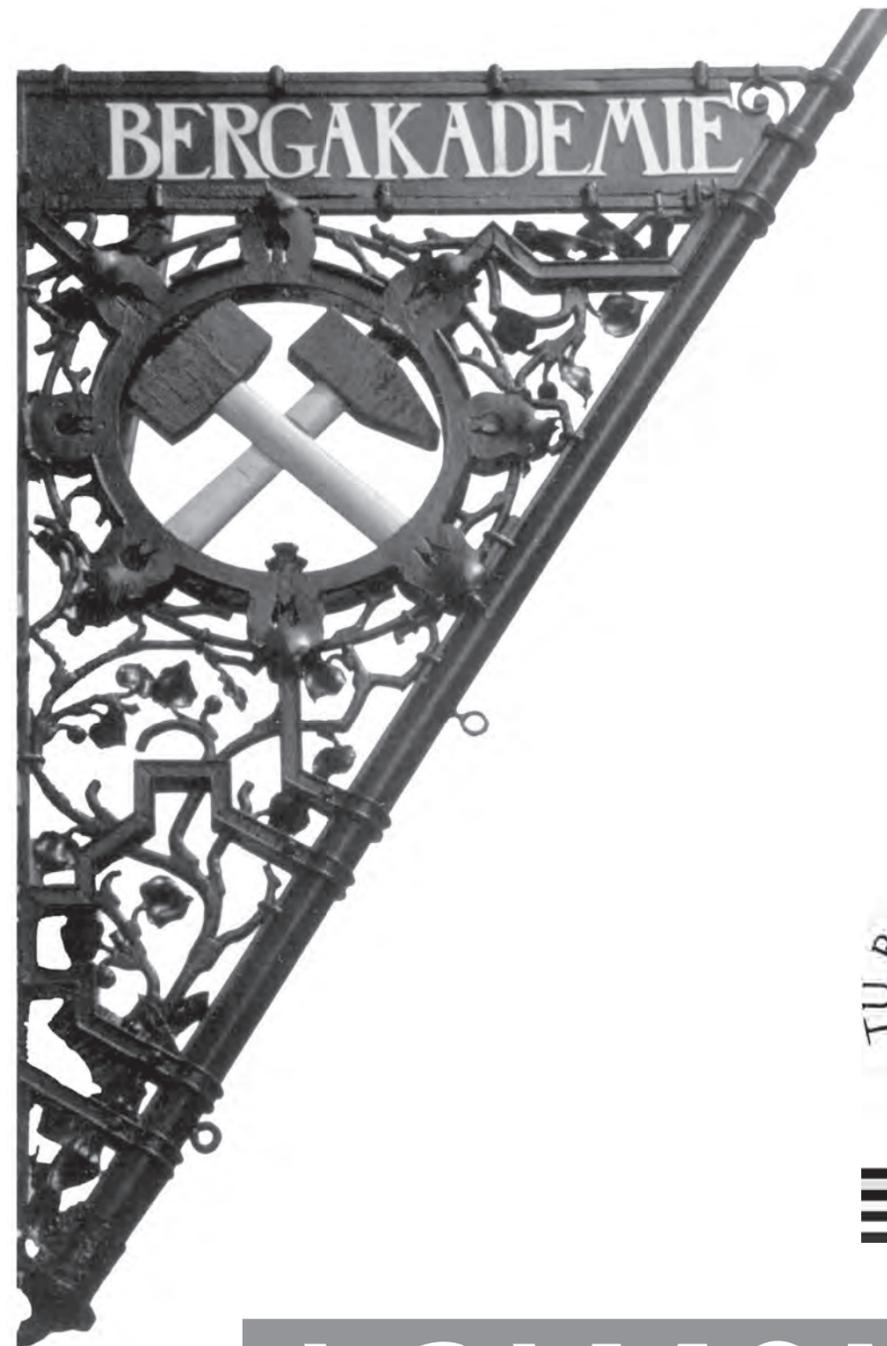


ACAMONTA – Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg · 2017



ACAMONTA

Zeitschrift für Freunde und Förderer der
Technischen Universität Bergakademie Freiberg

24. Jahrgang 2017

ISSN 2193-309X



ACAMONTA



Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

24. Jahrgang 2017

Editorial

Eine Universität ist als Heimstatt wissenschaftlicher Lehre und Forschung stets mit hohen Erwartungen konfrontiert, die ihre Mitwirkung am gesellschaftlichen Fortschritt betreffen. Die Bergakademie hat mit dem vom Zeitpunkt ihrer Gründung an kreierte Erkenntnisgewinn einen durchaus markant zu nennenden Anteil an den von der internationalen Wissenschaft angestoßenen enormen technologischen Wirkungen, die sich zumeist auch in handfesten ökonomischen Nutzeffekten niederschlagen. Generell führt ein namentlich im Grundlagenbereich erzielter wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn dazu, dass die Wissenschaft sich zunächst selbst wieder mit neuen Fragen „versorgt“. Dessen ungeachtet resultiert auch aus der Grundlagenforschung früher oder später eine praxiswirksame wissenschaftliche Kreativität, die zu erheblichen Fortschritten in der Beherrschung der natürlichen Umwelt des Menschen führt – zu Antworten, die technisch effiziente und sozial ausgewogene Anwendungen nach sich ziehen. Da die Wissenschaft eine zunächst einmal Ressourcen bindende Teilsphäre gesellschaftlichen Seins ist, wird von den Wissenschaftlern natürlich erwartet, dass sie ihre Interessen und Fragestellungen politisch und wirtschaftlich ausgesprochen relevanten Problemkreisen zuwenden – wie: der Versorgung mit sauberer Energie, dem Klimawandel, smarterer Mobilität, industrieller Innovation, der Digitalisierung, den Finanzkrisen ... usw. Von der Forschung wird vielfach geradezu ein gesellschaftlicher „Impact“ erwartet. In der Forschung ist aber eine Grenzziehung zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Arbeit praktisch nicht möglich. Sehr bemerkenswerte Beispiele dafür liefern die in diesem Heft dargestellten vielbeachteten wissenschaftlichen Ergebnisse aus den beiden aktuell aktiven Sonderforschungsbereichen (SFB) 799 und 920 an unserer TU (Beiträge von Biermann et al. sowie Aneziris et al.; Schwarze). Zahlreiche erfolversprechende Forschungsaktivitäten mit Einbezug auch industrieller Maßstäbe haben zu einer wachsenden Zahl von Unternehmensausgründungen aus der TU Bergakademie geführt (Dornich; Fröhlich et al.). Das Recycling von Produkten zur Schließung von Stoffkreisläufen sowie – mit wachsender Bedeutung – auch zur Sicherung einer Rohstoffgewinnung, die auf dem Konzept „Wertstoffchemie/wertstoff-chemische Verfahren“ basiert, rückt

immer stärker in den Fokus der Forschungen an unserer Universität (Fröhlich/Bertau). Diese Entwicklung wird intensiviert durch die fruchtbare Kooperation mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (Reuter). Neue Impulse zur Rohstoffgewinnung mittels alternativer Technologien im Bergbau erbringt nicht zuletzt auch das durch die Krüger-Stiftung großzügig geförderte Biohydrometallurgische Zentrum (BHMZ) – ein hochinnovatives Projekt auf breit angelegter interdisziplinärer Basis und einem an Perspektiven reichen Qualifizierungsfeld für zahlreiche Doktoranden (Schlömann, Frisch). Die ausgedehnten Aktivitäten auf Teilgebieten der Profilsäule „Energie“ unserer Ressourcen-Universität manifestieren sich in diesem Heft anhand der Beispielfelder „Gastechnik“ (DBI-GTI: (Krause), „Vernetzte energieautarke Geschäftsmodelle“ (Leukefeld) sowie „Virtuelles Kraftwerk - ... Energy Lab 4.0“ (Rehkopf). Die dem Kreis der wirtschaftswissenschaftlichen Disziplinen entstammenden Beiträge vermitteln interessante spezifische Einblicke in die zur Natur- und Technik-Analyse alternative Art der „Sicht auf die Welt“ – gestützt u. a. auf Korrelationen, auf der Logik von Modellbildungen sowie auf den kontrollierten Einsatz von Vermutungen (Horsch, Rübhelke, Stumpf-Wollersheim, Jaeckel).

Dem Engagement von Frau Dr. Erika Pohl-Ströher verdanken unsere Universität und die Stadt Freiberg mit der „terra mineralia“ und der „Mineralogischen Sammlung Deutschland“ zwei der attraktivsten und wissenschaftlich wichtigsten Sammlungen der Welt. In die Freude über die breite, fruchtbare Weiterentwicklung der einschlägigen Sammlungsaktivitäten (Massanek, Kehrer, Heide et al.), die ihren Ausdruck sowohl im Zugewinn an neuen, wertvollen Objekten als auch in deren zügiger, objektgenauer Digitalisierung findet, mischen sich die Trauer über den Tod und die dankbare Erinnerung an die freundliche, bescheidene und großzügige Persönlichkeit von Erika Pohl-Ströher – an die so noble Ehrensenatorin und Ehrendoktorin unserer Universität (Unland). Als Institution des Lernens strahlt unsere weltoffene Universität international intensiv aus – erkennbar an der großen Zahl internationaler Studierender und zahlreicher Doppel-Abschlüsse des Studiums in Kooperation mit ausländischen Universitäten. Das Redaktionskollegium dankt allen Autoren, die mit ihren Beiträgen das Anliegen dieses ACAMONTA-Bandes unterstützt haben.

