung wurde nun mit der letzten Retorte allein fortgesetzt, doch auch diese hatte nach dem weiteren Verlauf von 8 Stunden ebenfalls derartige Sprünge erhalten, daß der Säureeinlauf ... abgestellt werden mußte.“ [3] Alle Dicht- und Reparaturversuche blieben erfolglos, so dass man sich zu der finalen Erkenntnis durchringen musste, dass die Zersetzung der englischen Schwefelsäure im Großen nicht beherrschbar ist.

Schon am 10. März 1878, also gut sechs Monate vor Inbetriebnahme der zweiten Versuchsanlage, hatte Winkler dem Oberhüttenamt Röstgase statt englischer Schwefelsäure als Rohstoff für das Kontaktverfahren zur SO₃-Erzeugung empfohlen. Allerdings wies er sehr nachdrücklich auf die zerstörerische Wirkung des Arsens auf den Platinkatalysator hin und stellte die vollständige Entfernung des Kontaktgifts aus dem Röstgas als essenzielle Voraussetzung für den Erfolg dieses neuen Ansatzes heraus. Die dabei zu erwartenden technischen Schwierigkeiten waren es denn auch, die das Oberhüttenamt zunächst noch an der Zersetzung von Säure festhalten ließen. Das furiose Scheitern der zweiten Anlage bewog nun Merbach und Bauer dazu, auf Winklers

Vorschlag einzugehen. Immerhin konnten so nicht nur der unbeherrschbare Zersetzungsprozess umgangen, sondern auch die Herstellungskosten für die englische Schwefelsäure eingespart werden.

Maßstäbe im Geheimen

Mit dem Röstprozess wird das Ziel verfolgt, die Erze von ihrem Schwefel- und Arsengehalt zu befreien, um sie in weiteren metallurgischen Schritten auf ihre Wertmetalle hin verarbeiten zu können. Die Röstgase enthalten neben Schwefeldioxid also immer auch Arsen (vorwiegend als As₂O₃) und weitere staubförmige Bestandteile. Für den unempfindlicheren Bleikammerprozess (mit NO_x-Gasen als Katalysator) genügte Flugstaubkanäle oder – ab etwa 1920 elektrische Gasreinigungen (EGR), um die Hauptmenge des Arsens abzuschneiden. Der Platinkontakt indes wird schon durch geringe Arsenmengen beeinträchtigt bzw. völlig unwirksam. Somit ist nachvollziehbar, dass die Abscheidung des Flugstaubs die größte Herausforderung bei der Verwertung von Röstgasen durch den Kontaktprozess darstellte.

Für den ersten Versuch wurden daher auch nicht einheimische Kiese, sondern spanische Rio-Tinto-Erze, die vergleichsweise arsenarm sind, herangezogen. Als die Anlage am 1. Februar 1879 den Betrieb aufnahm, war sie die erste ihrer Art überhaupt. Durch mehrere Filter, gefüllt mit Reisig, Stroh, Baumwolle, und schließlich eine Nasswäsche mit Schwefelsäure gelang eine annähernd vollständige Abscheidung des Flugstaubs. Zügig wurde die zunächst sehr einfache Konstruktion verbessert, z. B. durch den Einsatz einer Dampfmaschine statt des bisher von Muskelkraft bewegten Saugzugventilators. Schließlich war Ende März 1879 das Zutrauen der Beteiligten zu ihrer Anlage so weit gewachsen, dass man sich sogar für den Einsatz Freiburger Kiese entschied. Kurze Zeit später stand fest, dass das Entstaubungsproblem beherrschbar ist.

Jetzt, da man sich in Muldenhütten zu Recht auf dem richtigen Weg wähnte, begann eine Periode intensiver technologischer Entwicklungsarbeiten. So erzielten die Hüttenwerker durch Temperierung der Röstgase durch eine günstige Anordnung des Kontakts sowie durch Einführung eines Vorkontakts eine bisher großtechnisch nicht erreichte Ausbeute von 50 %. Auch die Abscheidung des Anhydrids in Tourills wurde zugunsten seiner vollständigen Absorption mittels Schwefelsäure



Da von der Kontaktanlage in Muldenhütten nichts erhalten blieb, ist ein originalgetreues Modell derselben, das sich in der Sammlung hüttenmännischer Modelle der TU Freiberg befindet, als ein umso wertvolleres Zeugnis der Industriegeschichte zu bewerten. V. r.: Filtertürme zur Röstgasentstaubung, je zwei Vorwärm- und Kontaktöfen mit fünf Röhren, anschließend drei doppelte Absorptionstürme. Der Aufbau entspricht der Anlage, wie sie seit 1882 bestand. Maßstab 1:25

aufgegeben. Die Resultate waren so überzeugend, dass man am 13. Dezember 1879 das Versuchsstadium für beendet erklären und zum Regelbetrieb übergehen konnte. Bis zum 26. Juni 1880 lieferte die Anlage 725 Zentner Oleum bester Qualität. Auch die ökonomischen Erwartungen schienen sich zu erfüllen. Immerhin lagen die Selbstkosten mit acht Mark pro Zentner bei nur der Hälfte des Preises, den die böhmischen Oleumbrenner für ihr Produkt berechneten.

Eine wiederum verbesserte und nunmehr zwei Kontaktöfen umfassende Anlage ging am 3. Oktober 1881 in Betrieb. Nun konnten durchschnittlich zwölf Zentner Oleum pro Tag erzeugt werden. Eine weitere Neuerung war die Einführung platinieren Bimssteins als Katalysator (1883), der weniger Edelmetall erfordert und im Laufe des Betriebes nicht so stark verdichtet wird wie die zuvor eingesetzte platinierter Asbestwolle. Als noch günstiger erwiesen sich Porzellanröhrchen bzw. -kugeln, die ab 1888 bzw. 1891 als Trägermaterial für das Platin Verwendung fanden. Im Jahr 1888 produzierte die Anlage erstmals auch gewöhnliche konzentrierte Schwefelsäure für die Hilbersdorfer Dynamitfabrik. Es war nun günstiger, sie in der Kontaktanlage statt über den Weg der Aufkonzentrierung von Bleikammersäure herzustellen. Ab 1892 beträgt die tägliche Produktion schon 2,5 t Anhydrid pro Tag, bei einer Ausbeute von 60 %.

Obwohl die großartigen Erfolge der Freiburger Hüttenwerke Maßstäbe bei der Etablierung des Kontaktverfahrens setzten, sorgte eine strenge Geheimhaltung

dafür, dass sie der Fachwelt fast gänzlich verborgen blieben. Allerdings war das Oberhüttenamt auch nur sehr ungenügend über die Fortschritte anderer Unternehmen unterrichtet. Unangenehm überrascht müssen die Beamten der Behörde daher gewesen sein, als am 28. September 1893 Post aus Ludwigshafen in Freiberg eintraf.

David gegen Goliath

Carl Glaser (1841–1935), seines Zeichens Direktor der in kurzer Zeit zum chemischen Großunternehmen aufgestiegenen BASF, findet deutliche Worte für sein Anliegen. So heißt es in dem Schreiben: „... wir (sind) entschlossen, unseren Absatz in diesem Artikel (Schwefelsäureanhydrid – d. V.), welchen wir vorteilhaft fabricieren, auszudehnen und den Kampf mit der Cuncurrenz aufzunehmen.“ [3] Glaser hält auch mit einem Verständigungsvorschlag, wie er es nennt, nicht hinter dem Berg. Mit Nachdruck empfiehlt er, die Produktion in Muldenhütten zugunsten der BASF einzustellen und die Kunden künftig mit Oleum aus Ludwigshafen zu beliefern.

Nach einigen Tagen Bedenkzeit gibt sich das Oberhüttenamt erstaunlich gelassen. Freundlich, aber bestimmt wird das Ansinnen aus der bayrischen Pfalz zurückgewiesen. Dennoch gestaltete sich der Kampf mit dem Chemiegiganten zunehmend schwierig. Bereits 1895 waren die Preise so tief gefallen, dass sich in Muldenhütten kein Geld mehr mit Oleum verdienen ließ. Die interimswise Stilllegung der Kontaktanlage bereitete der Hütte aber kaum Schwierigkeiten, konnten doch die Röstgase genau so gut zu

Bleikammersäure verarbeitet werden, die nach wie vor ihren Absatz fand. Ab 1896 schienen sich die Ludwigshafener mit dem kleinen renitenten Konkurrenten in Freiberg abgefunden zu haben; jedenfalls arbeitete die Kontaktanlage nun wieder und erfuhr sogar noch einige Verbesserungen.

Die anfängliche Vorreiterrolle allerdings hatte man inzwischen verloren. Wichtige Weiterentwicklungen, wie die Einführung der Kühlung des Kontakts, das Fahren mit Luftüberschuss sowie die Kompression der Gase, die nun eine fast quantitative Umsetzung des Schwefeldioxids zu SO₃ ermöglichten, wurden durch Rudolf Knietsch (1854–1906), den Leiter der Anorganischen Abteilung der BASF, realisiert. Schon im Jahr 1899 stellte der Chemiegigant nicht nur Oleum, sondern nahezu seine gesamte Schwefelsäuremenge nach dem Kontaktverfahren her.

Anerkennung und unrühmliches Ende

Obwohl es nach den vorliegenden Unterlagen [4] erst im Jahr 1900 zu einem Kontakt zwischen Clemens Winkler und Rudolf Knietsch gekommen zu sein scheint, ist man sich bei der BASF durchaus bewusst, welche Bedeutung die Veröffentlichung des Freiburger Professors vom Oktober 1875 für die Entwicklung des Kontaktverfahrens hatte. So trägt die Ludwigshafener Firma Winkler im April 1899 einen jährlichen Ehrensold von 5.000 Mark an – eine überzeugende Anerkennung seiner Erfindingleistung, wenn man in Betracht zieht, dass sein Professorenalar deutlich niedriger ausfiel.

Einen weiteren Beleg dafür, dass Winkler von seinen Zeitgenossen als Begründer des Kontaktverfahrens anerkannt wurde, lieferte Rudolf Knietsch in seinem vielbeachteten Vortrag „Ueber die Schwefelsäure und ihre Fabrication nach dem Contactverfahren“ [5], den er 1901 in Berlin hielt. Zwar erwähnt er auch ältere Arbeiten auf diesem Gebiet, bezeichnet Winklers Veröffentlichung von 1875 aber als „Wendepunkt“, der „das größte Aufsehen erregt und die weiteren Arbeiten über das Contactverfahren noch lange beherrscht (habe)“. Er fügt hinzu: „Die gesammte Industrie hat deshalb Veranlassung, Winkler für seine technischen Anregungen zu grossem Danke verpflichtet zu sein.“

Zusammengefasst bestehen Clemens Winklers Verdienste darin, die technische Umsetzung des Kontaktverfahrens initiiert, einen wirksamen Katalysator entwickelt, als Erster Röstgase als Rohstoff vorgeschlagen und schließlich die



Die Schwefelsäurefabrik wurde von der großen Bleikammeranlage dominiert. Hier fand aber auch die Anhydridproduktion nach dem Kontaktverfahren ihr Unterkommen. Aufnahme 1927, Sammlung Kolmschlag

Giftwirkung des Arsens auf den Katalysator klar herausgestellt zu haben. Ihn als „Begründer der modernen Schwefelsäureindustrie“ zu betiteln, ist daher keineswegs übertrieben.

Weniger gewürdigt wurden dagegen die Leistungen der Muldener Hüttenwerker. Sie sind umso höher zu bewerten, als die ihnen zur Verfügung stehenden Mittel nur sehr bescheiden ausfielen. Nach den vorliegenden Akten wurden noch heute gültige Prinzipien des Kontaktverfahrens,

wie die Hintereinanderreihung zweier Katalysatoren (Doppelkontakt), die günstigste Reaktionstemperatur von 400 °C und der Sauerstoffüberschuss zur Erzielung einer hohen Ausbeute sowie die Kugel als geeignete Form des Katalysatorträgermaterials zuerst – oder zumindest auch – in Muldenhütten gefunden.

Die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit der Freiburger Kontaktanlage wird durch den Fakt belegt, dass sie sich noch lange gegen die Konkurrenz

der chemischen Großindustrie behaupten konnte. Über den Zeitpunkt der Einstellung der Oleum-Fabrikation in Muldenhütten geben die Akten im Bergarchiv Freiberg keinen Aufschluss. Der letzte Nachweis über die Produktion von Schwefelsäureanhydrid findet sich im Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen von 1919. Sicher ist, dass das „Anhydridgebäude“ im Jahre 1928 im Rahmen staatlich subventionierter Notstandsarbeit (heute würden wir sagen: einer „ABM-Maßnahme“) abgebrochen wurde. Ein unrühmliches Ende für eine Anlage, die den Weg in die moderne industrielle Schwefelsäureherstellung wies.

Literatur

- 1 Winkler, Cl., Versuche über die Ueberführung der schwefligen Säure in Schwefelsäureanhydrid durch Contactwirkung behufs Darstellung von rauchender Schwefelsäure, Dinglers polytechn. J. 218, (1875), 128
- 2 Kolmschlag, F.-P., Sieben Jahrhunderte Hüttenstandort Müldenhütten, Freiberg 2010
- 3 Akten im Bergarchiv Freiberg: Bestand 40035, Nr. 0487, 0488, 0489 und 0880
- 4 Winkler, Cl., Nachlass, aufbewahrt von der Universitätsbibliothek Freiberg
- 5 Knietsch, R., Ueber die Schwefelsäure und ihre Fabrication nach dem Contactverfahren, Ber. dt. chem. Gesellschaft 34, (1901), 4069

Aufbereitung und Recycling in Freiberg

Rückblick und Perspektive aus Anlass des 60. Jahrestages der Gründung des Forschungsinstituts für Aufbereitung und der Neugründung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie

Hanspeter Heegn¹

Historie der Aufbereitung in Freiberg

Bereits Agricola (1494–1555) [Agricola 1556] und Balthasar Rösler (1605–1673) [Rösler 1700] widmen sich in ihren Werken sowohl dem Bergbau als auch der Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe.

Nach der vor 250 Jahren erfolgten Gründung der Bergakademie findet sich 1781 in Werners (1749–1817) Bergbaukunde-Vorlesung der erste Nachweis einer speziellen Behandlung der Aufbereitung. In der Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der Königlich sächsischen Bergakademie zu Freiberg [von Beust 1866, 1867] wird dies erwähnt. Gätzschnann fasste seine umfangreichen Kenntnisse zur Aufbereitung in einem zweibändigen Werk [Gätzschnann 1864, 1872] zusammen. Ab 1871 übernahm Kreisler

(1834–1891) den Lehrstuhl für Bergbau und Aufbereitungskunde. Sein Nachfolger Treptow (1854–1935) hielt eigenständige Vorlesungen über die Aufbereitung und das Entwerfen von Aufbereitungsanlagen. Ihm folgte Madel (1887–1939), der von 1924 bis 1939 Direktor des „Instituts für Aufbereitung und Bergbaukunde“ war. 1927 wurde ein nach Madels Plänen gestaltetes Aufbereitungslabor in der Agricolastraße in Betrieb genommen. Der Physikochemiker Petersen war von 1931–1937 Privatdozent für Aufbereitung und beschreibt in seinem Buch „Schwimmaufbereitung“ die Flotation der Mineralien [Petersen 1936]. 1942 wird Gründer (1902–1962) Professor für Aufbereitungskunde und nach dessen Abberufung 1947 Helmut Kirchberg (1906–1983) Professor für Aufbereitung. Dieser initiierte 1949 einen eigenen Studiengang Aufbereitung. 1953 erschien sein Buch „Aufbereitung bergbaulicher



Abb. 1: Rektor Professor Helmut Kirchberg (1906–1983), Direktor des FIA Freiberg (1954–1971)

¹ Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg

Rohstoffe“ [Kirchberg 1953]. Kirchberg war von 1953 bis 1955 auch Rektor der Bergakademie (Abb. 1). Die weitere Entwicklung der Aufbereitungstechnik und Mechanischen Verfahrenstechnik an der Bergakademie ist wesentlich von seinem Nachfolger, Prof. H. Schubert [Schubert 2009], geprägt worden.