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

Geleitwort des Vereinsvorsitzenden (H.-F. Schramm)	4	Spieltheoretische Modellierung globaler Umweltprobleme (K. Pittel, D. Rübhelke, S. Otte)	71
Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg		Freihandelsabkommen aus rechtlicher Sicht (L. Jaeckel)	73
Die Universitätsstadt Freiberg – Heimat, Freund und Förderer der TU Bergakademie Freiberg (S. Krüger, C. Kaufhold).....	5	E-Leadership – Ergebnisse einer empirischen Analyse (A. Haufe, J. Stumpf-Wollersheim).....	75
In memoriam Frau Dr. rer. nat. Dr. h. c. Erika Pohl-Ströher – eine persönliche Widmung – (G. Unland)	8	Silicium im Medikament: Die DMSO-Emulsion – ein pharmakologisches Ensemble zur Schmerzbekämpfung (P. Klose, R.-M. Wagner, G. Roewer)	78
Das Deutschlandstipendium als Grundstein der Stipendienkultur und Säule der Begabtenförderung – eine Investition in die Zukunft (V. Bellmann).....	12	Freiberg Instruments – Spezialmesstechnik für Nischenmärkte (K. Dornich)	82
Komplexe Nutzung von Braunkohle: Warum mit Forschungs- expertise aus dem sächsischen Freiberg und der Chemieindustrie in Nordrhein-Westfalen ein ‚New Deal‘ in der Kohlenstoffnutzung gelingen kann (G. van den Berg)	15	Universität aktuell	
Forschung an der TU Bergakademie Freiberg		Interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet der ressourcen- effizienten Formgebungsverfahren (W. Berkel).....	84
Visionen aus Stahl und Keramik – Der Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-ComposiTe“ (H. Biermann).....	17	Die Rolle der Kultur bei der Prävention von Epidemien (A. Böhnisch, M. B. Hinner, D. Geburek).....	86
		IMRE – Überarbeitung eines erfolgreichen Studienprogramms für die Zukunft (J. C. Bongaerts, M. Fröhling, N. Gurita, C. Kawalla)....	87



Der Rio Tinto in Spanien: Die rotbraune Farbe des Wassers entsteht durch Eisen(III)-Ionen. (Siehe Beitrag zum Biohydrometallurgischen Zentrum Freiberg, S. 54–59)

Intelligente Funktionshöhlräume: Keramische Filter für die Metallschmelzefiltration – Ein Beitrag zu Zero Defect Materials (U. Fischer, S. Dudczig, C. G. Aneziris)	33	Das Geoökologie-Studium an der TU Bergakademie Freiberg (J. Matschullat)	91
Panta rhei: Strömungsmechanik in den Profillinien der TU Bergakademie Freiberg (R. Schwarze).....	37	20 Jahre Angewandte Naturwissenschaft: Blick zurück – und in die Zukunft (J. Kortus).....	93
Ökonomische Konsequenzen von Ölpreisschwankungen (A. Horsch, S. Hundt, D. Schlothmann).....	39	Der Studiengang Umwelt-Engineering an der TU Bergakademie Freiberg (K. Sichone).....	95
Das An-Institut DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg – Forschung für die Energieversorgung der Zukunft (E. Schemmel, H. Krause)	41	Zehn Gründe, aus denen du nicht Mathe studieren solltest (E. Stützer)	99
Vernetzte Energieautarkie (T. Leukefeld)	45	Großes Kino an der Bergakademie – Die Otto Awards (D. Geburek)	100
Das Virtuelle Kraftwerk (Energy Lab 4.0) der TU Bergakademie Freiberg (A. Rehkopf, S. Schwarz)	48	60 Jahre EU – 30 Jahre ERASMUS (I. Lange).....	101
Das Biohydrometallurgische Zentrum Freiberg der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung (M. Schlömann, G. Frisch)	54	Dr. Erika Krüger ist neue Ehrensenatorin der TU Bergakademie Freiberg	104
Wertstoffchemie – ein in Freiberg geprägter Begriff revolutioniert die Rohstoffgewinnung (P. Fröhlich, J. Eschment, M. Bertau).....	60	Chile-Haus Freiberg seiner Bestimmung übergeben (B. Seidel-Bachmann).....	105
Chancen und Grenzen der Circular Economy: Wie recycelbar sind Mobiltelefone? (M. Reuter, A. Weigl)	65	Einige Splitter zur architektonischen Umsetzung des Forschungsbaus (D. C. Meyer, T. Lemser).....	107
PARFORCE – Eine flexible, innovative Technologie zur Phosphorsäuregewinnung und zum Phosphorrecycling (P. Fröhlich, G. Martin, R. Lohmeier, J. Eschment, M. Bertau).....	68	Millionen für eine sichere Mensa (Th. Schmalz).....	108
		Die Sammlung Ulrich Lipp in Freiberg (A. Massanek, G. Heide)	109
		Überwältigende Resonanz auf internationalen Fotowettbewerb – Sprachlehrer und -studenten gestalten Unterrichtsräume bunter und attraktiver (K. Bellmann, B. Seidel-Bachmann).....	112

Drei Bereiche der Geowissenschaftlichen Sammlungen online verfügbar (J.-M. Lange, C. Kehrer, G. Heide)	114	Was zählt der Prophet im eigenen Land ... Zum 200. Todestag von Abraham Gottlob Werner (1749–1817) (A. Kugler-Kießling)	147
Wenn Sammlungen ihren Dornröschenschlaf beenden dürfen (A. Kugler-Kießling, S. Kandler).....	114	Ein Werner-Porträt in Paris (D. Stoyan, R. Volkmer, A. Wulkow)	148
Sachsen hebt seine Schätze – Abschlusskolloquium zum Projekt ROHSA 3.1 (P. Tschernay, C. Kehrer, G. Heide)	115	Bergjurist und Bergrechtslehrer Paul Martin Kreßner (M. Mücke)	149
Rohstoffindustrie in Mosambik: Chancen und Herausforderungen (M. Goedecke, C. Drebenstedt)	116	Professor Dr. Richard Hunger zum Gedenken anlässlich seines 60. Todestags (R. Vulpius).....	150
Das Laufteam der TU Bergakademie verbindet Ausdauersportler aller Fakultäten (C. Oertel).....	122	Werner Gimm 1917–1977 zum Gedenken anlässlich seines 100. Geburtstags (G. P. Rosetz, A. Krauß).....	151
Aus dem Vereinsleben		Wilhelm August Lampadius zum Gedenken anlässlich seines 175. Todestags (G. Grabow).....	152
Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2016 (H.-J. Kretzschmar)	124	Der erste Chinese kam zehn Jahre früher – und war (k)ein Japaner (H. Chen-Konietzky, B. Seidel-Bachmann, R. Volkmer)	153
Diamantenes Diplom erstmals an der TU Bergakademie Freiberg verliehen – Erfolgreiche Arbeit des Freiburger Alumni Netzwerks (S. Preißler, C. Bornkamp)	127	Zum Tod von Dr.-Ing. Helmut Routschek (1934–2016) (P. Hauschild)	154



Historischer Freiburger Gelehrtenzug nun vollständig: Weitere vier Figuren berühmter Freiburger Gelehrter komplettieren die Reihe kleiner Kunstwerke, geschaffen vom Seiffener Kunsthandwerker Siegfried Werner (Näheres siehe im Beitrag zu Vereinsaktivitäten 2017 auf Seite 125; zu beziehen: www.werner-seiffen.de).

Optimierung eines innovativen Quenchdesigns mit integrierter CO-Konvertierung (P. Rößger)	129	Personalia	
Untersuchung der spannungs- und verformungsinduzierten Martensitbildung in einem hochlegierten Stahl mit 30 % Nickel (E. F. Sandig)	130	Neue Professorin und Professoren berufen.....	155
Defect engineering in transition metal based nitride thin films by energetic treatment during deposition (C. Wüstefeld)	132	Geburtstage unserer Vereinsmitglieder	155
Domination in graphs with application to network reliability (M. Dod)	134	Zum 70. Geburtstag – Prof. Horst Brezinski (D. Slaby)	158
Exkursion des Instituts für Experimentelle Physik zum Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY und zum European XFEL in Hamburg (F. Meutzner)	136	Der Ehrenbürger unserer Universität, Siegfried Flach, wurde 90 Jahre alt (A. Massanek, M. Gäbelein, G. Heide).....	159
Tauchen für die Wissenschaft (R. Stanulla)	138	Günter-Heinisch-Stiftung erwirbt wertvolle Silberstufe für die Geowissenschaftlichen Sammlungen (A. Massanek, D. Leonhardt, G. Heide).....	160
Exkursion des Instituts für Geologie in den Westen der USA – Freiburger Master-Geologen entdecken die Wunder der Rocky Mountains (S. Reimann)	140	Nachruf auf Prof. Dr. rer. nat. Otfried Wagenbreth (H. Albrecht)...	161
Historie		Nachruf auf Prof. Klaus Hein (H. Bombach)	162
Chronik 2018 (R. Volkmer)	141	Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Lange † (M. John)	163
Moritz Hochschild (1881–1965) (M. Düsing).....	142	Dr. Ludwig Müller † (G. Jäckel)	164
An der Bergakademie zu Gast – Das Besucherbuch der Bergakademie Freiberg (A. Wulkow).....	144	Nachruf auf Ursula Schneider.....	164
		Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder	164
		Dr. Heinrich Douffet † (U. Richter, U. Thiel)	165
		Buchrezension	
		Thomas Morel: Von der akademischen zur praktischen Mathematik (1765–1851) (D. Stoyan)	
		Autorenverzeichnis und Impressum	168



Liebe Leserinnen und Leser,

seit fast zweieinhalb Jahrzehnten gibt der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., in den letzten zwölf Jahren unter der kompetenten Redaktionsleitung von Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, die nun in neuester Ausgabe vorliegende Zeitschrift ACAMONTA heraus.

Die ACAMONTA ist zur Visitenkarte unserer Ressourcenuniversität geworden. Sie informiert alljährlich über die weitreichenden Aktivitäten und Geschehnisse an der Hochschule und bildet ein vielbeachtetes Medium zur Kontaktpflege mit allen unserer Bergakademie in Sympathie verbundenen Menschen.

Über 1.300 Mitglieder weltweit gehören unserem Verein der Freunde und Förderer an. In der vergangenen Jahresmitgliederversammlung wurde ich zum Vorsitzenden dieser starken Vereinigung gewählt. Ich lebe seit 16 Jahren in Freiberg und bin beruflich als Vorsitzender des Vorstands der Sparkasse Mittelsachsen tätig. Ehrenamtlich engagiere ich mich u. a. als Vorsitzender des Beirats des Geokompetenzzentrums Freiberg e. V. Zudem wirke ich aktiv in den Kuratorien der unserer Universität nahestehenden Heinisch-Stiftung sowie der Sparkassen-Stiftung zur Förderung der TU Bergakademie Freiberg mit.

Als Repräsentant der heimischen Wirtschaft sehe ich einen Schwerpunkt unserer weiteren Vereinsarbeit in einer noch stärkeren Verknüpfung der TU Bergakademie mit der Industrie. Neben diesbezüglich zielgerichteten Angeboten an innovationsfreudige Unternehmen gehört hierzu selbstverständlich auch die konsequente Fortführung der systematisierten Alumniarbeit unserer beiden Alumnibeauftragten. Mit dem bereits im Jahr 2003 ins Leben gerufenen „Freiberger Alumni- Netzwerk (FAN)“ verfügen wir über eine moderne Plattform, die es ehemaligen Kommilitonen leicht macht, über eine Datenbank weltweit in Verbindung zu bleiben und unseren zweimal im Jahr erscheinenden Newsletter TUALBUM in deutscher oder englischer Sprache zu beziehen. Die außerordentlich gute Resonanz auf ein im Sommer dieses Jahres im Zusammenhang mit der Nacht der Wissenschaft veranstaltetes Alumnitreffen ist ein eindrucksvoller Beleg für den Erfolg unserer Netzwerksaktivitäten.

Gerne werden wir die TU Bergakademie Freiberg fördernd dabei begleiten, sich weiterhin zukunftsweisend auszurichten. Wir freuen uns in diesem Zuge, in dieser ACAMONTA-Ausgabe über zwei Sonderforschungsprojekte berichten zu können.

Ein bedeutendes Projekt liegt zudem in der Fortentwicklung des „EIT Raw Materials – Regional Center Freiberg“. Dieses ermöglicht es, in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie innovative Weiterbildungen für Fachleute im Rohstoffbereich anzubieten. Die Kurse bieten Expertise aus allen Bereichen des Wissensdreiecks – Industrie, Forschung und Bildung. Das Ziel ist es, neben der Kompetenzgewinnung und dem Wissenstransfer auch den Blick auf Zukunftsherausforderungen und den Wettbewerbsdruck hinsichtlich Trends und neuer Technologien im Rohstoffsektor zu lenken.

Von außen sichtbare Zeugnisse des Fortschritts unserer Universität sind die bereits begonnenen Neubauten des Hörsaals am Schloßplatzquartier, der Universitätsbibliothek sowie des Zentrums für effiziente Hochtemperaturstoffumwandlung.

Die Internationalisierungsstrategie unserer TU Bergakademie spiegelt sich u. a. in der Neueröffnung des mit großzügiger Unterstützung der Dr. Erich-Krüger-Stiftung entstandenen Chile-Hauses am 19. Oktober 2017 wider. Es ist uns eine Ehre und Freude zugleich, der Krüger-Stiftung am 5. Dezember 2017 im Rahmen einer Feierstunde zum 10-jährigen Jubiläum gratulieren zu dürfen.

Wir laden Sie herzlich ein, die weitere Entwicklung unserer Ressourcenuniversität interessiert zu verfolgen und an ihrer Zukunft aktiv mitzuwirken. Der Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie e. V. bietet Ihnen eine ausgezeichnete Plattform dafür.

Prof. Hans-Ferdinand Schramm
Vorsitzender Verein Freunde und Förderer
der TU Bergakademie e. V.

Die Universitätsstadt Freiberg – Heimat, Freund und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

Sven Krüger, Carolin Kaufhold

Mit dem Titel „Universitätsstadt“ sind die Begriffe „Universität“ und „Stadt“ seit 2015 nunmehr offiziell miteinander verschmolzen. Als eigenständige Institutionen arbeiten beide seit über 100 Jahren eng zusammen. Die Stadt Freiberg mit der berühmten TU Bergakademie in ihren Mauern ist stolz, Sitz einer derart besonderen, bundes- und sogar weltweit anerkannten Lehr- und Forschungseinrichtung zu sein. Sie unterstützt daher deren Entwicklung sowohl materiell als auch immateriell. Diese Tradition der Kooperation zum beiderseitigen Vorteil wurde mit den Stadtratsbeschlüssen zum Wissenschaftskorridor in diesem Jahr auf eine neue Stufe gestellt.

Die Rolle der Universität im städtischen Gefüge

Die Verbundenheit zwischen der Stadt Freiberg und der TU Bergakademie Freiberg ist vielfältiger Natur. Bedeutende Persönlichkeiten der Bergakademie prägten nicht nur die Geschichte der Universität, sondern prägen bis heute unser Stadtbild. Das zeigen viele der Gebäude- und Straßennamen – denken wir nur an den Karl-Kegel-Bau, die Merbach-, die Winkler- oder die Lampadiusstraße.

Die TU Bergakademie Freiberg hat für die Stadt eine herausgehobene Bedeutung. Dank ihrer und allem, was ihre Entwicklung in den letzten 250 Jahren hervorgebracht hat, ist Freiberg mit anderen sächsischen Städten dieser Größenordnung nicht vergleichbar. Schon vor über 200 Jahren (1807) notierte Abraham Gottlob Werner dazu:¹ „Endlich siebentens muss ich auch noch eines minder bedeutenden Vortheils derselben [der Bergakademie] gedenken. Es ist die Nahrung und der GeldGewinn, welchen sie der Stadt Freiberg verschafft, und welcher sich jährlich auf mehrere tausend Thaler, ja in den vorherigen ruhichen Zeiten, wo sie viel stärker als jetzt blühte, und wo aus den meisten Reichen Europens mehrere angesehene Fremde immer zugleich hier studierten, auf viele tausend Thaler erstreckt hat. Freiberg, den 16ten Debr 1807.“

Werners Deutung hat Bestand: Die Universität ist bis heute Anziehungspunkt für Studenten, aber auch für Unternehmen. Sie bereitet in unserer Stadt einen vorzüglichen Nährboden für weitere, fachlich artverwandte Forschungsinstitute und Forscher. Neben der Universität sind es heute vor allem technologieorientierte Unternehmen, von deren Steuern und Ansehen Freiberg profitiert. Das Steueraufkommen in unserer Stadt überstieg mehrere Jahre lang den sächsischen Durchschnitt um zirka 50 Prozent. In Einzeljahren wurden – im bundesdeutschen Vergleich gesehen – Spitzenwerte erzielt. Unser aktuelles Investitionsvolumen ist vergleichbar mit dem einer ähnlich großen bayrischen Kommune. Die herausgehobene Stellung Freibergs ist sicherlich zu Teilen – sowohl direkt als auch indirekt – auf die

1 UAF, OBA 447 Bl. 233.



Foto: Dieder Müller

Universität zurückzuführen. Hier schließt sich der Kreis: Die TU Bergakademie Freiberg profitiert wiederum ihrerseits davon. Die Stadt ist daher stets bestrebt, der TU von ihrer Ausstrahlung etwas zurückzugeben.