Gründung des Forschungsinstituts für Aufbereitung (FIA)

Bereits Anfang der 1950er-Jahre hatte Kirchberg grundlegende Ideen zur Gründung einer außerhalb der universitären Forschung angesiedelten Forschungseinrichtung zur Aufbereitung mineralischer Rohstoffe [Volke, Uhlig 2000]. Basierend auf einer dieser Idee entgegenkommenden Investitionsbereitschaft der Regierung der DDR in Bezug auf die Entwicklung der Grundstoffindustrie und die Nutzung von einheimischen Rohstoffen gelang eine relativ schnelle Projektierung, wobei wesentliche Visionen Kirchbergs umgesetzt wurden. Am 01.01.1954 wurde das FIA gegründet. Abb. 2 zeigt die Grundsteinlegung auf dem ca. 6.000 m² großen Gelände an der Chemnitzer Straße 40 (damals Straße des Friedens) mit Prof. Kirchberg und dem damaligen Minister für Schwerindustrie der DDR, Fritz Selbmann (1899–1975), der ein starker Unterstützer dieses Vorhabens war. Im Frühjahr 1956 wurde bereits der Laborflügel des Hauptgebäudes von ersten Mitarbeitern bezogen. Bis 1960 vollzog sich der weitere Ausbau mit der großen Versuchshalle, dem Kleinmaschinenlabor, der Anlage zur Waggonentladung mit Gleisanschluss an das Netz der damaligen Deutschen Reichsbahn u. a. Die Abb. 3 vermittelt einen Eindruck vom damaligen Baugeschehen. In Abb. 4 sind die einzelnen Funktionsgebäude des für die damaligen Verhältnisse sehr großzügig gestalteten Komplexes nach ihrer Fertigstellung zu sehen. Dass außer auf Funktionalität auch auf die architektonische Wirkung des Gebäudes Wert gelegt wurde, zeigt sich am Beispiel der freitragenden Treppe (Abb. 5). Die Weitsicht der Konzeptionsentwickler des Instituts wird insbesondere an der Gestaltung der Funktionsgebäude deutlich, z. B. an der 1958 in Betrieb genommenen Versuchshalle, die mit der Separation in ein Trocken- und ein Nassabteil sowie mit den durch Krananlagen versetzbaren Arbeitsbühnen den Aufbau komplexer Versuchsanordnungen im kleintechnischen und im Pilotmaßstab erlaubte. Abb. 6 zeigt das Konzept der variablen Arbeitsbühnen.



Abb. 2: Grundsteinlegung 1955 mit Minister Selbmann und Prof. Kirchberg



Abb. 3 (unten): Baustelle 1958 mit Laborflügel des Hauptgebäudes, Werkstattgebäude und Versuchshalle sowie dem noch im Bau befindlichen Verwaltungsflügel und der Waggonentladung des FIA



Abb. 4: Das FIA nach seiner Fertigstellung



Abb. 5: Treppenhaus am Haupteingang

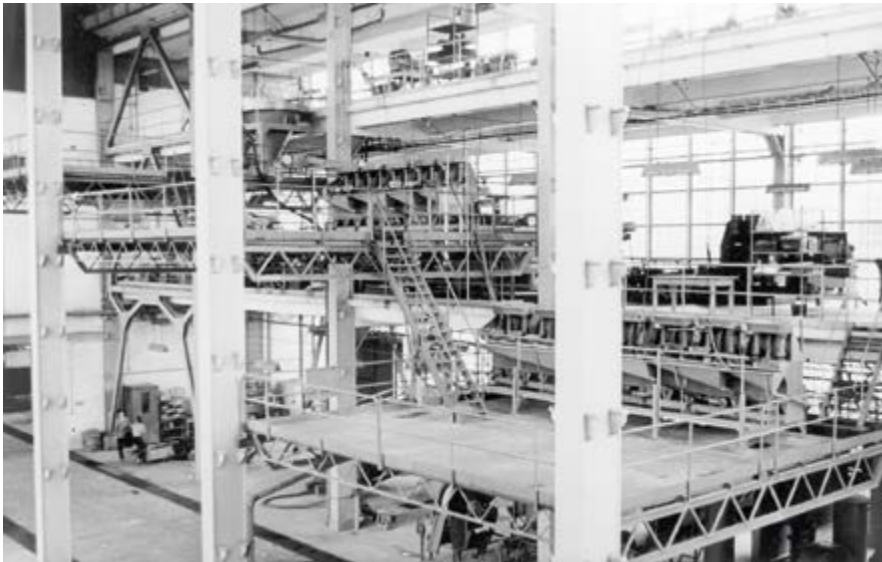


Abb. 6: Versetzbare Arbeitsbühnen in der Versuchshalle



Abb. 7: Blick in das chemische Laboratorium

Im Laborflügel des Hauptgebäudes befanden sich ab 1958/59 die chemischen (Abb. 7), physikalischen und mineralogisch-petrographischen Laboratorien. Bis zum Anfang der 1970er-Jahre wurden weitere Speziallaboratorien (Fotolabor, Isotopenlabor, Röntgendiffraktometrie, Thermoanalyse, Infrarotspektroskopie, Anlagen für die Flotationsgrundlagenforschung) eingerichtet. Für Veranstaltungen stand ein Hörsaal für ca. 160 Zuhörer zur Verfügung. Nicht unerwähnt bleiben sollen auch die sozialen Einrichtungen: Küche, Speiseraum, Verkaufsstelle und Sanitätsraum.

Das FIA gehörte in den Anfangsjahren zum Ministerium für Schwerindustrie der DDR (ab 1955 Ministerium für Berg- und Hüttenwesen) und vom 13.02.1958 ab zur Deutschen Akademie der Wissenschaften

zu Berlin (1972 in „Akademie der Wissenschaften der DDR“ umbenannt).

Die feierliche Einweihung des Instituts, verbunden mit einem internationalen wissenschaftlichen Kolloquium unter dem Thema „Probleme der Aufbereitung feinsten Körnungen“, fand am 1./2. September 1959 statt. Die Mitarbeiterzahl stieg von 160 (1958) kontinuierlich auf mehr als 400, darunter etwa 100 Wissenschaftler (1986). Günstige Voraussetzungen für die Entwicklung eines qualitativ hochkarätigen Personalbestands resultierten aus der Anstellung von am Institut für Aufbereitung der Bergakademie Freiberg unter Leitung von Prof. Heinrich Schubert ausgebildeten Fachleuten. Direktoren des Instituts waren die Professoren Helmut Kirchberg (1954–1971), Edelhard Töpfer (1972–1986) und Dieter Uhlig (1986–1991).

Aktivitäten des FIA in Grundlagen- und Anwendungsforschung

Die Aufgaben des FIA wurden zunächst von den wirtschaftlichen Bedingungen in der DDR geprägt. 1965 betrug der Anteil der Industrie-Vertragsforschung 35 %. Er stieg 1972 auf 50 % und erreichte ab 1985 einen Anteil von 60–75 % der Forschungskapazität des Instituts. In *Tabelle 1* auf der folgenden Seite sind einige langjährige Arbeitsgebiete mit ausgewiesenen Ergebnissen [Dokumentation FIA-Forschungsberichte bis 1991] angeführt. Expertisen zur Rohstoffökonomie sowie technisch-ökonomische Untersuchungen zu den einzelnen Forschungsaufgaben, die von spezialisierten Arbeitsgruppen des Instituts erarbeitet wurden, waren wesentliche Bestandteile zahlreicher Projekte. Im Archiv der UVR-FIA GmbH sind mehr als 1200 Berichte über die bis 1991 gelaufenen Forschungsarbeiten abgelegt.

Über 1.500 Publikationen in Zeitschriften und auf Tagungen von Wissenschaftlern und Ingenieuren des FIA im In- und Ausland sind belegt. Im Rahmen der Forschungen wurden mehr als 30 Dissertationen angefertigt. Die vom Institut im Zeitraum von 1959 bis 1989 veranstalteten sieben wissenschaftlichen Tagungen hatten internationalen Charakter und führten maßgebliche Fachleute, vor allem aus Osteuropa, aber auch aus der BRD und anderen Ländern, zusammen.

Außer durch seine Forschungstätigkeit war das FIA Freiberg international durch seine von der Leitstelle für Information und Dokumentation für das Fachgebiet „Aufbereitung“ bis 1991 im Auftrag des Zentralinstituts für Information und Dokumentation der DDR herausgegebene Kartei bekannt – eine kontinuierliche Auswertung aller relevanten (deutschen und internationalen) Fachzeitschriften mit 120 Referaten monatlich. Bei der UVR-FIA GmbH existieren noch eine Verfasserkartei mit allen im Zeitraum 1952–1991 angefertigten (ca. 110.000) Referaten und die Sachkartei, gegliedert nach Thesaurus „Aufbereitung“ (ca. 35.000 Referate) für den Zeitraum 1975–1990.

Probleme im Zusammenhang mit der Wiedervereinigung Deutschlands

Die Akademie der Wissenschaften der DDR, in die zahlreiche außeruniversitäre Forschungseinrichtungen eingegliedert waren, hatte nach 1990 in ihrer bisherigen Form keinen Bestand. Sie wurde in eine Gelehrten-gesellschaft (Berlin-Brandenburgische Akademie der

Tabelle 1: Wesentliche Forschungsgebiete bis 1991

Erze und mineralische Rohstoffe
<ul style="list-style-type: none"> • Aufbereitung feinverwachsender armer Zinnerze durch Flotation • Flotation komplex zusammengesetzter Flussspat-haufwerke • Erzeugung hochwertiger Glassande durch Flotation • Gewinnung höchstwertiger Quarzrohstoffe • Qualitätsverbesserung von Kaolinen • Flotation von Feldspaten • Verbesserung der technologischen Kennziffern der Sylvinflotation
Mechanische Verfahrenstechnik industr. Prozesse
<ul style="list-style-type: none"> • Zerkleinerungsprozesse in Zementanlagen • Mechan. Verfahrenstechnik bei technischer Keramik • Schleifmittelpreparation • Zerkleinerung v. Elektrodenkoks f. Graphitelektroden
Umweltschutz und Stoffrecycling
<ul style="list-style-type: none"> • Ölabtrennung aus hochlegierten Schleifrückständen • Verfahrensoptimierung der Akkuschrötaufbereitung • Technolog. Verbesserungen in Bodenwaschanlagen • Hg-Abscheidung kontaminierter Materialien durch Nassmechanik
Grundlagenforschung mechan. Verfahrenstechnik
<ul style="list-style-type: none"> • Zerkleinerungsverhalten von heterogenen Körnerkollektiven • Quantifizierung des Zerkleinerungs- und Transportverhaltens von Feststoffen in Trommelmöhlen • Mech. Aktivierung durch Beanspruchung in Mühlen • Physikalische und physikochemische Vorgänge beim Flockungsprozess • Quantifizierung des Haftvorgangs Teilchen/Blase bei der Flotation und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Dreiphasenkontakts • Trennvorgänge bei der Hochgradientenmagnetscheidung und Magnetfilterung • Wandreibungswinkel und Fließzustand von Schüttgütern in Bunkern • Modellierung der Kreislaufschaltung Mühle/Sichter • Modellierung von mehrstufigen Flotationsanlagen
Untersuchungsmethoden, Apparateentwicklungen
<ul style="list-style-type: none"> • Mineralogische Methoden zur Quantifizierung von Trennprozessen • Für spezifische Anwendungsfälle modifizierte Probenahmemodelle • Statistische Maßzahlen zu Fehlern granulometrischer Messmethoden • Methoden zur Bestimmung der Verweilzeitverteilung in Apparaten der mechanischen Verfahrenstechnik • Eigenkonstruktion von Laborapparaten (z. B. Siebkugelmühle, Großsiebanalyse, ...)
Aufbereitung von ausländischen Rohstoffen
<ul style="list-style-type: none"> • Cr-Erz (Albanien) • Pb-Zn-Erz und W-Erz (Algerien) • Fe-Erz und Mn-Erz (Bulgarien) • Phosphate und Kassiterit (China) • Magnesit (CSSR) • Sn-Konzentrat (Portugal, Frankreich) • Fe-Erz und Magnesit (Indien) • Zirkonkonzentrat (Korea) • Chromiterz und Quarzsand (Kuba) • Pb-Zn-Pyrit-Erz (Marokko) • Schwermineralsande, Golderz, Tantalz und Steinkohle (Mocambique) • W-Erz und Golderz (Mongolei) • Feldspat und Quarzit (Rumänien) • Magnetit, Kola-Perovskit und Kieselgur (UdSSR) • Zn-Erz, Apatit, Ni-Cu-Zn-Pb-Erz, Cr-Ni-Erz und SE-Erze (Vietnam)

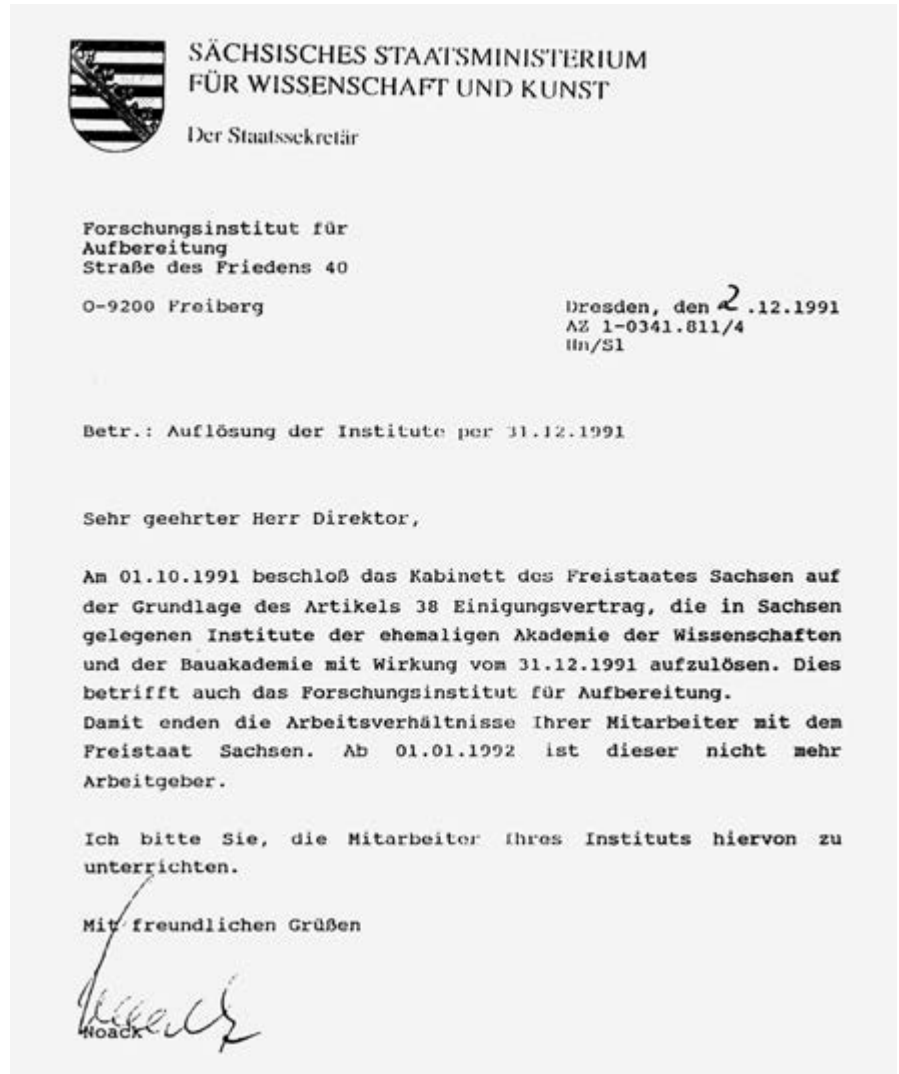


Abb. 8: Schreiben des SMWK zur Auflösung des FIA Freiberg

Wissenschaften) umgewandelt; viele ihrer Institute wurden „abgewickelt“ oder deren Zuordnung zu den in den alten Bundesländern existierenden Forschungsverbänden angestrebt. Leider scheiterte für das FIA – trotz intensiver Bemühungen und zahlreicher positiver Ansätze – der Versuch einer Eingliederung in die Fraunhofer Gesellschaft am negativen Votum der für Evaluierung der Institute der AdW eingesetzten Kommission des Wissenschaftsrats [Wolf 1996]. Die damalige Ausrichtung der Volkswirtschaft – weg von einer produzierenden Wirtschaft zu einer Dienstleistungsgesellschaft sowie die erst kurz vor der Wiedervereinigung in den alten Bundesländern vollzogene Etablierung von analogen Forschungseinrichtungen wie z. B. des CUTEC Clausthal und die Umprofilierung solcher Institute wie des ICT Karlsruhe nach dem Ende des kalten Krieges waren mitbestimmend für die FIA-Abwicklung. Die Arbeitsverhältnisse der Mitarbeiter mit dem Land Sachsen endeten am 31.12.1991 (Abb. 8).