Freund und Förderer aus Tradition

In der Geschichte der Universität zeigt sich mehrfach, wie die Stadt als Freund der Universität deren Entwicklung fördert und ihr den Weg zu ebnen hilft. Exemplarisch seien hierfür fünf Beispiele aus der Geschichte genannt.

1733. Als der Mineraloge Johann Friedrich Henckel ein Forschungslabor errichten wollte, überließ ihm die Stadt für einen passablen jährlichen Zins ein Grundstück in der Fischergasse.² Das Labor, das später abbrannte, stand auf dem Gelände des heutigen Lomonossow-Hauses und war auch Forschungsstätte dieses russischen Universalgelehrten.³

1911. Um den Bau des Mineralogisch-Geologischen Instituts der Bergakademie zu ermöglichen, wurde zwischen der Stadt Freiberg und dem Königreich Sachsen ein Abkommen zur Schenkung von Flurstücken in der Brennhausgasse geschlossen. Die Stadt Freiberg wollte damit die Rolle der hier ansässigen Universität im Königreich stärken und auf den Rückgang der Zahl der Arbeitsplätze infolge der Einstellung des Erzbergbaus während der Zeit des Ersten Weltkriegs reagieren.⁴ Zwischen dem damaligen Rektor der Bergakademie, dem Finanzminister des Königlichen Finanzministeriums und dem Oberbürgermeister der Stadt Freiberg gab es einen regen Briefverkehr zu den verfügbar zu machenden Flurstücken und zur inhaltlichen Ausgestaltung des Vertrags. Mit dem Kaufvertrag vom 26. August 1912 überließ Freiberg dem Freistaat letztendlich ein Grundstück von 2.710 qm für ein Mineralogisch-Geologisches Institut.⁵ Die große Bedeutung dieses Baus für die Stadt und die Bergakademie wird vor allem in einem ersten Vertragsentwurf deutlich: „Der Staatsfiskus wird als Gegenleistung hierfür im Hinblick auf das Interesse, das die Stadtgemeinde Freiberg an der Erhaltung der dortigen Königlichen Bergakademie und jetzt gerade daran hat, daß die anlässlich der Einstellung des staatlichen Erzbergbaus entstandenen nachteiligen Gerüchte durch Tatsachen widerlegt werden, in den Jahren 1912 und flgde, im übrigen nach seinem freien Ermessen einen Erweiterungsbau der Bergakademie errichten.“⁶ Nach der

2 Heute Fischergasse 41/43

3 Vgl. Ratsprotokoll 1729-1733, Stadtarchiv Freiberg I Ba 136, Eintrag 720 (5) und 794 (3).

4 Akten des Stadtrats zu Freiberg, die Beschaffung eines Bauplatzes für den Erweiterungsbau der Königlichen Bergakademie, ergangen 1911, Stadtarchiv Freiberg I IX 183

5 Kaufvertrag vom 26.08.1912, Stadtarchiv Freiberg, I IX 183, fol. 310

6 Akten des Stadtrats zu Freiberg, die Beschaffung eines Bauplatzes für den Erweiterungsbau der Königlichen Bergakademie, ergangen 1911,

Bewilligung durch den Sächsischen Landtag und das Königlich-Sächsische Finanzministerium konnte man 1912 bereits den Grundstein für den heutigen Abraham-Gottlob-Werner-Bau in der Brennhausgasse 14 legen.

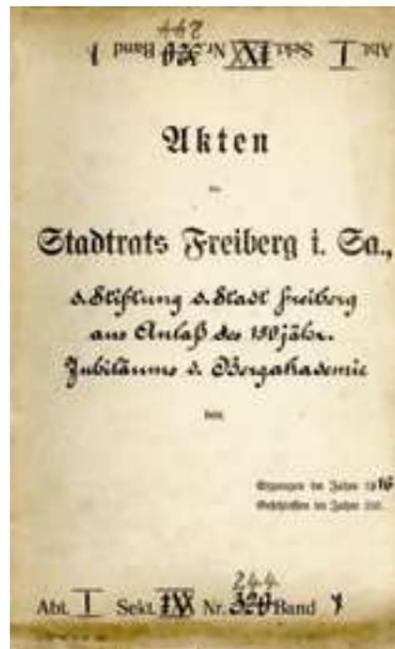
1915. Anlässlich der 150-Jahr-Feier der Bergakademie gründete die Stadt Freiberg eine Stiftung mit dem Titel „Jubiläumsstiftung der Stadt Freiberg für die Königliche Bergakademie Freiberg“. Über eine Laufzeit von 50 Jahren verpflichtete sich die Stadt, beginnend ab 1916 jährlich 1.000 Mark in die Stiftung einzuzahlen. Davon sollten 600 Mark jährlich für Stipendien, Beihilfen, Lehrmittel etc. zur Verfügung stehen. Der andere Teil sollte auf 50 Jahre angespart und dann für ähnliche Zwecke ausgeschüttet werden.⁷

Vor dem Hintergrund der damals grassierenden Inflation beschloss der Stadtrat im Januar 1929, durch jährliche Zuwendungen das Stiftungsvermögen auf 5.000 Reichsmark aufzufüllen und diese dann auszuschütten. Bereits im März 1939 war das anvisierte Ausschüttungsvolumen der Stiftung erreicht. Das Geld und auch die Vorstandsfunktion sollten

nun in die Hände des Rektors bzw. der Bergakademie übergehen. Nach der Übertragung des Geldes schrieb im April 1940 der damalige Rektor, Franz Brenthel, an den Oberbürgermeister: „Ich bestätige den Empfang des Vermögens der Jubiläums-Stiftung der Stadt Freiberg für die Sächsische Bergakademie Freiberg in Höhe von 5 209,08 RM und nehme die Gelegenheit wahr, Ihnen, Herr Oberbürgermeister, und der Stadt Freiberg für diese Stiftung, welche die Verbundenheit der Stadt mit ihrer Hochschule lebendig zum Ausdruck bringt, herzlichst zu danken“⁸

Am 1. Juni 1940 trat eine neue Stiftungssatzung in Kraft. Der Rektor der Bergakademie wurde Vorstand. Während des zweiten Weltkriegs und auch später in der DDR verfolgte man die Stiftungsidee nicht weiter. Anlässlich des 250-jährigen Jubiläums der Bergakademie war die Stadt Freiberg bestrebt, diese Stiftung neu aufzulegen. Aus rechtlichen Gründen blieb ihr das aber bisher verwehrt.

1917. Als die „Braunkohlestiftung an der Königlichen Bergakademie Freiberg“ errichtet wurde, erwarb auch die Stadt Freiberg mit einmalig 10.000 Mark eine Mitgliedschaft. Die Stadt hatte erhebliches Interesse daran, die Forschungs- und Lehrtätigkeiten zum Thema Braunkohle durch eben diese Stiftung in Freiberg gezielt zu fördern. Um die Braunkohleforschung darüber hinaus zu begünstigen, stellte die Stadt Freiberg unentgeltlich einen Bauplatz für die Errichtung eines Braunkohleforschungsinstituts zur Verfügung. Aus einem Brief des ehemaligen Rektors, Prof. Carl Schiffner, an den damaligen Oberbürgermeister Haupt vom 7. Oktober 1918 geht hervor, dass die Bergakademie bezüglich der Errichtung eines derartigen Forschungsinstituts im Wettstreit mit der heutigen TU Dresden stand. Um die Chance für eine Entscheidung zugunsten Freibergs zu erhöhen, bat der



Jubiläumsstiftung der Stadt Freiberg für die Königliche Bergakademie Freiberg. Deckblatt und letzte Seite der Stiftungssatzung von 1916

Rektor darum, schnellstmöglich einen geeigneten Bauplatz für das Institut zur Verfügung zu stellen.⁹ Schon einen Monat später konnte der Oberbürgermeister drei Bauflächen anbieten. Die Wahl des Sächsischen Finanzministeriums fiel auf ein Grundstück an der Leipziger Straße mit einer Größe von 26.500 qm. Der Neubau erhielt den Namen „Karl-Kegel-Bau“ und konnte 1924 bezogen werden.

1949. Um den Neubau eines Elektrotechnischen Instituts zu verwirklichen, beantragte die Bergakademie die kostenlose Übereignung eines 3.670 qm großen Grundstücks an der Leipziger Straße. Der Rat der Stadt Freiberg und die Stadtverordneten stimmten diesem Vorschlag im September 1949 einstimmig zu. Eine diesbezügliche Schenkungsurkunde wurde in der Stadtverordnetenversammlung am 7. Oktober 1949 anlässlich der Ehrung der Nationalpreisträger Prof. Dr. Kegel und Dr. Fleischer ausgehändigt.¹⁰ Der geplante Neubau wurde aber nie verwirklicht.

2010. Am 13. August 2010 wurde im Schloss Freudenstein ein dreiseitiger Vertrag zwischen dem Freistaat Sachsen, der TU Bergakademie und der Stadt Freiberg unterzeichnet, in dem sich die Vertragsparteien zur Entwicklung eines Wissenschaftskorridors im Gebiet um den Schloßplatz verpflichten. Ziel der Vereinbarung ist die Belebung der Innenstadt Freibergs durch stärkere Einbindung bzw. bewusste Integration der TU in das Zentrum der Stadt. Diese bezuschusst daher gemäß dem Abkommen die Entwicklung des Wissenschaftskorridors mit insgesamt 3,88 Millionen Euro. Diese Summe erbringt die Stadt in Form finanzieller Zuschüsse zu den Investitionen des Freistaats und zudem durch Bereitstellung der für die Baumaßnahmen erforderlichen Grundstücke.¹¹

9 Akten des Stadtrats zu Freiberg, die Braunkohlestiftung und das Braunkohlen-Forschungsinstitut b. d. Bergakademie, ergangen 1917, Stadtarchiv Freiberg I IX 251, S. 50–51.

10 Rat der Stadt Freiberg, Stadtverordnetenversammlung 1946–1950, Stadtarchiv Freiberg, RdS 955.

11 Vgl. Dreiseitige Vereinbarung Schloßplatzquartier vom 13. August 2010.

Wissenschaftskorridor – Eine neue Stufe der Zusammenarbeit

2017. In diesem Frühjahr wurde die „Campuserweiterung des Wissenschaftskorridors“ durch den Stadtratsbeschluss zum vorhabenbezogenen Bebauungsplan vom 12. Januar 2017 institutionalisiert. Dem war eine jahrelange Abstimmung zwischen der Bergakademie, der Stadt und dem Freistaat vorangegangen – mit der Intention, die städtebaulichen Ziele und Planungsinteressen aller Beteiligten im Rahmen einer ganzheitlich abgestimmten Planung in Einklang zu bringen. Das städtebauliche Entwicklungskonzept Freibergs musste umformuliert werden, um damit die Grundlage für Fördermittelanträge an die Programme des städtebaulichen Denkmalschutzes und des Stadtumbaus Ost zu schaffen, von denen alle Seiten profitieren sollten.

Der Stadtrat Freibergs stimmte am 1. November 2007 der Entwicklung des „Quartiers Schlossplatz/Prüferstraße/Burg-/Wallstraße“ zu und beschloss die Aufnahme dieser Maßnahme in das städtebauliche Entwicklungskonzept (SEKo) Freiberg 2007–2020. Danach folgte der Stadtratsbeschluss zur Aufnahme des Gebiets „Wissenschaftskorridor“ in das Bund-Länder-Programm Stadtumbau Ost vom 4. Juni 2009, in dem die Flächen für das Aufwertungsgebiet klar umrissen waren bzw. sind.

Der Bund, der Freistaat und die Stadt Freiberg sollten sich zu je einem Drittel an den Investitionskosten beteiligen. Damit stimmte der Stadtrat einer städtischen Investition in Höhe von insgesamt 450.000 Euro zu. Die damit zu finanzierenden Investitionsmaßnahmen sollten der Vorbereitung des Stadtumbaus, dem Grunderwerb durch die Stadt einschließlich der Nebenkosten sowie der Realisierung der notwendigen Ordnungs-, Bau-, Sicherungs- und sonstigen Maßnahmen dienen.

Ein ursprünglich vorgesehener Ideenwettbewerb zur Gestaltung des Wissenschaftskorridors wurde durch die Erstellung eines städtebaulichen Rahmenplans ersetzt. Wieder arbeiteten Vertreter der TU Bergakademie Freiberg, des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements, des Studentenwerks, des beauftragten Architekturbüros und der Stadt Freiberg zusammen, um den vom Stadtrat beschlossenen Gestaltungszielen gemäß Rahmenplan Rechnung zu tragen.

Zur Erweiterung des Wissenschaftskorridors für Forschung und Lehre überließ die Stadt drei ihrer Grundstücke mit einer Gesamtgröße von über 60.000 qm in bester Innenstadtlage der Bergakademie bzw. dem Freistaat.¹² Damit einher ging für die Stadt der kurzfristige Ankauf von bzw. die Suche nach Ersatzflächen für die veräußerten Liegenschaften.

Zusätzlich betätigte sich die Stadt als Mittler zwischen dem Freistaat und privaten Grundstückseigentümern, deren Flächen für den Ausbau des Wissenschaftskorridors erworben werden mussten. Durch ihre Beteiligung an der Städtischen Wohnungsgesellschaft, die im Planungsgebiet Eigentümer von Grundstücken war, konnte die Stadt einen reibungslosen Grundstückserwerb ermöglichen.

Der Geltungsbereich des aktuellen vorhabenbezogenen Bebauungsplans „Campuserweiterung am Wissenschaftskorridor“ enthält Planungen auf einem Gebiet von 2,25 ha der Gemarkung

12 Der Wert der Grundstücke ist kein Bestandteil der o. g. 3,88 Mio. Euro, mit denen die Stadt die Entwicklung des Wissenschaftskorridors bezuschusst. Der Vertrag wurde mit dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (kurz SIB) abgeschlossen, das mit dem Kauf und der Entwicklung der Liegenschaften betraut wurde.

Freiberg. Auch der Flächennutzungsplan der Stadt musste entsprechend angepasst werden.

Der vorhabenbezogene Bebauungsplan richtet sich an den Vorgaben des städtebaulichen Entwicklungskonzepts aus. Dieses macht deutlich, dass die Verbindung zwischen Universität und Stadt heute auf einer neuen Ebene der Zusammenarbeit angekommen ist. Die vom Rathaus aus gesteuerte Stadtentwicklung richtet sich gewiss nicht zuletzt an den Entwicklungszielen und -bedürfnissen der bei uns beheimateten Universität aus.

Eine Kernaussage des Städtebaulichen Entwicklungskonzepts lautet: „Die Schaffung von Rahmenbedingungen für die Stärkung des Universitätsstandorts der TU Bergakademie Freiberg als größter Arbeitgeber und Impulsgeber für den Wirtschaftsstandort Freiberg besitzt eine hohe Priorität.“¹³ Dabei geht das städtebauliche Entwicklungskonzept noch einen Schritt weiter:

„Auch zukünftig ist die Entwicklung der TU BAF von großer Bedeutung für die Stadt Freiberg, erhöht sie doch wesentlich Attraktivität und Anziehungskraft des Standorts für Industrieinvestitionen. [...] Die weitere Unterstützung der Entwicklung der TU BAF – einschließlich der Rekonstruktion des Campus und der Schaffung neuer Forschungs- und Entwicklungskapazitäten – wird als wesentliche Grundlage für die Stadtentwicklung bewertet.“¹⁴

Die Universitätsstadt

Seit ihrer Gründung hat die Entwicklung der Universität einen hohen Stellenwert für die der Stadt. Der Oberbürgermeister und die Stadträte unterstützen die Entwicklung dieser Landeseinrichtung materiell und auch immateriell – in Form von finanziellen Zuschüssen, des Verkaufs oder der Überlassung von Grundstücken oder durch die Schaffung von Rahmenbedingungen für Bau und bauliche Veränderungen.

Aus dem Schriftverkehr zwischen den Oberbürgermeistern und Rektoren unserer Stadt spricht immer ein freundlicher und wertschätzender Ton. Nach wie vor kann sich die Bergakademie einer Unterstützung durch die Stadt Freiberg stets gewiss sein. Denn die Entwicklung Freibergs wird in hohem Maße von der Entwicklung der Universität beeinflusst. Die Stadt Freiberg stellt dafür die Weichen.

Die Förderung der Universität durch die Stadt wird mit der nun eingeleiteten Entwicklung des Wissenschaftskorridors auf eine neue Ebene gestellt. Die für den Wissenschaftscampus übergebene Fläche ist das größte Areal, das die Stadt bislang für die Erweiterung der Universität zur Verfügung gestellt hat.

Angelehnt an den von Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz geprägten Begriff der Nachhaltigkeit, ist unser städtisches Wirken als eine lang angelegte Investition in die Zukunft der Universität und zugleich auch des Universitätsstandorts zu verstehen. Diese Investition zahlt sich seit Jahrzehnten nicht nur kurz-, sondern langfristig aus und basiert auf dem Zusammenspiel der beiden Institutionen TU Bergakademie und Stadt Freiberg. Diese Tradition der vertrauensvollen und vorausschauenden Kooperation, der schon meine Amtsvorgänger folgten, wird auch weiterhin mein Handeln als Oberbürgermeister der Stadt bestimmen.

13 Städtisches Entwicklungskonzept 2007; S. 191.

14 Universitätsstadt Freiberg: Vorhabenbezogener Bebauungsplan Nr. V020 „Campuserweiterung am Wissenschaftsstandort“ März 2017; S. 10.