Die Empfehlung an die Landesregierung Sachsen ging dahin, einige Forschungsgruppen der Bergakademie Freiberg bzw. einem neuen Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung im Rahmen des so genannten Wissenschafts-Integrations-Programms (WIP) zuzuordnen. Der Vorschlag, den Kernbereich des Instituts in eine „Bodenentsorgungsanstalt“ umzuwandeln, war völlig illusorisch und wurde nie realisiert.

Weiterführung als gemeinnützige Forschungseinrichtung und GmbH

Als Konsequenz aus der absehbaren Schließung des FIA ergriffen Mitarbeiter des Instituts die Initiative und gründeten noch 1991 die beiden gemeinnützigen Vereine Gesellschaft für Verfahrenstechnik (GVT-FIA e. V.) und Umweltverfahrenstechnik und Recycling (UVR e. V.). Diese führten im Rahmen des von der Stadt Freiberg und den Landkreisen gebildeten und auf der Immobilie des FIA ansässigen Gründer- und Innovationszentrums

(GIZeF) wesentliche Aufgabengebiete des ehemaligen FIA weiter. Dazu erwarben sie einen großen Teil der Forschungsausrüstungen zum Zeitwert vom Land und mieteten die Versuchshalle sowie das Laborgebäude für kleintechnische Versuche. Die beiden Vereine gründeten 1996 die UVR-FIA GmbH, die 2002 den Status eines An-Instituts der TU Bergakademie Freiberg zugesprochen bekam. Dr. Christoph Cichos als Geschäftsführer und Dr. Wolfgang Scheibe als Prokurist führten von 1996 bis 2006 die GmbH. Seit 2011 ist die Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg, die aus dem Zusammenschluss der beiden Vereine UVR und GVT-FIA hervorgegangen ist, alleiniger Gesellschafter der UVR-FIA GmbH. Als privatwirtschaftlich geführte ingenieurtechnische Einrichtung mit einem kleinen Mitarbeiterstab kann die GmbH aber nicht in gleicher Breite tätig sein wie das ehemalige FIA. Außerdem hat sich die Ausrichtung in den Jahren des Bestehens der UVR-FIA GmbH den veränderten Anforderungen aus der Wirtschaft angepasst. Die Bedeutung der Umweltschutzverfahrenstechnik, die in den ersten Jahren nach der Unternehmensgründung noch sehr ausgeprägt war, ist in der letzten Zeit zugunsten der Rohstoffverfahrenstechnik zurückgegangen. Einige der anfänglichen Tätigkeitsfelder – wie die Gefährdungsabschätzung und Bodensanierung, die Reinigung von Bergbauabwässern der Wismut GmbH, die Sanierung von Industriegebieten z. B. in Halsbrücke und Plauen, die Schwermetallabtrennung aus Flusssedimenten des Erzgebirges, die Rekonstruktion von Altdeponien – wurden vollständig aufgegeben. Geblieben sind die Aktivitäten auf dem Gebiet des Recyclings (Aufbereitung von Metall-Kunststoffverbunden, Nickel-Metallhydrid-Batterieschrott und Lithiumionen-Akkumulatoren, Recycling von Silizium aus der Solar-Wafer-Produktion, Entsorgung von Asbest über Öl-Asbest-Maischen u. a). Wesentliche Projekte betrafen auch die Nutzung der Technik und der Spezialkenntnisse der Wissenschaftler, die im Rahmen von DFG- und BMFT-Projekten gefragt waren (z. B. mechanische Aktivierung von Kohlenstoff, TiAl-Synthese durch aktivierende Mahlung, Metallfeinzerkleinerung, mechanische Aktivierung nanokristalliner Werkstoffe, Verbesserung der Feinstmahlung mit Kugelmöhlen). In den letzten Jahren haben die Aufgaben zur Aufbereitung mineralischer Rohstoffe wieder zugenommen. Neben

Zerkleinerungs- und Klassierungs- rückten besonders Dichtesortier- und Flotationsprozesse stärker in den Fokus. Einige Schwerpunkte des aktuellen Tätigkeitsspektrums der Firma sind in *Tabelle 2* angeführt.

Die UVR-FIA GmbH ist bestrebt, die vorhandene, fast alle Prozesse der mechanischen Verfahrenstechnik umfassende Ausrüstung als Grundlage für ihre Tätigkeit zu erhalten und anzuwenden. Das Unternehmen ist an einer Ausweitung der Arbeitsgebiete und an der Einbeziehung von Prozessen aus anderen Bereichen der Verfahrenstechnik interessiert. Die beiden Geschäftsführer sind seit 2006 Dr. Andre Kamptner und Dr. Henning Morgenroth.

Durch die Nachfolgeeinrichtungen des FIA werden auch Fachtagungen organisiert: 1993 und 1994 sowie ab 1998 in jährlichem Abstand mit steigender Teilnehmeranzahl (mehr als 150), woran sich ab 2012 das Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie Freiberg als Mitveranstalter beteiligt. Mit der Tagung „Aufbereitung und Recycling“, die 2015 im Zeichen des 250-Jahre-Jubiläums der Bergakademie steht, wurde die enge Kooperation der drei Partner TU Bergakademie Freiberg, UVR-FIA GmbH und Helmholtz-Institut Freiberg (HIF) für Ressourcentechnologie, die sich zum Verbund Freiberg Ressource Technologies (FRT) zusammengeschlossen haben, demonstriert und intensiviert.

Perspektiven der Kooperation mit dem Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie

Nachdem in Deutschland über nahezu zwei Jahrzehnte die Problematik der Rohstoffversorgung vernachlässigt worden war – sichtbar auch an der Schließung des FIA Freiberg und an der Nichtbesetzung des Lehrstuhls für Aufbereitungstechnik und Recycling an der TU Bergakademie [Schubert 2009] – wurde 2011 als späte Konsequenz das HIF für Ressourcentechnologie Freiberg gegründet. Diese nationale Forschungsinstitution soll wissenschaftliche Grundlagen schaffen und neue Technologien zur effizienten Erkundung, Gewinnung und Nutzung mineralischer und metallhaltiger Rohstoffe entwickeln sowie auch Probleme des Recyclings bearbeiten. Die Ausbildung von Fachkräften im Rohstoffsektor sowie die Förderung der Aus- und Weiterbildung ausländischer Fach- und Führungskräfte im Ressourcentsektor sind ebenfalls Schwerpunkte. Mit der Etablierung des HIF für Ressourcentechnologie im Gebäude des ehemaligen

Tabelle 2: Tätigkeitsspektrum der UVR-FIA GmbH

Zerkleinerung, Mahlung, Klassierung
Versuche zur Fein- und Feinstmahlung:
<ul style="list-style-type: none"> • Glas, Dolomit, Kaolin, Phosphat-, Eisen- und Manganerz • Spezialzemente, Hüttensand, Flugasche, Schlacke • Magnetit, Eisenoxidpigment, Zinnsulfid • Eisenpulver, Speziallegierungen, Aluminium • Weizenmehl, Kakaoschalen, Holz, Strohkoks • Pilotversuch zur Zerkleinerung von Ölschiefer (100t)
Feinstkornklassierung (Sichten):
<ul style="list-style-type: none"> • Silizium, Siliziumcarbid, Metall-Legierungen • Zementstaub, Flugasche, Pigmente • Weizenmehl, Aktivkohle
Recycling
<ul style="list-style-type: none"> • Schrottfractionen (Cu-Al-Kabel, Mobiltelefone) • Industriediamanten • Konverterschlacke und -schlamm, Edelstahlschlacke • Zinkhaltige Schrotte • Aufbereitungsrückstände von Blei-Akkumulatoren • Kobalt-Samarium-haltige Produktionsrückstände • Messingkrätze, Aluminiumkrätze • Lithium-Akkumulatoren • Metallhaltiger Pyrolyserückstand • Altbeton • Gipskarton (Produktionsabfall)
Bergbauliche Rohstoffe
<ul style="list-style-type: none"> • Fluss- und Schwerspat (Deutschland) • Seltenerden-Erz (Kanada, Deutschland) • Lithiumglimmer (Deutschland) • Gold (Kasachstan) • Kieselgur (Russland) • Zinn-Wolfram-Erz (Deutschland/ Erzgebirge) • Phosphaterz (Nordafrika) • Ölschiefer (Litauen, Marokko) • Lithiumerz (Südamerika) • Quarzsand (Deutschland/ Sachsen)
Aktuelle Forschungsprojekte
<ul style="list-style-type: none"> • Hybride Lithiumgewinnung (BMBF) • Nano-Partikeln zur Grundwassersanierung: Napasan (BMBF) und NanoRem (EU-Projekt) • Aufbereitung von schwermetallhaltigen Abwässern und Schlämmen mittels selektiv wirkender Polyelektrolyte (BMW-ZIM-KOOP) • Gewinnung strategischer Elemente aus Bergbaualtablagerungen ausgewählter chilenischer Standorte (BMBF/Client) • Entwicklungsarbeiten für die schnelle Vor-Ort-Analyse von Hochtechnologiemetall-Lagerstätten (BMW/KMU Innovativ) • Biohydrometallurgie von strategischen und seltenen Metallen – EcoMetals (BMBF)
Laborgerätebau
Bond-Mühle, Siebkugelmühle, Fließrinne u. a.

Forschungsinstituts für Aufbereitung (FIA) verbindet sich auch die Intention, dass die UVR-FIA GmbH und die Gesellschaft für Verfahrenstechnik UVR-FIA e. V. Freiberg, die dort auch weiterhin tätig sind, zu einer erfolgreichen Arbeit des HIF beitragen können. Damit findet die auf Initiative von Kirchberg Anfang der 1950er-Jahre in Freiberg begründete außeruniversitäre Forschung zur Rohstoffnutzung eine würdige Fortsetzung am traditionellen Standort.

Literatur:

- Agricola 1556: Georgius Agricola (1494–1555) De re metallica libri XII.
- von Beust 1866: Beust von, Scherrer u.a.: Die Geschichte und die jetzigen Verhältnisse der Bergakademie. Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der königlich sächsischen Bergakademie zu Freiberg am 30. Juli 1866, Dresden.
- von Beust 1867: Beust von, Braunsdorf, Breithaupt u.a.: Die Fortschritte der berg- und hüttenmännischen Wissenschaften in den letzten hundert Jahren - als zweiter Teil der „Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der königlich sächsischen Bergakademie zu Freiberg“, Freiberg 1867.

- Dokumentation FIA-Forschungsberichte bis 1991: Archiv UVR-FIA GmbH.
- Gätzschmann 1864, 1872: Gätzschmann, Moritz Ferdinand: Die Aufbereitung, Zwei Bände. Leipzig: Verlag Arthur Felix 1864 und 1872.
- Kirchberg 1953: Kirchberg, Helmut: Aufbereitung bergbaulicher Rohstoffe. Jena 1953.
- Petersen 1936: Petersen, W.: Schwimmaufbereitung. Verlag von Theodor Steinkopf, Dresden 1936, Reihe Wissenschaftliche Forschungsberichte - naturwissenschaftliche Reihe, Band XXXVI, herausgegeben von Raphael Ed. Liesegang.
- Rösler 1700: Balthasar Rösler (1605-1673) Hellpolierter Berg-Bau-Spiegel.
- Schubert 2009: Schubert, Heinrich: Zur Ent-

- wicklung der Aufbereitungstechnik und Mechanischen Verfahrenstechnik an der TU Bergakademie Freiberg. Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg 16. Jahrgang 2009, S. 71-79.
- Volke, Uhlig 2000: Volke, Klaus; Uhlig, Dieter: Das ehemalige Forschungsinstitut für Aufbereitung: 1954 gegründet, 1991 geschlossen. Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins 86. Heft 2000, S. 134-166.
- Wolf 1996: Wolf, Hans-Georg: Organisationschicksale im deutschen Vereinigungsprozess; die Entwicklungswege der Institute der Akademie der Wissenschaften der DDR, Campus Verlag 1996 (Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung, Köln, Bd. 27).

Erinnerung an Dipl.-Ing. László Molnár (1924–2012)

János Tóth¹, Josef Makovitzky



Das Zentrale Bergbaumuseum im Esterházy-Palais in der barocken Innenstadt von Sopron

László Molnár wurde 1924 in Zalaegerszeg geboren. Er absolvierte die Grundschule und das evangelische Lyceum in Sopron (Ödenburg). Nach der Matura studierte er an der Akademie für Offiziersanwärter „Ludovika“ in Budapest. 1944 erhielt Molnár sein Abschlussdiplom und wurde zugleich zum Leutnant befördert.

Nach Verwundung und kurzer Gefangenschaft während des zweiten Weltkriegs nahm er an der Technischen Universität in Sopron das Studium des Bergbaus auf, das er 1951 mit dem Diplom beendete. Vorerst arbeitete er in Brennberg, danach in Tatabánya und Várpalota. Insgesamt verbrachte er 24 Jahre im Kohle-Bergbau.

Nach der Revolution in Ungarn im Jahr 1956 wurde er zum einfachen Soldaten degradiert und aus der Armee entlassen.

Ab Ende November 1957 arbeitete er neuerlich im Bergbau: in Salgótarján. Danach wurde er hauptamtlicher wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Bergbau in Ungarn.

An der Technischen Universität Miskolc absolvierte er ein Zweitstudium zum Wirtschaftsingenieur.

In der Zeit von 1975 bis 1999 war László Molnár Direktor des Zentralen Bergbaumuseums in Sopron (Bergbaumuseen in Sopron und in Brennberg) in Ungarn. Molnár leitete die Rekonstruktionsarbeiten am Palais Esterházy. Genau dort wurde im Jahr 1980 das Zentrale Bergbaumuseum Ungarns feierlich neueröffnet.

Molnár publizierte enorm viel: In seinen Aufzeichnungen findet man 58 nationale und internationale Buchbeiträge aufgezählt! Der Name László Molnár erscheint als Autor von insgesamt 179 Arbeiten. Zugleich war er Verleger der

ins Ungarische übersetzten Arbeit „De re metallica libri XII“ von Georgius Agricola. In den Fußnoten finden sich zahlreiche wertvolle Bemerkungen und Erklärungen aus seiner Feder.

Für seine Verdienste wurde er 1982 mit der Delius-Medaille, 1986 mit der Mikoviny-Medaille, 1994 mit der Antal- Péch-Medaille, und sogar zweimal - nämlich 1996 und 2006 - mit der Wilhelm-Sóltz-Medaille geehrt.

Da er in Sopron eine allseits geachtete und beliebte Persönlichkeit war, widmete ihm im Jahr 2004 die Stadt Sopron die Medaille „Pro Urbe Sopron“.

Seine Privatsammlung von Bergbaureliquien ist weithin über die ungarischen Grenzen hinaus bekannt und berühmt. Er betonte: „*Ich pflegte jahrzehntelang bergbauhistorische Kontakte zu verschiedenen wissenschaftlichen Instituten in ganz Europa, u. a. in Deutschland, Österreich, den Niederlanden und der Tschechoslowakei*“.

Und er sagte weiter: „*Für mich persönlich war es eine große Freude, wissenschaftliche Tagungen und freundschaftliche Treffen ausländischer Bergleute in Ungarn zu organisieren*“. Er erzählte uns (Tóth und Makovitzky) 2007 in Sopron: „*Beim Ausbau der Kontakte war die ehemalige Gewerkschaft Eisenhütte ‚Westfalia‘ sehr wichtig, da sie lange Jahre hindurch Wandkalender mit bergbauhistorischem Inhalt - und das in vier Sprachen - herausgab. Da ich jahrelang an der Redaktion dieser Kalender beteiligt war, konnte ich den Herausgebern Unikate, Gegenstände sowie Dokumente aus dem Mittelalter und der früheren Neuzeit des Karpatenbeckens, vorwiegend aus Schemnitz (Selmecebánya, Banská Štiavnica) und aus den oberungarischen Bergstädten, zur Verfügung stellen*.“

László Molnár verstarb am 11. Oktober 2012 in Sopron. Die feierliche Beisetzung erfolgte am 20. Oktober in Sopron.

¹ János Tóth, Direktor des Museums der Ungarischen Erdölindustrie in Zalaegerszeg

100. Geburtstag von Gustav Zouhar

Margarete Rühlicke¹, Wolfgang Lehnert²

Prof. Dr.-Ing. Gustav Zouhar, Maschinenbauer, Hochschullehrer an der Bergakademie Freiberg und an der Technischen Hochschule Otto von Guericke, Magdeburg, Mitgestalter der Hüttenmaschinentechnik der DDR, wäre am 10. Juli 2014 100 Jahre alt geworden.

Gustav Zouhar, 1914 im mährischen Brünn/Österreich geboren, studierte von 1931 bis 1936 Maschinenbau an der Technischen Hochschule Wien. Nach Abschluss des Studiums nahm er eine Tätigkeit im industriell fortgeschrittenen Sachsen auf. In der Spindelfabrik Hartha erwarb er sich vielfältige Berufspraxis und folgte 1949 einem Angebot der Bergakademie Freiberg als Oberassistent an das Institut für Metallformung.

Die Situation nach Kriegsende 1945 erforderte einen völligen Neuaufbau des Instituts, wodurch sich für Gustav Zouhar ein weites Betätigungsfeld für Lehre und Forschung eröffnete. Sein Grundanliegen war eine anspruchsvolle Ausbildung der Studierenden für die nach Kriegsende wieder durch Wachstum gekennzeichnete Metallurgie und Hüttenmaschinentechnik der DDR. Durch Neugestaltung der Studienpläne und Ergänzung der Vorlesungen mit Praktika und Exkursionen sowie durch Einführung des Fernstudiums 1952 wurde diesem Erfordernis entsprochen. Damit entstanden zugleich die Grundlagen für die Errichtung der Fachrichtung Metallformung 1953 und für die weitere wissenschaftliche Arbeit des Instituts, das ab 1960 über einen neuen Gebäudekomplex für Lehre und Forschung, einschließlich einer Versuchshalle zur Kalt- und Warmformgebung, verfügte. Gustav Zouhar hatte großen persönlichen Anteil an der Entwicklung des Instituts und der Fachrichtung. Unter seiner Anleitung erfolgte eine umfangreiche Modernisierung der Versuchswalzwerke, eine wesentliche Voraussetzung für die studentische Ausbildung. In Ermangelung geeigneter deutschsprachiger Fachliteratur nutzte

Gustav Zouhar seine außergewöhnliche Sprachbegabung für die Übersetzung und Mitherausgabe von zwölf russischen, polnischen und tschechischen Fachbüchern der Metallurgie und der Hüttenmaschinentechnik. Hervorzuheben ist dabei die Übersetzung des umfangreichen Standardwerks „Grundlagen des Walzens“ von Z. Wusatowski (Polen).

1959 promovierte Gustav Zouhar an der Fakultät für Bergbau- und Hüttenwesen der Bergakademie Freiberg mit einer Arbeit zur Thematik Umformkräfte beim Walzen in Streckkaliberreihen, für die er in hohem Maße internationale Anerkennung erhielt. Die hierzu durchgeführten Walzversuche und theoretischen Berechnungen wurden zur Grundlage der laufenden Modernisierung der Anlagentechnik sowie der Prozessoptimierung für das Walzen von Drähten und anderen Langprodukten. Ein Beispiel hierfür war die Weiterentwicklung der Drahtwalzstraßen im Schwermaschinenbau Magdeburg. Auch in der aktuellen Literatur werden die Ergebnisse seiner Dissertation nach wie vor als richtungweisend gewürdigt. 1961 erhielt Gustav Zouhar die Berufung zum Professor für die Fachgebiete Spangebende Formung, Mechanische Technologie und Grundlagen der bildsamen Formung. 1969 erfolgte im Rahmen der Hochschulreform die Umbenennung seines Lehrstuhls in Professur für Hüttenmaschinentechnik.

Parallel zu seiner Lehrtätigkeit an der Bergakademie Freiberg war Prof. Zouhar von 1956 bis 1968 auch Lehrbeauftragter an der Technischen Hochschule Otto von Guericke, Magdeburg, wo er Vorlesungen über Grundlagen der Umformtechnik, Wärmeofenbau sowie Konstruktion von Walzwerken hielt. Diese zusätzliche Lehrtätigkeit ist als wesentlicher persönlicher Beitrag Gustav Zouhars zur Ausbildung von Absolventen für die Schwerindustrie der DDR zu werten. Sein Wirken beschränkte sich jedoch nicht auf die akademische Lehre und Forschung. Er war darüber hinaus gefragtes Mitglied von Expertengremien zur Erarbeitung von Industriezweigstrategien sowie zur Lösung technischer Probleme. Als Leiter des Zentralen Arbeitskreises Walzwerksausrüstungen hatte Gustav Zouhar maßgeblichen persönlichen Anteil am hohen Entwicklungsstand des Walzwerkbaus in der DDR. Auch als Mitglied des Wissenschaftlich-technischen Rates für Ausrüstungen der Schwerindustrie und des Getriebebaus sowie als Gutachter für das Deutsche Amt für Material- und Warenprüfung war sein fachliches Urteil



Foto: Sammlung Rühlicke

hoch geschätzt. In Anerkennung seiner hervorragenden Leistungen wurde Gustav Zouhar 1965 als „Verdienter Techniker des Volkes“ ausgezeichnet.

Gustav Zouhar wirkte von 1965 bis 1968 als Prodekan und danach als Dekan der Fakultät für Hüttenwesen. Für die mit der III. Hochschulreform entstandene Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik übernahm Gustav Zouhar von 1968 bis 1970 die Funktion des Sektionsdirektors; 1972 wurde er zum Prodekan der 1969 neu gegründeten Fakultät für Technische Wissenschaften berufen. Für 40 Dissertationen war Gustav Zouhar Betreuer oder Gutachter.

Auch nach seiner aus gesundheitlichen Gründen vorzeitigen Emeritierung 1976 blieb Gustav Zouhar der Hochschule sehr verbunden. So pflegte er während und nach seiner aktiven Zeit die Kontakte zu Fachkollegen aus Hochschulen osteuropäischer Länder auf sehr persönliche Art und hielt diese über viele Jahre aufrecht. Die Privatwohnung der Familie Zouhar diente über einen langen Zeitraum, insbesondere während der Berg- und Hüttenmännischen Tage, als mehrsprachiger und geselliger Treffpunkt in Wiener Kaffeehausatmosphäre.

Prof. Dr. Zouhar hat sich durch Fachwissen und seine engagierte Tätigkeit als Hochschullehrer, Forscher und Industrieberater hohes Ansehen im In- und Ausland erworben. Er verstarb am 1. November 1980 im 67. Lebensjahr. Seine Lebensphilosophie hat er erfolgreich an seine drei Kinder vermittelt, die an der Bergakademie Freiberg in unterschiedlichen Fachrichtungen diplomierten und promovierten. Sein Sohn Gustav Zouhar jun. war Professor für Werkstofftechnik an der Technischen Universität Dresden.

1 Dr.-Ing. Margarete Rühlicke, geb. Zouhar, langjährige Projektverantwortliche für Werkstoffentwicklung im Forschungsinstitut für Nichteisenmetalle GmbH Freiberg (FNE), i. R.

2 Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Lehnert, Direktor des Instituts für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg, i. R.

150. Geburtstag Ernst Wilhelm Just

Herbert E. Kaden

Vor 150 Jahren, am 8. Oktober 1865, wurde in Dresden der spätere Professor für Bergrecht und Allgemeine Rechtskunde an der Bergakademie, Ernst Wilhelm Just, geboren. Die Bergakademie hat ihm etwas für sie ganz Bedeutendes zu verdanken, nämlich die Übertragung des alleinigen Promotionsrechts 1920. Dafür ehrte man den zu diesem Zeitpunkt als Ministerialdirektor im sächsischen Finanzministerium tätigen Just im März 1921 mit der Würde eines „Doktor-Ingenieur Ehrenhalber“ – Grund genug, um rückblickend an den Werdegang und die Leistungen Justs zu erinnern ...

Ernst Wilhelm Just kam in Dresden als erstes Kind des Aktuars und späteren Landgerichtspräsidenten Heinrich Wilhelm Just (1836–1896) und dessen Ehefrau Helene Marie, geb. Weinlig (1840–1923), zur Welt. Nachdem Justs Vater 1870 nach Zwickau versetzt worden war, besuchte sein ältester Sohn Ernst Wilhelm zunächst die dortige Bürgerschule und daran anschließend von Ostern 1876 (Sexta) bis Herbst 1879 (Untertertia) das Zwickauer Humanistische Gymnasium. Infolge der Rückversetzung seines Vaters zum 1. Oktober 1879 nach Dresden wechselte Just zunächst auf das dortige „Gymnasium zum Heiligen Kreuz“, an dem er ab 6. Oktober 1879 den Unterricht bis zur Beendigung der 10. Jahrgangsstufe (Obertertia) am 31. März 1881 besuchte. Da der Vater zum 1. April 1881 zum Präsidenten des Landgerichts Freiberg ernannt worden war, belegte Ernst Wilhelm nun das „Gymnasium Albertinum“ der Bergstadt, an dem er im Frühjahr 1885 zum Abschluss der Oberprima die Reifeprüfung ablegte. Den Militärdienst als Einjährig-Freiwilliger absolvierte Just in einem sächsischen Infanterieregiment.

Die für seinen späteren beruflichen Werdegang vermutlich wichtigsten Jahre führten ihn von Mai 1886 bis Juli 1889 zum Studium der Rechtswissenschaften an die Universität Leipzig. Hier belegte Just neben den obligatorischen juristischen Fächern bei den Professoren Karl Binding, Emil Friedberg, Otto Müller, Adolf Schmidt, Otto Stobbe, Bernhard Windscheid oder Adolf Wach – sämtliche in ihrer Lehrzeit auch Dekane der dortigen juristischen Fakultät – u. a. noch Theoretische Nationalökonomik bei Wilhelm



Roscher, Deutsche Altertümer bei Wilhelm Arndt, Kirchengeschichte bei Theodor Brieger sowie Geschichte Europas bei Wilhelm Maurenbrecher.

Sein Erstes Juristisches Staatsexamen bestand Just mit dem Prädikat „Sehr gut“. Der sich daran anschließende Vorbereitungsdienst für die Befähigung zum Richteramt führte ihn an mehrere sächsische Gerichte, die Staatsanwaltschaft beim Landgericht Chemnitz sowie an eine Chemnitzer Rechtsanwaltskanzlei. Die Beurteilungen, die dem jungen Rechtsreferendar in dieser Zeit zuteil wurden, waren durchweg positiv. So bescheinigte der Chemnitzer Rechtsanwalt von Stern im Jahr 1892, dass Just „gut veranlagt“ und ihm ein „sehr geschätzter Mitarbeiter“ gewesen sei, der „mit Fleiß, Umsicht und klarem Urtheil gearbeitet“ habe. Nach Auffassung des Staatsanwalts beim Landgericht Chemnitz „zeigte [Just] gutes *Judicium* [und] *zeichnete sich auch im mündlichen Vortrage durch Gewandtheit und Klarheit aus.*“ Der Präsident des Oberlandesgerichts Dresden wiederum betonte die bei Just vorhandene „*rasche Fassung und klare Anschauung*“, um schließlich dessen „*höchst anerkennungswerthe Fertigkeit im schriftlichen Gedankenausdruck*“ hervorzuheben. Die am 2. Dezember 1893 durchgeführte mündliche Prüfung [dieser waren bereits mehrere durchweg ausgezeichnete schriftliche Prüfungsleistungen Justs vorausgegangen] zum 2. Staatsexamen, die Just während seines Referendariats beim Oberlandesgericht in Dresden absolvierte, bestand er mit der Note „*Ganz vortrefflich*“.

Nach Abschluss dieser juristischen Bewährungszeit begann die berufliche Laufbahn des zwischenzeitlich zum

Assessor ernannten Just im Januar 1894 mit der Tätigkeit eines Hilfsrichters beim Amtsgericht Limbach. Ab Mai des Folgejahres war Just dem Landgericht Freiberg beigeordnet; er kehrte somit in die Stadt zurück, in der er bereits einige seiner Jugendjahre verbracht hatte. Hier erfolgten zwei für ihn sicherlich wichtige Beförderungen: zum einen die Zuerkennung der Staatsdienereigenschaft (eine wesentliche Voraussetzung für ein den Lebensunterhalt sicherndes regelmäßiges Einkommen), zum anderen seine zum 1. Juli 1897 vollzogene Ernennung zum Landrichter.

Bereits ein Jahr später kam es zu jener Entscheidung, die Justs zukünftigen Entwicklungsweg maßgebend prägen sollte. Infolge der Berufung des bisherigen Bergamtsdirektors Dr. Georg Heinrich Wahle in das Finanzministerium sowie des Bergamtsrats und Professors Dr. Carl Julius Kretzschmar zum Nachfolger Wahles mussten die Stellen sowohl eines juristischen Rates beim Bergamt Freiberg als auch die des Professors für Bergrecht und Allgemeine Rechtskunde an der Bergakademie Freiberg neu besetzt werden. Die Wahl fiel auf den Landrichter Just, der für diese Aufgabe geradezu prädestiniert zu sein schien.

Nach Justs Entlassung aus dem Justizdienst im Sommer 1898 finden wir den nun mit dem Titel eines ordentlichen Professors versehenen Bergamtsrat ab 1. August auf dem Rechtslehrstuhl der Bergakademie. Seine auch hier erfolgreiche Tätigkeit währte jedoch nicht lange. Bereits am 1. April 1900 musste Just ins Sächsische Finanzministerium nach Dresden wechseln, wo er (zunächst) als Hilfsarbeiter mit Steuersachen und allgemeinen Finanzangelegenheiten betraut wurde. Im Januar 1904 erfolgte schließlich seine Ernennung zum Vortragenden Rat.

Just verfasste verschiedene juristische Abhandlungen, so u. a. eine Denkschrift Sachsens und Badens gegen die Einführung von Schifffahrtsabgaben. Zudem publizierte er einen Kommentar zum sächsischen Ergänzungssteuergesetz; auch der Entwurf zu einem sächsischen Kohlenregalgesetz trägt die Handschrift Justs.

Als Ministerialdirektor der 2. Abteilung des Finanzministeriums, als der er seit Juli 1917 fungierte, oblag ihm die teilweise Fachaufsicht über die Bergakademie. In seine erfolgreiche Dienstzeit fallen sowohl die Errichtung des Braunkohlenforschungsinstituts als auch die

der Braunkohlenstiftung in Freiberg. Zu den zweifelsohne besonders herauszuhebenden Verdiensten für die Bergakademie gehört die im Jahr 1920 erfolgte endgültige Übertragung des Promotionsrechts an diese. Da sich Just dafür besonders stark engagiert hatte, zeichnete ihn das Rektorat der Bergakademie im März 1921 mit der Würde eines „Doktor-Ingenieur Ehrenhalber“ aus.

Die Sächsische Forstliche Hochschule Tharandt ihrerseits ernannte den

Geheimen Rat und Ministerialdirektor Dr. Just am 1. November 1929 zu ihrem Ehrensenator. Mehrere Jahre seiner Berufskarriere fungierte Just zudem als Vorsitzender des Verwaltungs- und Aufsichtsrats der AG Sächsische Werke (ASW).

Just starb am 27. Dezember 1945 in Dresden, wo man ihn in der Familiengruft auf dem Elias- und Trinitatisfriedhof bestattete. Er war verheiratet mit Anna Bertha Schmitz, mit der er vier gemeinsame Kinder hatte.

Quellen und Literatur

- Schiffner, C.: Aus dem Leben alter Freiburger Bergstudenten, Bd. 3, Freiberg 1940, S. 190-193; Ergänzungsband (4), S. 405.
- Schönherr, Hansjoachim: Die Entwicklung des Lehrstuhls für Rechtswissenschaften an der Bergakademie Freiberg, in: Freiburger Forschungshefte, D22 (1957), S. 29-30.
- UAF, 367/1, Bd. 2, o. Bl.
- UAF 368b., Bl. 70 (Bild).
- Blecher/Wiemers (Hrsg.): Die Matrikel der Universität Leipzig: Teilband V - 1884 bis 1892, S. 45 (imm. 06.05.1885).
- Zeugnis 01.05.1889 = UAL, Rep. 011607C50, Bd. 1, 0364+0365, lfd. Nr. 672.