In memoriam Frau Dr. rer. nat. Dr. h. c. Erika Pohl-Ströher

– eine persönliche Widmung –

Georg Unland

Ihr Leben

Kurz vor Weihnachten, am 18. Dezember 2016 entschlief Frau Dr. Erika Pohl-Ströher friedlich in ihrem Haus „Maison Trautheim“ in Ferpicloz. Damit verlor nicht nur die Mineralogie eine ihrer weltweit größten und wichtigsten Förderinnen, sondern auch die Technische Universität Bergakademie Freiberg und das Erzgebirge. Ihr Engagement ermöglichte die „terra mineralia“ und die „Mineralogische Sammlung Deutschland“, zwei der attraktivsten und wissenschaftlich wichtigsten mineralogischen Sammlungen Deutschlands und der Welt. Die Übergabe eines großen Teils ihrer Sammlung an die Technische Universität Bergakademie Freiberg regte die Sanierungen des Schlosses Freudenstein und des Krüger-Hauses an, zweier Schlüsselpunkte zur Restaurierung und Revitalisierung der mittelalterlichen Altstadt Freibergs. Ihre Sammlung erzgebirgischer Volkskunst ist heute im Haus „Manufaktur der Träume“ die Attraktion in der wunderschönen Altstadt von Annaberg. Insbesondere zur Weihnachtszeit ist sie Teil des Weihnachtslands Erzgebirge. Eine weitere wichtige Kollektion umfasst Spielzeug und Volkskunst, vornehmlich aus dem Erzgebirge. Zu Ostern und Weihnachten zieht es Zehntausende nach Gelsenau ins Schaudepot, eine ehemalige Betriebsstätte einer Strumpfmanufaktur. Dank ihrer Unterstützung entstand 2016 in Rothenkirchen der „Kultur-Punkt Ströher-Haus“ als Zentrum zur Dokumentation der Ortsgeschichte, wozu auch das Unternehmen Wella gehört.

Aber kommen wir zurück zu ihrem Leben. Erika Pohl wurde am 18. Januar 1919 im sächsischen Wurzen geboren und verbrachte

ihre Kindheit und Jugend in Rothenkirchen. Zeit ihres Lebens blieb dieser Ort und diese Gegend an der Grenze des Vogtlandes zum Erzgebirge ihre Heimat. Selbst Jahrzehnte später hegte sie den Menschen aus diesem Landstrich gegenüber eine besondere Sympathie, insbesondere auch, wenn sie noch den heimischen Dialekt sprachen.

In Rothenkirchen erlebte sie auch den Aufstieg der späteren Firma Wella, die ihr Großvater, der Friseurgeselle Franz Ströher, gegründet hatte. Am 1. Juli 1880 wurde sein Unternehmen unter der Bezeichnung „Franz Ströher-Rothenkirchen, Herstellung und Vertrieb von Haartüll“ beim Amtsgericht Auerbach eingetragen. Das wichtigste Produkt war anfangs ein künstlicher, wasserfester Haartüll, den er selbst erfunden und „Tüllemod“ genannt hatte. Schnell gelangte das Unternehmen zu überregionalem Ansehen und konnte auf internationalen Ausstellungen bereits 1884/85 Medaillen für seine Produkte gewinnen. Im Laufe kommender Jahrzehnte entwickelte sich Wella zu einem weltweit ausgerichteten Unternehmen für Friseurbedarf.

Der Autor dankt Herrn Dr. Thomas Martin und Herrn Dipl.-Min. Andreas Massanek für die Mitarbeit bei der Erstellung des Manuskripts.

Die häuslichen wirtschaftlichen Verhältnisse ermöglichten es der jungen Erika Ströher, Biologie und Chemie in Jena zu studieren und anschließend dort auch im Fach Biologie zu promovieren. Weihnachten 1944 wollte sie ihrem Vater Karl Ströher stolz ihre gerade erworbene Doktorurkunde als Überraschung zeigen, aber er war kurz zuvor von der Gestapo verhaftet und in deren Gefängnis in Plauen interniert worden. Das Jahr 1945 bedeutete persönlich und geschäftlich einen großen Einschnitt. Der Krieg war beendet, das Erzgebirge und das Vogtland von der Sowjetunion besetzt, eine Zäsur, die alle weiteren Entscheidungen der Familie maßgeblich beeinflusst hat. Im Juni 1948, nach Enteignung und durch rechtzeitigen Hinweis vor drohender Verhaftung durch die sowjetische Besatzungsmacht gewarnt,

floh Karl Ströher, seit 1936 zusammen mit seinem Bruder Georg Inhaber der Firma, nach Hessen. In Hünfeld hatten 1945 Mitarbeiter die Firma Ondal gegründet. Schon unmittelbar nach Kriegsende begann Erika Ströher, ausgestattet mit der Vollmacht ihres Vaters, im Süden Deutschlands neue Produktions- und Vertriebsstellen für Wella aufzubauen. Zu ihrem eigenen Bedauern fand sie darüber hinaus aber gegen die von Männern dominierte Unternehmensführung nicht genug Rückhalt bei ihrem Vater, sie stärker in den Wiederaufbau einzubinden. Stattdessen ging sie 1946 als Wissenschaftliche Assistentin nach Göttingen an die dortige Universität, wo sie ihren späteren Mann, Gerhard Pohl, kennen lernte und am 6. März 1948 heiratete. Zwei ihrer fünf Kinder, ihre Tochter und

ihr ältester Sohn, wurden auch in Göttingen geboren. 1951, mit dem Eintritt ihres Mannes in die Firma Wella, wechselten sie ihren Wohnsitz nach Hünfeld, wo ihr zweiter Sohn geboren wurde. Der Aufstieg von Wella zu einem weltweit führenden Unternehmen der Haarkosmetik und des Friseurbedarfs sowie ein attraktives Angebot der Stadt Darmstadt ermöglichten die Verlagerung des Hauptsitzes im Jahr 1950. In Hünfeld verblieb der größte Teil der Produktion, insbesondere der Friseurtechnik. Verantwortlich für das Außenhandelsgeschäft, war Gerhard Pohl bereits in Hünfeld in den Vorstand der Wella berufen worden, dem er bis 1972 angehörte. Anschließend wurde er Mitglied des Aufsichtsrats. 1952 zog die Familie um nach Darmstadt, wo die zwei jüngsten Söhne geboren wurden. Die beiden älteren Söhne trugen später, bis zum Verkauf der Firma Wella im Jahr 2003, als Mitglieder des Aufsichtsrats bzw. des Beirats Verantwortung für das Unternehmen.

Die sich verschärfende politische Situation zu Beginn der 1960er-Jahre („Kubakrise“) und ihre Erfahrungen in der sowjetischen Besatzungszone bewogen die Familie, für kurze Zeit in die Schweiz umzuziehen. Anfang der 1970er-Jahre waren es unternehmensstrategische Gründe, die die Familie Pohl endgültig



Foto: Torsten Meyer

dorthin führten. Zunächst in Avry-sur-Matran und später in Ferpicloz im Kanton Freiburg wurden sie endgültig sesshaft. Hier baute Frau Pohl-Ströher eine der weltweit wertvollsten mineralogischen Sammlungen auf. Ihre früheren Urlaubsreisen, insbesondere in die Alpen, hatten ihr Interesse geweckt, Mineralien zu sammeln. Besonders Namibia wurde schließlich ein Schwerpunkt ihrer Exkursionen. Sie besuchte seit Anfang der 1970er-Jahre mehrere Male dieses Land und stellte die umfangreichste Sammlung der Weltlagerstätte Tsumeb zusammen. Bis zu ihrem Tod komplettierte sie ihre Sammlung nicht nur durch aktuelle Funde in der Welt, sondern auch durch den Erwerb von Stufen klassischer Lagerstätten.

Unsere Treffen

Freundlich, zurückhaltend, bescheiden, humorvoll, großzügig, gutmütig, gastfreundlich, heimatverbunden – so habe ich Frau Dr. Erika Pohl-Ströher kennen und schätzen gelernt. Bis zu unserem ersten Treffen war es aber ein langer Weg.

Die Firma Wella und damit die Eigentümerfamilien Pohl und Ströher waren mir seit meinen Studententagen ein Begriff. Wella gehörte zu den dominierenden Firmen in Darmstadt. In den 1970er-Jahren führte ich Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Friseur- und Medizintechnik für Wella durch. Ein Kontakt bestand zur Eigentümerfamilie natürlich nicht, dafür war meine Tätigkeit doch zu unbedeutend. Aufgrund meiner Hobbies kannte ich die Legenden um eine phantastische Mineraliensammlung. Sie sollte die weltweit beste Privatsammlung sein. Aber keiner hatte sie gesehen. Anfang der 2000er-Jahre lief dann in der Sammler- und Händlerszene das Gerücht um, dass Frau Dr. Pohl-Ströher ihre Sammlung abgeben wolle. Sie stünde schon in Kontakt mit amerikanischen Universitäten. Wiederum wusste aber keiner etwas Genaueres, typischer Klatsch und Tratsch.