Prof. Dr. phil. Adolph Eduard Pröbß

Ein bedeutender Sprachlehrer an der Bergakademie Freiberg und am Gymnasium Albertinum Freibergensis

Ernst Menzel

Anlässlich der Jubiläen der Bergakademie und des Gymnasiums Albertinum zu Freiberg soll an A. E. Pröbß erinnert werden, der 33 Jahre lang als Französischlehrer sowohl an unserer Alma mater als auch am Gymnasium der Stadt als Lehrer für Religion und Französisch wirkte.

Lebensdaten:

- 1803 als Sohn eines Kaufmanns in Dresden geboren
- 1819 Eintritt in die Dresdner Kreuzschule
- 1824 Aufnahme des Studiums der Theologie und Philosophie an der Universität Leipzig; bereits 1826 zum Dr. phil. promoviert
- anschließend Hauslehrer bei Familie Härtel (Mitinhaberin des berühmten Leipziger Musikverlags Breitkopf & Härtel)
- ab 1835 Lehrer für Religion, Französisch und Hebräisch am Gymnasium Albertinum
- ab 1841 zugleich auch Oberlehrer für Französisch an der Bergakademie (bis 1874)
- 1876 Übersiedlung nach Grimma
- 1882 verstorben.

In dem 1841 für den Unterricht an der Bergakademie vorgelegten Französisch-Lehrplan Pröbß' fanden sich leider keine Ansätze zum Umgangs- oder zum technischen Französisch, wie sie bei seinem Vorgänger, Dr. phil. Carl Gottlieb Munde, durchaus schon zu erkennen waren. Seine Lehrstoffe enthielten kein einziges Wort zu fachbezogenen Themen. Es dominierte sein Sinn für historisch orientierte Werke, die er seinem Unterricht zugrunde legte. So las er mit den Studenten Alexandre Dumas' „Histoire de Napoléon“, von Francois Mignet die „Histoire de la Révolution française de Paris jusqu'en 1814“ oder Komödien aus den „Oeuvres choisies“ von Alain René Le Sage. Im Studienjahr 1854/55 behandelte er allein aus dem Werk „Voyage en Orient“ von Alphonse de Lamartine nicht weniger als 130 Seiten! In einer Mitteilung an das Hohe Sächsische Oberbergamt von 1871 berichtete Pröbß, dass er aus „La Vie de Napoléon“ von A. Dumas 64 Seiten behandelt habe. „Dabei brachte ich meinen Zöglingen bei, fortwährend auf eine gute Aussprache, grammatische Correctheit, Aneignung des Sprachgebrauchs und ein klares Verständnis des Gelesenen mit allem Fleiß zu achten.“

Die Zahl der Teilnehmer an diesem auf freiwilliger Basis beruhenden Unterricht lag begreiflicherweise oft nur im einstelligen Bereich, was Pröbß schließlich 1874 veranlasste, um seine Entlassung in den Ruhestand zu bitten. Hauptursache für diesen Schritt war sicherlich vor allem, dass dem Sprachunterricht

neue Inhalte gegeben werden mussten und dass das Englische inzwischen zur führenden Sprache in den Naturwissenschaften und in der Technik aufgerückt war.

Pröbß verfasste nebenberuflich zahlreiche Schriften, darunter 96 Lieder(-texte), die vom Freiburger Musikdirektor Dr. August Anacker vertont wurden. In Französisch schrieb er die Abhandlung „*Considérations sur les causes de la grandeur des Romains et de leur décadence par de Montesquieu*“. Ihm gelangen zudem vortreffliche Gedichte, nicht zu vergessen die von ihm gehaltenen Reden zum Ableben bekannter Freiburger Persönlichkeiten wie auch die sog. Säkularreden über berühmte Personen aus der deutschen Geschichte, u. a. zu Luther, Schiller und Melanchthon. Aus seiner Schiller geltenden Eloge zum 100. Geburtstag des Dichters im Jahr 1859 hier eine bemerkenswerte Passage über dessen Verdienste um die deutsche Sprache: „*Schiller redet auf eine Weise zu uns, an welcher wir - wie an keines Anderen Worten - die ganze Herrlichkeit unserer Sprache merken; ja, er hat ihr einen Glanz und einen Zauber verliehen, dass sie, seitdem er sich ihrer bediente, nicht nur zu den reichsten und kräftigsten, sondern auch zu den lieblichsten und schönsten gezählt werden darf.*“

In seiner Rede am Grab von August F. Anacker, des reichbegabten Künstlers, Lehrers, Kantors und Musikdirektors von Freiberg, würdigt Pröbß diesen auch als Komponisten der Oper „Der Bergmannsgruß“ (gelegentlich als Hohelied des Bergbaus bezeichnet) als einen Mann, auf den „*Freiberg als die Stätte seiner Geburt wie seines Schaffens und Wirkens stolz zu sein alle Ursache hat.*“ In seiner für Dr. phil. Moritz W. Döring gehaltenen Grabrede hob Pröbß hervor, dass Döring „*ein geistvoller und kenntnisreicher Lehrer, mit großem Scharfsinn in die Tiefen der Sprachwissenschaft eingedrungen war.*“

Wie zu erkennen: Pröbß wollte seinen Zuhörern und Lesern immer wieder die „*Gewalt, die Schönheit und die Lieblichkeit der Rede*“ fühlbar machen. Seine Zeitgenossen erlebten ihn als einen Genius pathetisch vorgetragener Schachtelsätze, die oft über das gewohnte Maß hinausgingen, aber immer wieder Begeisterung weckten. Abschließend ein Satz aus einer der Reden von Pröbß: „*Lenken wir unsere Kraft immer nur auf das ewig Wahre, Schöne und Gute und scheuen wir um dieser Güter willen keinen Kampf und keine Mühe!*“¹

¹ Ein Quellenverzeichnis ist bei der Redaktion der ACAMONTA hinterlegt.

Das turbulente Interim

Zwischen Abwicklung des Fachbereichs Ingenieurökonomie und Gründung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Hans Hieke, Andreas Trillhose

Die Abwicklung

Der im Einigungsvertrag stehende Satz „Die Landesregierung regelt die Überführung oder Abwicklung“¹, der sich auf die Einrichtungen von Bildung und Wissenschaft bezog, klang für uns Ostdeutsche, fürs Erste betrachtet, recht harmlos. Vermutlich die wenigsten Angehörigen des Fachbereichs Ingenieurökonomie hatten ihn unmittelbar bei seiner Veröffentlichung gelesen. Hellhörig dürften jedoch bereits manche geworden sein, als einen Tag nach der Beschlussfassung der Sächsischen Staatsregierung vom 11.12.1990 zu dieser Abwicklung und Überführung durch die Medien informiert wurde. Dabei ließ sich die Staatsregierung offensichtlich davon leiten, dass es zur Erneuerung von Ausbildung und wissenschaftlicher Forschung notwendig sei, jene Einrichtungen des Hochschulbereichs, deren Aufgaben durch den grundlegenden gesellschaftlichen Wandel im Lande nicht mehr existent waren oder sich prinzipiell geändert hatten, nicht nur zu reformieren, sondern völlig neu aufzubauen, indem sie abgewickelt und danach gegebenenfalls neu gegründet werden.

Letztlich wurde es zur Gewissheit: Am 13.12.1990 informierte auf einer eiligst einberufenen Vollversammlung die Hochschulleitung die Angehörigen des Fachbereichs darüber, dass an der Bergakademie die per 01.01.1990 in Ingenieurökonomie² umbenannte Sektion

Sozialistische Betriebswirtschaft zum Jahresende abgewickelt würde.³

Schließlich erhielten alle Beschäftigten wenige Tage vor Weihnachten in einem per Einschreiben abgesendeten Brief des Rektors, dessen Text ihm vom Ministerium als Muster vorgegeben worden war, mitgeteilt, dass ihr Arbeitsverhältnis ab 01.01.1991 ruhe und dass während dieses Ruhens einerseits die Verpflichtung zur Arbeitsleistung und andererseits die zur Vergütungszahlung grundsätzlich ausgesetzt seien. Das Schreiben enthielt den Hinweis auf den Anspruch eines monatlichen Wartegeldes und ferner die Aussage, dass das Arbeitsverhältnis ohne Notwendigkeit einer separaten Kündigung endet, wenn der Arbeitnehmer – abhängig vom Lebensalter – nicht innerhalb von sechs bzw. neun Monaten weiterbeschäftigt werden kann.

Diese Mitteilung kurz vor Weihnachten war für alle Beschäftigten sehr deprimierend. Betroffen waren zwölf Hochschullehrer, 23 wissenschaftliche Mitarbeiter und 15 Personen der Verwaltung. Der Abwicklungsbeschluss war den Rektoren in einer Dienstberatung beim Staatsminister für Wissenschaft am 11.12.1990 mitgeteilt und anschließend schriftlich zugestellt worden.⁴ Parallel zur Auflösung der Struktureinheiten war im Interesse der Fortführung der studentischen Ausbildung die Einrichtung von Studienprogrammen vorgesehen.

Im Freistaat Sachsen waren 18 Hochschulen/Einrichtungen bzw. innerhalb dieser bestimmte Struktureinheiten

betroffen⁵. Hinsichtlich der Wirtschaftswissenschaften waren das neben der Bergakademie Freiberg die Technischen Universitäten in Chemnitz und Dresden, die Verkehrshochschule Dresden, in Leipzig die Universität, die TH und die Handelshochschule sowie die Technischen Hochschulen in Zittau und in Zwickau.

Die Einrichtung von Studienprogrammen war vorgesehen an der TU Chemnitz (Betriebs- und Volkswirtschaftslehre), an der TU Dresden, der Bergakademie Freiberg, der TH Leipzig und der TH Zwickau (Wirtschaftswissenschaften), an der Handelshochschule Leipzig (Betriebswirtschaft/Wirtschaftswissenschaften), an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden (Verkehrs- und Betriebswirtschaft), an der TH Zittau (Betriebs- und Energiewirtschaft). Ausschließlich an der Universität Leipzig sollte eine Fakultät für Volks- und Betriebswirtschaft gegründet werden. Aus heutiger Sicht ist es kaum zu verstehen, dass an den anderen Universitäten keine wirtschaftswissenschaftliche Fakultät mehr vorgesehen war.

Die Studienprogramme hatten das Ziel, die bereits Studierenden weiter auszubilden und ihnen einen akademischen Abschluss zu ermöglichen. Für die Umsetzung der Programme war die Einsetzung kommissarischer Direktoren durch den Staatsminister vorgesehen. Ihm war vorzuschlagen, welche Wissenschaftler für den Aufbau des jeweiligen Studienprogramms auf Grund ihrer fachlichen Qualifikation, persönlichen Integrität sowie ihres vorbehaltlosen Eintretens für die freiheitlich demokratische Grundordnung in Betracht kämen. Darüber hinaus waren durch die Hochschule Vorschläge zu unterbreiten, welche der schon bisher Beschäftigten die Lehre übernehmen sollten, um den Lehrbetrieb aufrechtzuerhalten. Nach Genehmigung durch das Staatsministerium konnten für sie zeitlich befristete Arbeitsverträge abgeschlossen werden.

Auch Rektor und Senat der Bergakademie waren vom Beschluss zur Abwicklung des Fachbereichs Ingenieurökonomie überrascht. Dort waren bereits im Laufe des Jahres 1990, insbesondere jedoch seit dem Sommersemester, die Lehrprogramme für die laufende Ausbildung den neuen Bedingungen entsprechend, verändert worden.

Konzeptionell verfolgte die personell nicht erneuerte Leitung des Fachbereichs das Ziel, zwei neue Studiengänge, nämlich

1 Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Demokratischen Republik über die Herstellung der Einheit Deutschlands (Einigungsvertrag). In: BGBl. Teil II, 1990, S. 889ff., Kap. V, Art. 13.

2 Bei der Bezeichnung der Hochschulen und ihrer Struktureinheiten griff das Staatsministerium für Wissenschaft auf die am 09.10.1989 gültige zurück. Die Fakultät für Ingenieurökonomie der Bergakademie Freiberg war am 01.05.1956 gegründet worden. Bei der im Rahmen der 3. Hochschulreform verordneten Strukturveränderung erfolgte am 01.07.1968 die Umbenennung in „Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft“. Zum 01.01.1990 genehmigte der Hochschulminister der Modrow-Regierung. Prof. Dr. Emmons (vormals Rektor der Bergakademie), ihre Rückbenennung in „Ingenieurökonomie“. Ab 01.06.1990 wurden die Sektionen als Fachbereiche bezeichnet.

3 Vom Abwicklungsbeschluss betroffen waren auch das Institut für Unternehmensführung (vormals Sozialistische Wirtschaftsführung), der Fachbereich für Sozialwissenschaften (vormals Sektion für Marxismus-Leninismus), das Industrie-Institut und die ML-Abteilung der Ingenieurschule. Diese Einrichtungen waren aber bereits auf Veranlassung des Senats der Bergakademie Freiberg vor dem Beschluss der Staatsregierung vollständig und ersatzlos aufgelöst worden.

4 Vgl. Brief des Sächsischen Staatsministers für Wissenschaft Prof. Dr. Meyer. Akte 20/557 Wirtschaftswissenschaft 06/1990–12/1992, Universitätsarchiv Freiberg (UAF).

5 Vgl. ebenda.

Betriebswirtschaftslehre mit dem Abschluss als Diplomkauffrau/-mann und Wirtschaftsingenieurwesen als Aufbaustudium, einzuführen. Man war offensichtlich zu der Erkenntnis gelangt, dass die zu DDR-Zeiten entwickelte und in unterschiedlicher Ausprägung vertretene Ingenieurökonomie im wiedervereinigten Deutschland kaum auf studentische Nachfrage und Akzeptanz stoßen und vom bundesdeutschen Fakultätentag für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften nicht anerkannt werden würde.

So wurden zu Beginn des Wintersemesters 1990/91 erstmals 110 Studenten im Studiengang BWL immatrikuliert. Es lagen zwar zu diesem Zeitpunkt noch keine bestätigten Studiendokumente vor, gleichwohl war es, auch im Nachhinein betrachtet, im Interesse der Bergakademie richtig, diesen Schritt zu gehen. Wäre er unterlassen worden, hätte es sicherlich auch die spätere Gründungskommission noch deutlich schwerer gehabt, die Installation eines eigenständigen betriebswirtschaftlichen Studiengangs genehmigt zu bekommen. Im Übrigen war es 1990, in einer Zeit des allgemeinen Umbruchs, nichts Ungewöhnliches, nicht immer auf Genehmigungen „von oben“ zu warten, sondern auch eigenverantwortlich zu handeln und in diesem Fall die Kontinuität der Immatrikulation von Ökonomen in spe aufrechtzuerhalten.

Rektor und Senat hielten einen eigenen wirtschaftswissenschaftlichen Studiengang, getragen von einem völlig erneuerten Fachbereich Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, zur universitären Profilierung der Bergakademie für unverzichtbar. Diese Auffassung und die Einschätzung, dass es ratsam sei, die anstehende Neugestaltung nicht allein dem Fachbereich zu überlassen, fanden ihren Niederschlag in der Einsetzung einer gleichnamigen, zeitweiligen Senatskommission,⁶ die Mitte Juni 1990 vom neu gewählten Senat gebildet wurde und sich in der Folgezeit intensiv mit der Problematik beschäftigte. Sie war beauftragt, dem Senat Empfehlungen zur Entwicklung der Freiburger Wirtschafts- und Rechtswissenschaften zu unterbreiten.

Ihnen lagen neben der Entwicklungskonzeption des Fachbereichs Ingenieurökonomie auch Stellungnahmen des WISO-Fakultätentages sowie der Bericht der bayrisch-sächsisch-thüringischen Studienkommission Wirtschaftswissenschaften zu Grunde. Eine entsprechende Vorlage⁷ sollte auf der 11. Sitzung des Senats am 18.12.1990 beraten werden. Doch es kam anders. Die Ereignisse überschlugen sich. Auf der Senatssitzung musste über die Konsequenzen aus dem in der Geschichte der Bergakademie wohl einmaligen Vorgang der Abwicklung beraten und vor allem beschlossen werden, wie die zu bildende Studienprogrammkommission personell zu besetzen und der Lehrbetrieb im Wintersemester abzusichern sei.

Das Studienprogramm Wirtschaftswissenschaften

In sondierenden Gesprächen zwischen einzelnen wissenschaftlichen Mitarbeitern des Fachbereichs und einigen Senatsmitgliedern war sowohl über die Zusammensetzung der Studienprogrammkommission als auch über die Fortführung des Lehrbetriebs diskutiert worden. So konnten auf der 11. Senatssitzung, deren Tagesordnung um den Punkt „*Auflösung von Teileinrichtungen der Hochschule*“ eiligst ergänzt worden war, entsprechende Beschlüsse zur Zusammensetzung⁸ der Studienprogrammkommission und zu den zur Absicherung der Lehre erforderlichen Wissenschaftlern,⁹ mit denen befristete Arbeitsverträge abzuschließen waren, gefasst werden, um sie dem Staatsminister zu unterbreiten.

Als Mitglieder der Studienprogrammkommission wurden benannt: Doz. Dr. Hieke, Doz. Dr. Mehnert, Dr. Trillhose, Dr. Hebert, Dr. Kahlert. Ersterer wurde Anfang Januar 1991 vom Staatsminister zum kommissarischen Direktor des Studienprogramms Wirtschaftswissenschaften ernannt.

Außerdem wurde die Studienprogrammkommission beauftragt, auf einer Senatssitzung, ebenfalls noch im Januar 1991, eine Stellungnahme zur Vorlage der Senatskommission Wirtschafts- und Rechtswissenschaften abzugeben. Der

Rektor informierte darüber am nächsten Tag den Staatsminister brieflich. Dieser ernannte zum für die Abwicklung Beauftragen den damaligen kommissarischen Prorektor für Wissenschaftsentwicklung, Doz. Dr. Schlegel.

Als die Studienprogrammkommission zu Beginn des Jahres 1991 ihre Arbeit aufnahm, war die Personalsituation folgende: Von den 66 Beschäftigten des Jahres 1989 waren 16 bereits ausgeschieden, 19 befanden sich ab 02.01.1991 in der sog. Warteschleife und für 31 waren befristete oder unbefristete Arbeitsverhältnisse beantragt. Erst gegen Ende der ersten Januardekade wurden die beantragten Arbeitsverträge abgeschlossen, und zwar ausnahmslos alle mit einer Befristung bis zum 30.06.1991.

Am 07.01.1991 begann wieder der Lehrbetrieb für die eigenen Studenten wie auch für die der technischen und naturwissenschaftlichen Fachrichtungen. Auch die wirtschaftswissenschaftlich-gymnasiale Ausbildung am Freiberg Kolleg wurde fortgesetzt. Dem waren teils kontroverse Diskussionen zwischen der Studienprogrammkommission und einigen Lehrenden, die ihre Lehrtätigkeit erst nach Vorliegen eines Arbeitsvertrags wieder aufnehmen wollten, vorausgegangen.

Dies war formal sicherlich richtig, aber gewiss nicht im Interesse der Bergakademie und ihrer Studentenschaft, die für einen Boykott der Lehre durch die Hochschullehrer aus diesem Grunde vermutlich nur wenig Verständnis gehabt haben würden. Die Konsequenzen wären nicht abzusehen gewesen. Vielmehr galt es zu verdeutlichen, dass für einen Abbruch des Studiums in Freiberg kein Grund gegeben war. Die im Studienprogramm befindlichen knapp 300 Studentinnen und Studenten waren zwar über die neue Situation noch vor den Weihnachtsferien informiert¹⁰ worden, was aber nichts daran änderte, dass sie die neue Lage verunsicherte.

Die Studienprogrammkommission war ständiger Ansprechpartner für Sorgen und Fragen der Studentenschaft, zu der sich im Lauf der Zeit ein enger Kontakt entwickelte. Zwar konnte auch sie damals nicht alle Bedenken, die vor allem hinsichtlich der Fortsetzung des Studiums und der Anerkennung des Abschlusses bestanden, zerstreuen, aber es gelang, Vertrauen aufzubauen.

⁶ Sie stand unter Leitung von Dr. Pietzsch. Mitglieder der Kommission waren von der Bergakademie die Professoren Kuhnert, Mücke, Slaby, sowie Dr. Born und die Studenten Garbe und Wenzel, aus den alten Bundesländern die Professoren Matschke (TU Clausthal-Zellerfeld), Reichwald (TU München) und Wilke (TU Berlin).

⁷ Vgl. Akte II 20/541 Senat 1990, UAF.

⁸ Vgl. Protokoll der 11. Senatssitzung am 18.12.1990, Akte II 20/541 Senat 1990, UAF.

⁹ Dies galt für zwölf Hochschullehrer und drei unbefristete wissenschaftliche Oberassistenten/Assistenten, 13 befristet tätige wissenschaftliche Assistenten sowie außerdem für alle 15 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen.

¹⁰ Vgl. Mitteilung des Prorektors für Bildung, Prof. Dr. Stoyan, vom 18.12.1990, Akte II 20/557, UAF.

Die Studenten ihrerseits begegneten den vielfältigen organisatorisch bedingten Unannehmlichkeiten verständnisvoll. In Freiberg kam es im Unterschied zu anderen Universitätsstandorten zu keinen Demonstrationen gegen die Abwicklung. Lernbereitschaft und Motivation der Studentenschaft der späten Zeit der friedlichen Revolution waren im Vergleich zu nachfolgenden Jahrgängen deutlich ausgeprägter. Vor diesem Hintergrund gelang es, das Wintersemester ordentlich zu Ende zu führen.

Die Studienprogrammkommission erarbeitete eine nach Studienformen und Immatrikulationsjahrgängen differenzierte Konzeption.¹¹ Diese sah im Direktstudium für die Matrikel 1989 und 1990 vor, dass sie das Studium mit dem Titel Diplomkauffrau/-mann abschlossen, erstere aber allenfalls erst nach einem um ein Semester verlängerten Grundstudium.

Für die Matrikel 1988 und 1987 kam ein solcher Abschluss nicht in Betracht. Den Studierenden des ersteren sollte angeboten werden, wahlweise ein zertifiziertes Zusatzsemester zu absolvieren oder am Ende des 6. Semesters das Vordiplom abzulegen und dann gemäß den neuen Studiendokumenten das Hauptstudium anzuschließen. Für die Studierenden der Matrikel 1987 wurde nur die Möglichkeit eines zusätzlichen Semesters angeboten. Eine Ausbildung im Fernstudium war nicht mehr vorgesehen. Für die Matrikel 1985 und 1986 des Fernstudiums wurde festgelegt, das Studium nach altem Prüfungsrecht als Diplomingenieurökonom abzuschließen. Studierende der Matrikel 1987 waren bereits an andere Hochschulen gewechselt. Die Jahrgänge 1988 und 1989 befanden sich noch im Grundstudium, das an den Konsultationszentren, also außerhalb Freibergs, durchgeführt wurde. Sie haben dann ihr Hauptstudium nicht mehr an der Bergakademie angetreten.

Ein weitere Aufgabe bestand darin, zunächst die neuen Studiendokumente für den Studiengang BWL und anschließend die für das geplante Aufbaustudium Wirtschaftsingenieurwesen fertigzustellen. Nach gründlicher Überarbeitung unter Berücksichtigung zahlreicher Hinweise sowie Empfehlung seitens der Senatskommission Bildung konnten die BWL-Dokumente am 05.02.1991¹² und die für

das Wirtschaftsingenieurwesen am 09.04.1991¹³ vom Senat bestätigt und die zugehörigen Prüfungsordnungen dem Staatsministerium zur Genehmigung eingereicht werden.

Großes Augenmerk erforderte die personelle und organisatorische Vorbereitung des Sommersemesters 1991. Zur Sicherstellung der Lehre waren mehrtägige Kompaktvorlesungen, einmalige oder im Wochenrhythmus stattfindende Gastvorlesungen westdeutscher Professoren zu organisieren, u. a. für Handels-, Gesellschafts- und Konzernrecht, Wettbewerbs- und Kartellrecht, VWL, Betriebliche Steuerlehre, Unternehmensfinanzierung sowie Personalwirtschaft.

Von Angehörigen des Fachbereichs waren 278 SWS an Lehrveranstaltungen zu absolvieren. Dazu war es jedoch notwendig, dem Minister vorzuschlagen, fünf Wissenschaftler aus der Warteschleife abzurufen. Da das Sommersemester erst am 13.07.1991 endete, die bisher abgeschlossenen Arbeitsverträge jedoch nur bis 30.06.1991 befristet waren, war es geboten, auf deren Verlängerung hinzuwirken.

Obzwar im Abwicklungsbeschluss der Staatsregierung die Neugründung einer wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät in Freiberg nicht ausdrücklich genannt worden war, waren Hochschulleitung und Studienprogrammkommission stets davon überzeugt, dass eine solche – gegenüber der bisherigen völlig erneuerte und leistungsstarke – unverzichtbar sei, um eine universitäre Entwicklung der Bergakademie zu gewährleisten.¹⁴ Daher beriet der Senat nicht nur wiederholt und umfassend über den aktuellen Ablauf des Studienprogramms, sondern auch über den künftigen Fachbereich und die Bestellung eines Gründungsdekans.

Den Anlass dazu hatte ein Brief des Staatsministers für Wissenschaft und Kunst an das Rektoratskollegium der Universität Leipzig gegeben. In diesem zuvor vor der Regierung beratenen Schreiben wurde u. a. ausgeführt, dass für die neu zu schaffenden Einrichtungen Gründungsdekane sowie Gründungskommissionen „unter Berücksichtigung von Vorschlägen wissenschaftlicher Gremien innerhalb und außerhalb Sachsens sowie der Mitgliedergruppen der sächsischen Hochschulen (zu berufen“ seien. Auch die Aufgaben und die

Zusammensetzung der Gründungskommissionen wurden in diesem Brief skizziert, der vom Staatsminister dem Rektor zur Kenntnis gegeben wurde, mit der Bitte, die in ihm fixierten Vorgaben an seiner Universität sinngemäß anzuwenden.¹⁵

Der Senat beschloss, einer Empfehlung der Studienprogrammkommission folgend, dem Staatsminister für das Amt des Gründungsdekans Herrn Prof. Dr. Reichwald von der TU München als Kandidaten vorzuschlagen¹⁶ und beauftragte den Rektor, gemeinsam mit der Kommission entsprechende Schritte einzuleiten. Reichwald hatte sich bereits zuvor – ebenso wie Prof. Dr. Matschke von der TU Clausthal-Zellerfeld – auf Bitte von Hieke bereit erklärt, als Mentor der Studienprogrammkommission zu wirken.

Rektor Gerhardt bat nun Reichwald das Amt zu übernehmen¹⁷ und wandte sich auch an den Präsidenten der Technischen Universität München, Prof. Dr. Meitinger, mit dem Ersuchen, dieses Anliegen der Bergakademie, zu unterstützen¹⁸. Auf der 14. Senatssitzung am 05.02.1991 informierte der Rektor dann über die Zustimmung Reichwalds¹⁹ und das Plazet des Präsidenten der TU München. Damit war seitens der Bergakademie zunächst der im Weiteren zu beschreitende Weg aufgezeigt. Die Entscheidung lag nun beim Staatsminister, der mit seinem bayerischen Amtskollegen die Bedingungen einer Amtsübernahme durch Reichwald festzulegen hatte. Auf seiner Sitzung am 19.02.1991 beriet der Senat über die Zusammensetzung der Gründungskommission und beschloss, Reichwald einige Freiburger Wissenschaftler als Mitglieder zu empfehlen.²⁰

Am 25.02.1991 fand in Freiberg ein erstes Gespräch zwischen dem Rektor Gerhardt, Reichwald und Hieke statt. Die zwischen dem Freistaat Sachsen, dem Freistaat Bayern und dem künftigen Gründungsdekan zu klärenden Konditionen – nicht zuletzt der finanziellen – für die Arbeit der Gründungskommission, bedurfte

11 Vgl. Brief von Doz. Dr. Hieke an Staatsminister Prof. Dr. Meyer vom 29.01.1991, Akte 9808/12, UAF.

12 Vgl. Protokoll der 14. Senatssitzung am 05.02.1991, Akte 9771/1, UAF.

13 Vgl. Protokoll der 18. Senatssitzung am 09.04.1991, Akte 9771/1, UAF.

14 Vgl. Brief des Rektors, Prof. Dr. Gerhard, an Staatsminister, Prof. Dr. Meyer vom 19.12.1990. Akte 9771/1, UAF.

15 Vgl. Brief des Staatsministers, Prof. Dr. Meyer, an Rektor Prof. Dr. Gerhard vom 09.01.1991. Akte II 20/561, UAF.

16 Vgl. Protokoll der 13. Senatssitzung am 22.01.1991, Akte 9777/1, UAF.

17 Vgl. Fernschreiben vom 23.01.1991, Akte 9887/846, UAF.

18 Vgl. Fernschreiben vom 24.01.1991, UAF.

19 Vgl. Protokoll der 14. Senatssitzung, Akte 9771/1, UAF.

20 Vgl. Protokoll der 15. Senatssitzung am 19.02.1991 und der 17. Senatssitzung am 19.03.1991, Akte 9771/1, UAF.

noch geraumer Zeit. Der Staatsminister berief dann am 05.04. 1991 Reichwald zum Gründungsdekan, der am 06.05. 1991 sein Amt in Freiberg offiziell antrat.²¹ In der Folge entwickelte sich eine intensive, vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen

21 Vgl. Protokoll der 20. Senatssitzung am 07.05.1991, Akte 9771/1, UAF.

Reichwald und der Studienprogrammkommission, so dass deren Aufgaben problemlos auf die Gründungskommission, die sich am 10.06.1991²² konstituierte, übergehen konnten. Damit beendete die Kommission für das Studienprogramm ihre Tätigkeit.

22 Vgl. Sitzungsprotokoll Gründungskommission; Akte 9899/24 Gründungskommission Wirtschaftswissenschaften 1991-1993, UAF.

Alles in allem: Ein mitunter fast schon vergessenes, weil sehr kurzes, aber für die Studentenschaft und die Beschäftigten gleichermaßen durchaus dramatisches Interim, das als kleines Element der Hochschulerneuerung auf dem Gebiet der Wirtschaftswissenschaften anzusehen ist, fand seinen Abschluss.

Ein offener Brief

Sehr geehrter Herr Kollege Schönfelder,

im Sammelband Bergakademische Geschichten¹ publizieren Sie den Beitrag „Von der Sektion Sozialistische Betriebswirtschaftslehre² zur Fakultät für Wirtschaftswissenschaften“. Ihre Schilderung zielt auf eine Wertung der vor Ihrer Berufung und Neugründung der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und damit der vor 1993 liegenden Zeit. Die Ausführungen hierzu sind ein Konglomerat aus Wahrheiten, Halbwahrheiten, Unwahrheiten, Mythen und Absurditäten. Ich vermisse eine vorurteilsfreie Betrachtung und die angemessene Berücksichtigung der für die Wirtschaftswissenschaften an der Bergakademie Freiberg in diesen Jahren maßgeblichen äußeren Rahmenbedingungen (S. 232 ff.).³ Über Visionen der heutigen Wirtschaftsfakultät erfährt der Leser leider wenig.

Wahr ist z. B., dass die Wirtschaftswissenschaften in der DDR der marxistischen Ideologie und der Diktatur der SED unterworfen waren und dass es keine hiervon unabhängige freie Entwicklung der Betriebswirtschaftslehre an der Bergakademie Freiberg gegeben hat.

Wahr ist z. B., dass für Nichtmitglieder der SED die Aufstiegs- und Berufungschancen signifikant schlechter waren (S. 401). Wahr ist aber auch, dass sich alle Berufungskandidaten den allgemeinen Berufungskriterien stellen mussten. Anders als heute hatte bei den Ingenieur- und angewandten Wirtschaftswissenschaften (Betriebswirtschaft und Ingenieurökonomie) die Forderung nach Berufs- und Praxiserfahrung einen hohen Stellenwert. Dieses Kriterium verringerte besonders die Chancen der Personen, die unmittelbar nach dem Studium als wissenschaftliche Mitarbeiter an den Hochschulen verblieben sind und später den Kern des sogenannten „Akademischen Mittelbaus“ bildeten.