Im November 2002 rief mich Herr Rainer Bode an, Herausgeber der Zeitschrift *MineralienWelt* und von mineralogischen Büchern. Er war gerade mit Herrn Dr. Olaf Medenbach bei Frau Dr. Pohl-Ströher, um Fotoaufnahmen für das geplante Buch über die Mineralien Marokkos zu machen. Er gab mir die Empfehlung, Frau Dr. Pohl-Ströher doch einmal anzurufen. Vielleicht könnte auch die Technische Universität Bergakademie Freiberg eine geeignete Institution für ihre Sammlung sein. Ich zögerte zunächst, da wir nicht in der Lage waren, finanziell mit einer amerikanischen Universität in den Wettbewerb zu treten. Zu meiner Überraschung verlief das Telefonat dann aber sehr höflich und harmonisch, und Frau Dr. Pohl-Ströher lud mich ein, ihre Sammlung einmal anzuschauen. Daraufhin fanden viele Gespräche statt, zunächst mit ihr allein und dann auch mit ihren Söhnen. Die Gespräche fanden immer in sehr gastfreundlicher, angeregter und humorvoller Atmosphäre statt. Mittags gab es immer selbstgekochtes Essen, und es wurde viel gelacht. Nach einem Besuch in Freiberg entschied Frau Dr. Pohl-Ströher und ihre Kinder im Jahr 2004, ihre mineralogische Sammlung in eine Stiftung einzubringen und als Dauerleihgabe der Technischen Universität Bergakademie Freiberg zu überlassen.

Ihre Verdienste

Die Dauerleihgabe eines großen Teils ihrer mineralogischen Sammlung ist in mehrfacher Hinsicht ein Glücksfall für die Technische Universität Bergakademie Freiberg. Schon im Gründungsjahr 1765 sollte das Schloss Freudenstein Sitz der Bergakademie werden, aber aufgrund seines desolaten Zustands wurde

das Wohnhaus des Oberberghauptmanns Friedrich Wilhelm von Opper als Keimzelle genutzt. Nahezu 250 Jahre später konnte infolge der Stiftung von Frau Dr. Pohl-Ströher das Schloss saniert und dort die mineralogische Sammlung „terra mineralia“ untergebracht werden. Gleichzeitig erfolgte ein Impuls zur weiteren Entwicklung der Innenstadt von Freiberg. Große Teile der Universität wurden in den Folgejahren in renovierte Gebäude der Altstadt verlagert. Die Familie Krüger erwarb und sanierte das alte Amtshaus, um es für die „Mineralogische Sammlung Deutschland“ herzurichten, die auch die deutschen Exponate der Pohl'schen Sammlung einbezieht. Schloss Freudenstein und das Krüger-Haus sind heute zwei touristische Anziehungspunkte in der mittelalterlich geprägten Altstadt von Freiberg.

Die mineralogische Stiftungssammlung selber ergänzt und erweitert in nahezu idealer Weise die Sammlungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Bis zum Jahr 1990 war es aus politischen Gründen nicht möglich, die seit Mitte des 20. Jahrhunderts neu erschlossenen Fundstellen, insbesondere außerhalb des Ostblocks, zu besuchen, geschweige denn die finanziellen Mittel aufzubringen, mineralogische Exponate zu erwerben. Die Ästhetik und die weltweite Herkunft der gesammelten Stufen ermöglichten es nun, eine mineralogische Weltreise im Schloss zu inszenieren, die neben den Fachbesuchern auch das breite Publikum begeistert. Der Besuch von etwa einer Million Menschen in den Jahren seit der Eröffnung 2008 unterstreicht die Attraktivität der ausgestellten Mineralien.

Ihre Stiftungen, Leihgaben und ihr Engagement in Freiberg, Annaberg, Gelsenau und Rothenkirchen haben diesen Orten, haben dem Erzgebirge einen wichtigen Impuls nach der deutschen Wiedervereinigung gegeben.

Ihre Sammlung

Frau Dr. Pohl-Ströher trug weltweit Mineralien von nahezu allen bedeutenden Fundorten der letzten 50 Jahre zusammen. Wichtige Gesichtspunkte ihrer Sammlung waren die Unversehrtheit, die Ästhetik und die Paragenesen der Stufen. Sie gliederte dabei ihre Sammlung nach Fundorten, Lagerstätten und Ländern. Diese Ordnung wurde auch in die Konzeption der „terra mineralia“ übernommen. Von den vielen 10.000 Stücken übergab sie etwa die Hälfte als Dauerleihgabe der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Nicht nur der Umfang dieser Privatsammlung ist beeindruckend, sondern die einzelnen Teilkollektionen gehören zu den besten in der Welt. Einige davon finden weltweit nichts Vergleichbares. Gerade in der Zurverfügungstellung ihrer Sammlung für die Öffentlichkeit und die Wissenschaft liegt das große Verdienst von Frau Dr. Pohl-Ströher. Einige wenige hervorragende Beispiele seien vorgestellt.

Die Gruben in der Nähe von Dal'negorsk, im fernen Osten Russlands gelegen, sind mit zahlreichen außergewöhnlichen Exponaten von Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit, Pyrrhotin, Calcit, Fluorit, Quarz, Datolith, Hedenbergit oder Ilvait vertreten. Weltweit findet sich keine andere vergleichbare Sammlung dieser Weltklassenlagerstätte, auch nicht in Russland. Ergänzt wird diese Kollektion durch weitere aus den Nachfolgestaaten der UdSSR, wie die aus der kasachischen Eisenerz-Lagerstätte von Sokolovsko-Sarbakskij mit Stufen von Magnetit, Silber, Argentit, Stellerit, Gips oder Calcit oder die der ebenso in Kasachstan liegenden Silber- und Kupfer-Lagerstätten bei Džezkazgan mit gediegenem Silber und Kupfer, sowie Betehtinit und Stromeyerit in herausragender Qualität. Ebenso ist die kasachische Lagerstätte von Akčatau mit Stufen von Credit, Pyrit, Apatit und Fluorit bestens vertreten.

In der Sowjetunion galten Informationen über Lagerstätten als streng geheim, Befahrungen waren nahezu unmöglich. Deshalb unterstützte Frau Dr. Pohl-Ströher die Herausgabe des Buches „Zarenschätze“, das die Geologie und Mineralogie der Lagerstätten der ehemaligen Sowjetunion zum Thema hatte. Es war der erste Band einer Serie der die Sammlungsgebiete der „terra mineralia“ begleitenden Enzyklopädien.

Bei der Gründung des Deutsch-Russischen Rohstoff-Forums am 10. Oktober 2006 in Dresden gelang es Herrn Prof. Dr. Klaus-Ewald Holst, damals Vorstandsvorsitzender der VNG Leipzig, und mir, zwei Exemplare der „Zarenschätze“ unter unseren Bergkitteln durch alle Sicherheitskontrollen zu schmuggeln und unserer Bundeskanzlerin Frau Dr. Angela Merkel und dem russischen Präsidenten Herrn Dr. Wladimir Putin zu überreichen.

Eine weitere Schwerpunktsammlung widmet sich den Gruben von Maramureş im Norden Rumäniens. Die Bergwerke von Baia Mare, Baia Sprie, Băiuţ, Cavnic, Herja oder Turţ lieferten hervorragende Stufen von Galenit, Chalkopyrit, Tetraedrit, Antimonit, Pyrrhotin, Quarz, Rhodochrosit, Calcit, Siderit, usw., aber auch Seltenheiten, wie Semseyit oder Fülöppit. Nicht unerwähnt sein sollen auch die Sammlungen von Rudabánya (gediegen Kupfer, Markasit, Azurit, Malachit) in Ungarn oder aus den französischen Alpen (rosa Fluorit, Bergkristalle, Rauchquarze und Axinit).

Der amerikanische und australische Teil ihrer Sammlung ist vornehmlich durch exzellente Einzelexponate charakterisiert. Erwähnt seien cognacfarbene Calcite auf Sphalerit von der Elmwood Mine, Tennessee, USA und Silberstufen aus Chihuahua/Mexiko aus der Grube San Martin und aus Batopilas. Die Schwerpunkte ihrer Sammelgebiete in Südamerika liegen in Brasilien und Peru. So ist Brasilien mit Edelsteinen, wie Turmalin und Brasilianit aus Minas Gerais oder Bergkristallen und Amethysten von Rio Grande do Sul vertreten. Die polymetallischen Lagerstätten Perus lieferten Spitzenstufen, wie Tetraedrit aus Casapalca im Department Lima, Pyrit und Fluorit von der Grube Huanzala in Huanuco sowie Pyrit und Ferberit aus der Grube Morococha in Julin.

Australien ist berühmt für seine Opalvorkommen. So zieren einige in allen Regenbogenfarben schillernde Edelopal die Ausstellung „terra mineralia“. Außergewöhnliche Krokoit-Stufen kommen aus den Gruben von Dundas, auf der Insel Tasmanien, Australien gelegen.

Ein weiterer Schwerpunkt ihrer Sammlung widmet sich den asiatischen Fundorten. Die Hochgebirge in Afghanistan und Pakistan liefern hervorragende Halb- und Edelsteine. In Afghanistan stammen aus der Provinz Nuristan Turmalin, Morganit und Pollucit von Paprok und Elbait, Morganit und Quarz von Padlok. Die Grube Mawi von Langhman brachte exzellente Elbaite und Kunzit zutage. Von Nagar in Pakistan kommen Aquamarinstufen in Schleifqualität. Pakistan ist auch Fundort interessanter Quarze, wie Skelett- und Fadenquarze aus dem Shigar Tal bzw. von Dara Ismael Khan in Waziristan.