Unwahr ist z. B., dass es bis zur Abwicklung des Fachbereichs Ingenieurökonomie 1991 keine Neuwahl der Leitungsgremien gegeben hat (S. 404). Häfner und Stoyan beschreiben das Procedere und die Ergebnisse der im Februar/März 1990 an der Bergakademie Freiberg durchgeführten geheimen Vertrauensabstimmungen und Neuwahlen (S. 338 f.).

Es zählt z. B. zu den Mythen, dass es in der DDR keine kaufmännische Betriebsführung gab und dass ein betriebswirtschaftliches Rechnungswesen nicht oder nur in trivialisierter Form existierte (S. 397). Die Kostenrechnung hatte ein hohes Niveau. Grundlage hierfür war u. a. mit Leistung-Kosten-Ergebnis⁴ ein Werk der Freiburger Betriebswirte. Dieses Buch fand auch eine hohe Wertschätzung von Kollegen jenseits der uns damals umgebenden Grenzen.

Falsch ist z. B., dass die Motivation der Sektion SBW für die seit Mitte der 1980er-Jahre angestrebte Namensänderung in Ingenieurökonomie darin bestand, den Namen SBW loszuwerden (S. 404). Der Antrag war eine Folge der auf Forderung der Praxis sich vollziehenden Entwicklung der Sektion wieder hin zur Ingenieurökonomie (S. 241 f.). Voraussetzung und zugleich Ergebnis war die Berufung von Professoren mit ingenieurökonomischem Profil⁵ und eine entsprechende Ausrichtung der Lehrprogramme. Die Namenserweiterung der heutigen Wirtschaftsfakultät 2013 in Wirtschaftswissenschaften insbesondere internationale Ressourcenwirtschaft ist dagegen dem Zeitgeist und dem Selbsterhaltungstrieb der Fakultät geschuldet und nicht das Ergebnis einer auf die Anforderungen der Rohstoffwirtschaft ausgerichteten vorlaufenden inhaltlichen Profilierung und personellen Ausstattung.

Zu dem von Ihnen angesprochenen Vordenkertum: Viele der zur Zeit der DDR aktiven Wirtschaftswissenschaftler bedauern, dass es trotz Versuchen (auch Freiburger) nicht gelungen ist, den Exitus der Wirtschaft zu verhindern. Angesichts der wiederum aktuellen Bedrohung der Realwirtschaft durch eine übermächtige und in Teilen irrealen Finanzwirtschaft – weg von der Marktwirtschaft hin zu einer Kapitalrenditewirtschaft – vermisse ich heute Vordenkerimpulse, insbesondere auch aus dem Haus der Freiburger Wirtschaftswissenschaften.

Absurd und pauschal nicht berechtigt ist Ihr Vorwurf an die (in der Mehrzahl abgewickelten) DDR-Ökonomen, dass diese nach der Wende nicht auf die Einführung marktwirtschaftlicher Reformen Einfluss genommen hätten⁶ und Ihre Annahme, dass die „Treuhand“ hierüber wahrscheinlich begeistert gewesen wäre (S. 406).

Ignorant ist z. B. Ihr Urteil über die Freiburger „Branchenökonom“, insbesondere der an sie adressierte Vorwurf der Passivität und Ihre Feststellung, dass deren Wissen im Begriff war, sich in Wirtschaftshistorie zu verwandeln (S. 407).⁷ Allein von der bis 2004 bestehenden Professur für Bergwirtschaftslehre wurden seit 1990 im Auftrag von Bundes- und Landesministerien, Behörden, Banken und Unternehmen mehr als 30 Expertisen und Gutachten zur Bewertung von Vorkommen, Lagerstätten, Projekten und Bergbau- folgen, zu Sanierungsvorhaben und zur Privatisierung von Bergwerkseigentum erstellt.⁸ Bereits vorhandenes und neu erworbenes Wissen war Grundlage vieler Publikationen (u. a. auch vier Lehrbücher), bestimmte den Inhalt der DMT-Weiterbildungsseminare für Führungskräfte der Rohstoffwirtschaft und führte zu Handlungsvorschriften in den Bund-Länder-Vereinbarungen über Umfang und Finanzierung der Bergbausanierung und die Nachsorgeverantwortung für Dauerbergschäden bei Rechtsträgerwechsel. Die Bundesregierung und die Landesregierung Sachsen wurden zu energie- und rohstoffstrategischen Problemen beraten. Auch der „Branchenökonom“ für die Metallurgie war nach seiner Abwicklung 1991 ein gefragter Berater und Gutachter.

Für die weitere Entwicklung ist die Antwort auf die Frage „Ist eine Freiburger wirtschaftswissenschaftliche Fakultät in erster Linie der Wirtschaftstheorie oder dem Profil der Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg verpflichtet und schließt das Eine das Andere aus?“ von Bedeutung. Ich plädiere für eine auf die Profillinien Rohstoffe, Werkstoffe, Energie und Umwelt gerichtete, den elementaren Faktoren und den realen Prozessen der Wertschöpfung zugewandte und dem Prinzip „Theoria cum Praxi“ verpflichtete Lehre und Forschung sowie eine enge Zusammenarbeit mit den Ingenieuren. Das sehen Sie aber als Gefahr (Risiko) (S. 414) für die auf Theoriebildung abzielenden Wirtschaftswissenschaften. In die Klage bezüglich fehlenden für eine interdisziplinäre Arbeit befähigten Personals stimme ich ein. In der DDR war das ein Anliegen der Ausbildung von Ingenieurökonom (S. 231 ff.). Wäre ein hierzu befähigter Absolvent nicht auch eine Aufgabe für unsere heutige Wirtschaftsfakultät?

Besonders absurd ist es, dass Sie sich mit Ihrer Einschätzung auf Hollweg, den Nestor der Ingenieurökonomie an der Bergakademie Freiberg, berufen (S. 416). Hollweg würde sich, könnte er Ihren Beitrag noch lesen, vermutlich im Grab umdrehen.

Sehr geehrter Herr Schönfelder, zu einigen meiner Kritikpunkte können Sie erwidern, dass Ihnen angesichts der räumlichen und zeitlichen Distanz vom Geschehen die notwendigen Kenntnisse fehlen. Ihr Versuch, diese Wissenslücke über die Zeit und über Personen vor 1993 durch Interviews mit Zeitzeugen (S. 397) zu schließen, ist untauglich, wenn diese Gespräche nicht mit dem Ziel der Urteilsbildung, sondern als Versuch der Untersetzung von Vorurteilen geführt werden. Bereits im Brief vom 15.05.2010 habe ich mein Befremden über den Tenor Ihres Artikels und die ignorante und von Selbstherrlichkeit geprägte Schilderung geäußert. Als Zeitdokument und Beispiel für eine den Ethikkodex wissenschaftlicher und publizistischer Arbeit missachtende Geschichtsschreibung habe ich damals eine Veröffentlichung begrüßt, nicht wissend, dass Sie mich später als einen Ihrer Zeugen benennen wollen.

Sehr geehrte Leserinnen und Leser, für die Älteren und in der Sache Kundigen von Ihnen hätte es dieses Briefes sicher nicht bedurft. An jüngere und kommende Generationen gerichtet hoffe ich, dass der Brief einen kleinen Beitrag zu einer fairen Beurteilung der Geschichte der Wirtschaftswissenschaften an der Bergakademie Freiberg leisten kann.

*Mit freundlichen Grüßen und Glückauf
Prof. Dr. Dieter Slaby*

Anmerkungen

- 1 D. Stoyan [Hrsg.]: Bergakademische Geschichten, Mitteldeutscher Verlag Halle, 2015, ISBN 978-3-95462-410-2.
- 2 Eine Sektion oder Fakultät mit diesem Namen hat es zu keiner Zeit gegeben. 1956-1968 Fakultät für Ingenieurökonomie; 1969-1989 Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft (SBW); 1990 Sektion Ingenieurökonomie und ab 6.Juni 1990 bis zur Abwicklung Fachbereich Ingenieurökonomie.
- 3 Seitenzahlweise in diesem Brief sind immer bezogen auf das Buch „Bergakademische Geschichten“, wie Anm. 1.
- 4 Gallenmüller/Hieke/Hülsenberg/Neubert: Leistung/Kosten/Ergebnis (LKE). Verlag für Grundstoffindustrie 1970 (in vierter überarbeiteter Auflage 1988).
- 5 Ökonomie der Metallurgie (1980), Bergrecht (1982), Energiewirtschaft (Dozentur 1983), Ökonomie Mineralischer Rohstoffe (1984), Ökonomie des Bergbaus (1987).
- 6 Direkt hierzu: Slaby, D. und Seidelmann, P.: Rohstoffgewinnende Wirtschaftseinheiten unter marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Neue Bergbautechnik Heft 10/1990 (S.374-379) und Slaby, D.: Ökologische Lasten und Bewertung von Lagerstätten und Bergbauunternehmen. Neue Bergbautechnik Heft11/1992 (S.391-395).
- 7 Natürlich mutiert jedes Tatsachenwissen über Vorgänge in der Wirtschaft irgendwann zur Wirtschaftshistorie. Das Tempo der Mutation ist umso größer, je weiter das Objekt des Wissens von der Realwirtschaft entfernt ist.
- 8 Anfangs verlief das nicht immer geräuschlos. Als beispielsweise das BMF 1993 Prof. Wilke (TU Berlin) und mich als Gutachter zur Sicherheit und Wirtschaftlichkeit eines Untertage-Förderverbundes Merkers-Hattorf (ein Detail der brisanten Fusion im Kali) benannte, kam Einspruch aus dem Haus der Regierung des Freistaates Thüringen. Ob man nicht wüsste, dass Herr Slaby ein ehemaliger DDR-Professor sei. Der zuständige Treuhand- direktor für Bergbau wies den Einspruch zurück. Sicher hat sich Herr Schucht hierbei auch von seinen Erfahrungen mit dem von Westen aus den Osten überziehenden Schwarm von Beratern leiten lassen.

Für angebracht und argumentativ zutreffend halten auch weitere Zeitzeugen (darunter Prof. Seidelmann und Dr. Trillhose) meine mit diesem Brief vorgetragene Replik.



Nachruf für Dr. Hildburg Vetter

Im August 2015 verstarb Frau Dr. Hildburg Vetter im Alter von 65 Jahren. Ihr Name wird für Generationen von Studenten mit der Erinnerung an ihre Fachsprachenausbildung Englisch am Sprachenzentrum der Bergakademie Freiberg verbunden bleiben. Frau Dr. Vetter vermochte durch ihr breites Wissen, didaktisches Talent und ihre große Freude am Unterrichten für das Lernen zu begeistern. Mit ihrer freundlichen, offenen Art und großen Hilfsbereitschaft war sie eine ausgesprochen beliebte Lehrerin und Kollegin, vielen Menschen zugleich auch geschätzte Ratgeberin und echte Freundin. Den zahlreichen neuen Aufgaben und zuweilen harten Herausforderungen begegnete sie – ungeachtet ihrer kleinen Gestalt – mit „breiten Schultern“ und großem Mut. Der frühe Abschied von ihr hinterlässt alle, die sie als Lehrerin erleben und mit ihr als Kollegen im Sprachenzentrum und an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften zusammenarbeiten durften, sehr betroffen und zugleich tief dankbar. In den Herzen Vieler werden Spuren von der gemeinsamen Zeit mit dieser großartigen Frau bleiben.

■ Karin Löttsch

Professor Heinz Gloth verstorben

Am 16. August 2015 ist Herr Professor Heinz Gloth, langjähriger Inhaber des Lehrstuhls für Tiefbohrtechnik an der TU Bergakademie Freiberg, nach langer und schwerer Krankheit im 76. Lebensjahr verstorben.

Heinz Gloth stammte aus Nordhausen-Steigertal, besuchte die Schule in Nordhausen und erlernte den Beruf eines Schlossers, mit dem Abiturabschluss. Nach dem Studium der Tiefbohrtechnik, Erdöl- und Erdgasgewinnung an der Bergakademie Freiberg in den Jahren 1959 bis 1964 bei Prof. Werner Arnold begann er seine praktische Tätigkeit in der Heimatstadt Nordhausen, im damaligen Betrieb Schachtbau Nordhausen, vormals Gebhardt und König. Seine ersten Praxiserfahrungen erwarb er beim Abteufen der Gefrierlochbohrungen für die Schächte Zielitz und bei der Entwicklung des damals größten Schachtbohrgeräts, das schon moderne Entwicklungen der Bohrtechnik, wie Kraftspülkopf statt Drehtisch, berücksichtigte.

Im Jahr 1970 folgte er einem Angebot seines Lehrers Werner Arnold, zurück an das Institut für Tiefbohrtechnik, Erdgas- und Erdölgewinnung zu kommen, zunächst als wissenschaftlicher Assistent und später als Oberassistent und Dozent für Bohrtechnik. In diesen Jahren erweiterte er sein Arbeitsgebiet ganz wesentlich, insbesondere auch mit seiner Dissertation 1976, die sich mit der Konstruktion und der Anwendung einer Hochdruck-Triaxialzelle auf geomechanische Probleme in der Bohrtechnik befasste. In den Folgejahren war er maßgeblich beteiligt an der Konstruktion und dem Bau einer modernen, fahrbaren Flachbohranlage, der Konstruktion moderner Kernrohr-ausrüstungen und der tiefgehenden Analyse des Gesteinszerstörungsprozesses. Diese Forschungsarbeiten mündeten im Jahr 1984 in seiner Habilitationsschrift (damals Dissertation B). Er gehörte ohne Zweifel zu den profiliertesten deutschen Bohringenieurern. Neben seiner Forschungsarbeit übernahm Heinz Gloth schon frühzeitig Vorlesungen in der



Tief-, Flach- und Schachtbohrtechnik. Nach der Emeritierung von Professor Arnold im Jahr 1985 trat er dessen Nachfolge als Direktor des Instituts für Bohrtechnik und Fluidbergbau und 1986 auch als Professor für Tiefbohrtechnik an.

Nach dem Umbruch der Jahre 1989/90 wurde Heinz Gloth im Jahre 1992 auch vom neuen Sächsischen Staatsminister für Wissenschaft und Kunst zum Universitätsprofessor (C4) für Tiefbohrtechnik berufen. In den Jahren nach der Wende richtete sich das Hauptaugenmerk von Heinz Gloth auf die vielfältigen neuen Probleme in der Horizontalbohrtechnik, die Herausforderungen beim Abteufen der Kontinentalen Tiefbohrung in der Oberpfalz, die Optimierung der Gesteinszerstörung und auf zahlreiche gutachterliche Aufgaben.

In der universitären Lehre hat Heinz Gloth die gesamte Bohrtechnik über mehr als 30 Jahre vertreten und über 300 Diplom-Ingenieure im Fach Bohrtechnik ausgebildet. Er war ein strenger und exakter Lehrer, der hohe Ansprüche an den Fleiß seiner Studenten stellte, aber auch immer bereit war, auf Fragen und Probleme seiner Hörer individuell einzugehen. Er hat das SPE-Student Chapter an der TU Bergakademie Freiberg mit gegründet und bis 2004 als Faculty Sponsor begleitet. Über ein Jahrzehnt war er aktiv im Rahmen des Deutschen Nationalkomitees für Welt-Erdöl-Kongresse und als Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des GFZ Potsdam tätig.

Nach seiner Emeritierung im Jahr 2006 übernahm Prof. Matthias Reich die Professur, deren Zuständigkeit über das Gebiet der Tiefbohrtechnik hinaus auch auf Tiefbauausrüstungen und Bergbaumaschinen ausgeweitet wurde.

Wir haben mit Heinz Gloth einen liebenswerten Kollegen und Freund verloren, der mit seiner integren, freundlich zurückhaltenden Persönlichkeit in unserem Andenken bleiben wird.

■ Frieder Häfner, Matthias Reich

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder – Herzliche Glückwünsche und Glückauf!

60. Geburtstag

- Prof. Dr. phil. habil. Albrecht, Helmuth, Freiberg
- Frau Engel, Marianne, Tutzing
- Prof. e. h. Dr. Eßlinger, Hans Michael, Freiberg
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jacob, Dieter, Berlin
- Dipl.-Ing. Jechel, Thomas, Waiblingen
- Dipl.-Ing. Lagerpusch, Karlheinz, Freiberg
- Dr.-Ing. Lippmann, Günter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schaks, Hans Ulrich, Großräschen
- Dr.-Ing. Schmidt, Olaf, Radebeul
- Kulturamtsleiter Schwinger, Andreas, Zug
- Dr. Strzodka, Michael, Maust
- Frau Unland, Renate, Freiberg
- Herrn Voigt, Christof, Meißen
- Prof. Dr. Wegert, Elias, Chemnitz
- Dr.-Ing. Zeiß, Hartmuth, Senftenberg

65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Alpers, Heino, Markranstädt
- Dipl.-Ing. oec. Böhme, Barbara, Chemnitz
- Dipl.-Chem. Böhme, Rainer, Königsbrück
- Dipl.-Ing. Eckenigk, Heinz, Winsen
- Prof. Dr.-Ing. habil. Groß, Ulrich, Oberschöna
- Prof. Dr. Kuna, Meinhard, Oberschöna
- Herrn Menzel, Harald, Flöha
- Dr.-Ing. Morgenstern, Rolf, Zwickau
- Prof. Dr. Otto, Matthias, Oberschöna
- Dr.-Ing. Schink, Dietrich, Weischlitz
- Dr. Stöcker, Horst-Martin, Duisburg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagner, Steffen, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Weber, Horst, Halsbrücke
- Prof. Dr. Wolf, Rainer, Dresden
- Dr.-Ing. Wollenberg, Ralf, Brand-Erbisdorf

70. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Behrendt, Hans-Peter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Beutler, Dietmar, Heideblick
- Dipl.-Ing. Buschmann, Bernd, Döbeln
- MtA Fischer, Irmtraud, Dannenberg
- Dipl.-Ing. Fröhlich, Klaus-Dieter, Frankenberg
- Prof. Dr. Gillo MdL, Martin, Dresden
- Dipl.-Buchhandelswirt Hackel, Barbara, Freiberg
- Prof. Dr. Helbig, Rolf Falk, Dresden
- Dipl.-Ing. Hentze, Dieter, Leipzig
- Dr.-Ing. habil. Hunger, Hans-Jörg, Erfstadt
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Kohaupt, Ludwig, Berlin
- Dr. e. h. Middelschulte, Achim, Essen
- Dipl.-Ing. Schönberg, Joachim, Zwickau
- Dr.-Ing. Serrano, Carlos, POTOSI, Bolivien
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Walter, Rückersdorf
- Dr. rer. nat. Voigt, Reinhard, Krefeld

75. Geburtstag

- Dr.-Ing. Benedix, Volker, Freiberg
- Frau Brückner, Johanna, Freiberg
- Dipl.-Ing. Eckhardt, Dieter, Essen
- Dr. rer. nat. Erler, Klaus, Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. Forkmann, Bernhard, Nossen
- Dipl.-Ing. Heinrich, Claus, Bernburg
- Dr.-Ing. Hofmann, Walter, Freiberg
- Prof. Dr. oec. Jäckel, Gottfried, Freiberg
- Prof. Dr. Kausch, Peter, Brühl
- Dr. rer. oec. Klingler, Maren, FAUCON
- Dipl.-Ing. Krakau, Bernhard-Rolf, Wittenförden
- Dr. rer. nat. Kühn, Peter, Berlin
- Dr.-Ing. Kühne, Wulf, Frauenstein
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kuhnert, Gerd, Flöha
- Dr.-Ing. Mühl, Peter, Berlin
- Prof. Dr. habil. Naumann, Friedrich, Chemnitz
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Naundorf, Wolfgang, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. hc. Oettel, Heinrich, Freiberg
- Dipl.-Ing. Petrasch, Wolfram, Machern
- Prof. Dr.-Ing. habil. Pusch, Gerhard, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schnelldorfer, Lothar, Riesa
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schubert, Gert, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schulze, Helmut, Oranienburg
- Dr.-Ing. Schüttoff, Michael, Dresden
- Frau Steinmetz, Hella, Freiberg
- Prof. Dr. h. c. Stoyan, Dietrich, Freiberg
- Frau Tetzner, Ruth, Freiberg
- Prof. Dr. Thomas, Berthold, Dresden
- Dr. rer. nat. Vogel, Jochen, Steinach
- Herrn von der Heyden, Dietrich, Moritzburg
- Dr.-Ing. Wenninghoff, Eva, Freiberg
- Dr.-Ing. Wiesner, Herbert, Freiberg
- Prof. Dr. Woditsch, Peter, Krefeld

80. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Budde, Klaus, Bitterfeld
- Dr. rer. nat. Burghardt, Oskar, Krefeld-Bockum
- Dr. rer. nat. Gärtner, Karl-Heinz, Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Gerhardt, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Hofmann, Lothar, Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. habil. Krauß, Armin, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lehmann, Rudolf, Borna
- Oberlehrer i. R. Menzel, Ernst, Freiberg
- Dr.-Ing. Müller, Helmut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg

81. Geburtstag

- Prof. Buhrig, Eberhard, Dresden
- Dr. rer. nat. Douffet, Heinrich, Freiberg
- Dr.-Ing. Ebel, Klaus, Ingersleben
- Dipl.-Ing. Emrich, Dietmar, Bergheim
- Dipl.-Ing. Gottschalk, Jürgen, Hamburg

- Dipl.-Ing. Gruhl, Karl-Heinz, Bonn
- Dipl.-Ing. oec. Hofmann, Hans, Freiberg
- Dr.-Ing. John, Manfred, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kochs, Adolf, Lichtentanne
- Prof. Dr.-Ing. habil. Köpsel, Ralf, Dresden
- Dr.-Ing. Kulke, Horst, Freiberg
- Dr.-Ing. Michalzik, Arno, Wolmirstedt
- Dipl.-Ing. Nicolai, Thomas, Dresden
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Oelsner, Christian, Freiberg
- Dipl.-Ing. Pysarczuk, Theodor, Bannewitz
- Dr.-Ing. Routschek, Helmut, Cottbus
- Prof. Dr.-Ing. habil. Spies, Heinz-Joachim, Freiberg
- Assessor des Bergfachs Spruth, Fritz, Werne
- PD Dr.-Ing. habil. Ulbricht, Joachim, Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. Walde, Manfred, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wiesenfeldt, Ludwig, Mülheim a. d. Ruhr

82. Geburtstag

- Dipl.-Geophys. Albin, Siegfried, Leipzig
- Dipl.-Ing. Bergemann, Heinz, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Bilkenroth, Klaus-Dieter, Hohenmölsen
- Dr.-Ing. Denecke, Albrecht, Buchholz
- Prof. em. Dr. Dr. h. c. Förster, Wolfgang, Halsbrücke
- Prof. Dr. Guntau, Martin, Rostock
- Dr.-Ing. Hahn, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Harzt, Dietmar, Freiberg
- Markscheider i. R. Dipl.-Ing. König, Dietrich, Lübbenau
- Doz. Dr.-Ing. Krüger, Walter, Freiberg
- Frau Michel, Gudrun, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Piatkowiak, Norbert, Großschirma
- Dr.-Ing. Rocktaeschel, Gottfried, Dresden
- Markscheider Dr.-Ing. Schmidt, Tankred, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Textor, Horst-Ulrich, Mülheim a. d. Ruhr
- Prof. Dr. Toffel, Rolf, Lehre

83. Geburtstag

- Doz. Dr.-Ing. habil. Förster, Siegfried, Freiberg
- Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Hofmann, Joachim, Großschirma
- Dipl.-Ing. Hohoff, Wilhelm, Lingen (Ems)
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Lehnert, Wolfgang, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lenz, Louis, Wittenberg
- Dipl.-Ing. Milz, Karl-Heinz, Markkleeberg
- Dr. oec. Mitzinger, Wolfgang, Berlin
- Dipl.-Ing. Schölzel, Helmut, Muldestausee
- Prof. Dr.-Ing. habil. Straßburger, Christian, Dinslaken
- Dipl.-Ing. Triebel, Karl, Vellmar
- Prof. Dr. rer. nat. Wolf, Monika, Krefeld

84. 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

- Prof. em. Dr. Klose, Erhard, Freiberg
- Dipl.-Berging. Mertens, Volkmar, Essen-Steele
- Dr.-Ing. Pforr, Herbert, Freiberg
- Dr.-Ing. Träger, Heiner, Büdingen

85. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
- Prof. i. R. Dr. Franeck, Heinzjoachim, Dresden
- Prof. Dr. Hein, Klaus, Freiberg
- Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
- Dr.-Ing. Kraft, Heinz, Bad Reichenhall
- Dipl.-Ing. Meinig, Klaus, Dresden
- Herr Mester, Egon, Buxtehude
- Dr.-Ing. habil. Mohry, Herbert, Leipzig
- Markscheider Dr.-Ing. Schulze, Günter, Bad Liebenwerda
- Prof. Dr.-Ing. habil. Steinmetz, Richard, Cottbus
- Prof. Dr. sc. techn. Uhlig, Dieter, Altenberg
- Prof. i. R. Dipl.-Geol. Voigt, Günter, Cottbus

85. Geburtstag

- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

86. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Heeg, Klaus, Ravensburg
- Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
- 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

87. Geburtstag

- Markscheider Dr.-Ing. Bognitz, Horst, Halle/Saale
- Dipl.-Ing. (FH) Günbler, Peter, Kempen
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
- 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

88. Geburtstag

- Herrn Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin (Zehlendorf)
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxembourg
- Dr. Ing. E. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin
- Prof. Dr. sc. techn. Schmidt, Reinhardt, Weimar
- Dipl.-Ing. Stolpe, Egon Emanuel, Nürnberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagenbreth, Otfried, Freiberg

89. Geburtstag

- Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg
- Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Schubert, Heinrich, Freiberg

90. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
- Dr.-Ing. Boltz, Gerhard, Lutherstadt Eisleben
- Markscheider Dipl.-Ing. Hartnick, Dieter, Freiberg
- OBERINGENIEUR UNLAND, JOHANN, DRESDEN

91. Geburtstag

- Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

92. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelücken, Manfred, Erfstadt-Bliesheim

95. Geburtstag

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

Geburtstagsjubiläen nach dem 27. November 2015:

60. Geburtstag

- Prof. Dr. Breitzkreuz, Christoph, Freiberg

65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Grabner, Hanjürgen, Ilmtal

75. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Häfner, Frieder, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Heegn, Hanspeter, Freiberg

80. Geburtstag

- Dr. Hildmann, Eckart, Fulda
- Dipl.-Ing. Ök. Richter, Heinz, Großschirma
- Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde

81. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Knissel, Walter, Bad Gandersheim

83. Geburtstag

- Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin

84. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera
- Dipl.-Geologe Waltemate, Günther, Eichwalde

86. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Dipl.-Geophysiker Hiersemann, Lothar, Leipzig
- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig

87. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof

89. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Krug, Günther, Lutherstadt Eisleben

90. Geburtstag

- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Köln

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

Frau Ingeburg Nitsche, Aalen
* 31.08.1931, † 15.02.2015

Dr.-Ing. Gert Göll, Halsbrücke
* 20.08.1944, † 08.03.2015

Markscheider Dr.-Ing. Heinz Wordelmann, Leipzig
* 06.10.1932, † 15.05.2015

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Löber, Oederan
* 01.03.1945, † 03.06.2015

Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Gloth, Freiberg
* 06.03.1939, † 16.08.2015

Dr. phil. Hildburg Vetter, Freiberg
* 06.08.1950, † 14.08.2015

Dr.-Ing. Wolfgang Grosser, Dresden
* 20.05.1937, † 29.08.2015

- Prof. Dr.-Ing. Christos G. Aneziris, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Nat. Ines Aubel, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Kai Bachmann, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
- Dipl.-Volksw. Claudia Baldauf, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. i. R. Jürgen Bast, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Constance Bornkamp, VFF
- Christoph Böttger, Student TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Catleen Conrad, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. David Ehinger, Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e. V.
- M.Sc. Max Frenzel Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
- Dr. rer. nat. Peter Fröhlich, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Matthias Fuhrland, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Patrick Gehre, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Gerd Grabow, Freiberg
- M.Sc. Valentin Greb, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. pol. Jens Grigoleit, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Johannes Günther, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. (PhD ZA) Jens Gutzmer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Friedrich Häfner, Freiberg
- Dr. rer. nat. Torsten Hahn, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. habil. Mike Haustein, Nickelhütte Aue GmbH
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn, Freiberg
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Hans Hieke, Dresden
- Joachim Huth, Freiberg
- Dr.-Ing. Raymond Jonckheere, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. phil. Herbert E. Kaden, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. mult. Rudolf Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kfm. Jacob Kleinow, TU Bergakademie Freiberg
- M. Sc. Ann Helen Klingner, Heidersdorf
- Dr. rer. pol. Andreas Klossek, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
- Prof. Dr. phil. habil. Steffen Kolb, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Jens Kortus, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Joachim Krause, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretschmar, VFF
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Edwin Kroke, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Dirk Kulawinski, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Meinhard Kuna, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr.-Ing. Wolfgang Lehnert Freiberg
- Dr. rer. nat. Tilmann Leisegang, TU Bergakademie Freiberg
- Ass. Jur. Theresa Lemser, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Päd. Karin Löttsch TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Josef Makovitzky, Viernheim
- Dipl.-Chem. Gunther Martin, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Andreas Massanek, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Oberlehrer i. R. Ernst Menzel, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Broder Merkel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Dirk C. Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Wi.-Ing. Tobias Nell, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Thomas Niendorf, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Michel Oelschlägel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Carsten Pätzold
- Dr. rer. nat. Jörg A. Pfänder, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Jana Pinka, Freiberg
- Dr. rer. nat. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ind. Arch. Stefanie Preißler, VFF
- Prof. Dr. phil. habil. Lothar Ratschbacher, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Lydia Reichelt, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Oliver Rheinbach, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Andreas Richter, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Klaus Richter, Freiberg
- Prof. i. R. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg
- Susanne Roewer, Dipl.-Bildhauerin, Meisterschülerin, Berlin
- Prof. Dr. rer. pol. habil. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. pol. Stephan Rohleder, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Margarete Rühlicke, Freiberg
- Lennart Schimmrigk, Student TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael Schlömann, TU Bergakademie Freiberg
- Julia Schmiedel, Studentin TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Jörg W. Schneider, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Susanne Schneider, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Norbert Schreiter, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Christian Schröder, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geoök. Tina Schulz, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
- Prof. Dr. Drs. h. c. Helmut Schwarz, Technische Universität Berlin
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, TU Bergakademie Freiberg
- Christine Seupel, Studentin TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Karin Sichone, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr. oec. habil. Dieter Slaby, Freiberg
- Dr. rer. nat. Blanka Sperner, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Doreen Steffien, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Anett Stöcker, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Hartmut Stöcker, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Marion Tichomirowa, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Dirk Tischler, TU Bergakademie Freiberg
- János Tóth, Direktor des Museums der Ungarischen Erdölindustrie in Zalaegerszeg
- Dr. rer. oec. Andreas Trillhose, Freiberg
- Tobias Tröger, Student TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Kfm. Jens Weber, TU Bergakademie Freiberg
- M. Sc. Juliane Zimmerling, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Alexander Zurbel, TU Bergakademie Freiberg



Muldenbrücke Tuttendorf (erbaut 1501), Peter Czolbe, Aquarell, 2014

Der Verein wünscht mit diesem Aquarell seines Mitglieds Dr. Peter Czolbe allen Lesern der ACAMONTA ein frohes Weihnachtsfest und ein gesundes neues Jahr 2016!

Herausgeber: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. und der Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg

Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.

Vorsitzender: Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht
Geschäftsführer und Stellvertretender

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar

Postanschrift: 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

Redaktionsleitung: Prof. Dr. Gerhard Roewer
Redaktionskollegium: Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Dipl.-Journ. Christel-Maria Höppner, Dr.-Ing. Klaus Irmer, Dr. Herbert Kaden, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel, Prof. Dr. Peter Seidelmann

Gestaltung/Satz: Brita Gelius
Druck: gwz Graphische Werkstätten Zittau GmbH
Auflage: 1.900

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 ist 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.

© Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., 2015
ISSN 2193-309X