Calcit, Elmwood Mine, Carthage, Smith Co., Tennessee, USA. Inv.-Nr. PoSa47178, Kristall = 7,2 cm hoch

Die indische Teilsammlung umfasst insbesondere Mineralien des Dekkan Trapps, so Apophyllit, Calcit, Cavansit, Chabasit, Chalcedon, Gyrolith, Heulandit, Laumontit, Mesolith, Mordenit, Okenit, Skolezit, Stellerit und Stilbit in hervorragender Ausbildung. Nirgendwo auf der Welt finden sich diese Mineralien in solch einer perfekten Qualität.

In den letzten Jahren stieg China zur weltweit führenden Bergbaunation auf. Zahlreiche Bergwerke wurden erweitert oder neue Lagerstätten erschlossen. Frau Dr. Pohl-Ströher trug die weltweit umfangreichste und ästhetisch ansprechendste mineralogische Chinasammlung zusammen. Selbst in China besteht solch eine Kollektion nicht. Alle bedeutenden Funde der Jahre 1980 bis 2010 sind mit Weltklasseexponaten vertreten. Von Tongbei in der Provinz Fujian stammen Spessartin, Rauchquarz, Helvin, aus den kleinen Eisenerzgruben von Jinlong in Guangdong Helvin, rot gefärbte Quarze mit Hämatitrossetten oder Pyromorphit von Daoping in Guangxi gelegen. Der auf Kupfer- und Eisenerze bauende Tagebau Chengmenshan in Jiangxi lieferte gediegen

Kupfer, Cuprit, Chalkotrichit, Malachit und Azurit, das Bergwerk De'an bei Wushan in der gleichen Provinz Flussspatstufen in allen möglichen Farben und die in der Grenzregion zwischen Guizhou und Hunan liegenden Gruben die weltbesten Zinnoberkristalle. Die Provinz Hunan ist weiterhin durch die auf Pyrit bauende Lagerstätte Shangbao mit interessanten Zepterquarzen und Artischockenquarzen sowie Pyrit und Fluorit vertreten, ebenso durch die Zinngrube Xianghualing, die Scheelit, Calcit und Fluorit förderte und durch die südlich davon liegenden polymetallischen Lagerstätten Xianghuapu und Huangshaping, die durch grüne, transparente Fluorite berühmt wurden. Die ebenso in Hunan liegende Wolframmine Yaogangxian lieferte hervorragende Kristalle von Arsenopyrit, Bournonit, Ferberit, Fluorit, Hübnerit, Scheelit

und Stannin. Die Nachbarprovinz Hubei besitzt mit dem Skarnvorkommen Fengjiashan eine weltberühmte Mineralfundstelle, die mit Apophyllit, Chalkopyrit, Inesit, Pyrit, Quarz und dem Typmineral Hubeit in der Pohl'schen Sammlung vertreten ist. Östlich schließt sich die Provinz Sichuan an, wo aus dem Hochgebirge bei Jinkouhe Quarz und Baryt geborgen wurden. Aus ca. 4500 m Höhe des 5588 m hohen Xuebaoding-Bergmassivs kommen Adular, Aquamarin, Fluorit, Goshenit, Kassiterit, Scheelit und als Seltenheit Kesterit. Als letzte Vorkommen seien noch die Antimonitlagerstätten erwähnt. Die filigranen Antimonitkristalle auf Calcit von Chashan in Guangxi und insbesondere die metergroßen perfekten Kristalle von den Antimonitgruben nahe Qingjiang aus der Provinz Juangxi sind die absoluten Höhepunkte der Sammlung von Frau Dr. Pohl-Ströher.

Ein weiterer Schwerpunkt ihrer Sammlertätigkeit lag in Afrika, hier vornehmlich in Marokko, Südafrika und Namibia. Die marokkanischen Bergwerke in Touissit lieferten mit die weltbesten Anglesite, Azurite, Cerussite, Malachite, Smithonite, Vanadimite und Wulfenite, in Mibladen exzellente Vanadiniten

und die noch im Betrieb befindlichen Gruben von Bou Azzer Wismut-, Nickel- und Kobalterzminerale, wie Skutterudite, Gersdorfit, Erythrin, Roselith, Talmessit und weitere Seltenheiten. Die auf Silber bauende Mine von Imiter fördert gediegen Silber und verschiedene Silberverbindungen, wie Akantit, Proustit, Polybasit oder Stephanit.

Südafrika ist u. a. durch die Mineralien der weltgrößten Manganlagerstätte nahe Kuruman repräsentiert, so durch Rhodochrosit, Sturmanit, Hausmannit, Hämatit, Inesit, Poldervaartit usw. Ihre größte Aufmerksamkeit widmete die Sammlerin Namibia, den Goboboseb-Bergen, dem Brandberg und dem Erongo (Quarz, Amethyst, Rauchquarz, Schörl, Fluorit, Aquamarin), der Okorusu-Mine (Fluorit, Manganomelan), dem Berg Aukas (Descloisit), aber insbesondere Tsumeb. Sie besuchte viele Male diese Stadt, die von deutschen Bergleuten entwickelt wurde. Diese Lagerstätte mit zwei Oxidationszonen lieferte unzählige unterschiedliche Mineralien, wie Azurit, Malachit, Cerussit, Anglesit, Dioptas, Mimetesit, Smithsonit, Cuprit, Tennantit, Germanit und, und, und. Die Verdienste von Frau Dr. Pohl-Ströher für die Mineralogie erfuhren eine besondere Ehrung durch die Bezeichnung „Erikapohlit“ für ein bisher unbekanntes Mineral. Die Typlokalität dieses wasserhaltigen Kupfer-Zink-Calcium-Arsenats $Cu_3(Zn,Cu,Mg)_4Ca_2[AsO_4]_6 \cdot 2H_2O$ ist Tsumeb. Es wurde von Prof. Dr. Schlüter von der Universität Hamburg erstbeschrieben.

Ein letzter Schwerpunkt ihrer Sammlung galt den deutschen Lagerstätten, insbesondere denen ihrer Heimat, des Erzgebirges und des Vogtlands: Silber von der Grube Himmelsfürst, Argentit von der Grube Himmelfahrt, Fluorit aus Annaberg und Schönbrunn, Baryt von Pöhla, Whewellit vom Schacht 371 in Hartenstein. Ausgezeichnete Teilsammlungen umfassen aber auch das Flussspatrevier von Wölsendorf in der Oberpfalz oder die Lagerstätten des Schwarzwalds und des Siegerlandes.

Diese Zusammenstellung reflektiert nur einen kleinen Teil ihrer Sammlung, viele andere Fundstellen werden ebenfalls durch Weltklasse-Exponate repräsentiert.

Ihre Ehrungen

Ihrer Sammlungstätigkeit verdankt die Technische Universität Bergakademie Freiberg zwei der weltweit bedeutendsten geowissenschaftlichen Sammlungen: die „terra mineralia“ im Schloss Freudenstein und die Sammlung deutscher Mineralien im Krüger-Haus. Die Technische Universität Bergakademie Freiberg hat Frau Dr. Erika Pohl-Ströher deshalb die höchste universitäre Auszeichnung, die Ehrensatorwürde, am 18. November 2005 verliehen. 2008 erhielt sie für ihre Leistungen auf dem Gebiet der Geowissenschaften die Ehrendoktorwürde der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau.

Ebenso verlieh ihr 2005 der Sächsische Ministerpräsident Prof. Dr. Georg Milbradt den Sächsischen Verdienstorden, und der Freiburger Oberbürgermeister Bernd-Erwin Schramm überreichte ihr 2012 die Ehrenmedaille der Stadt für ihre Verdienste und ihr Engagement für den Freistaat Sachsen und die Stadt Freiberg. Schon 2004 erhielt sie vom Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler den Preis „Stein im Brett“ für die beabsichtigte Präsentation ihrer Mineraliensammlung.

Frau Dr. Pohl-Ströher hat sich in außergewöhnlicher Weise um das Erzgebirge und die Stadt Freiberg, aber insbesondere um die Technische Universität Bergakademie Freiberg verdient gemacht. Danke



Pyromorphit auf Goethit, Daoping, Gongcheng, Guangxi, China. Inv.-Nr. PoSa56024, 11,5 x 6,5 cm



Whewellit, Schacht 371, Hartenstein, Erzgebirge, Sachsen, 6 x 6 cm



Azurit, Tsumeb, Namibia. Inv.-Nr. PoSa40423, 12 x 7 cm



Galenit mit Quarz und Calcit, Dalnegorsk, Ferner Osten, Russland. Inv.-Nr. PoSa43967, 16 x 12 cm

Das Deutschlandstipendium als Grundstein der Stipendienkultur und Säule der Begabtenförderung – eine Investition in die Zukunft

Veronika Bellmann, MdB

Unser Land verdankt seinen Wohlstand, seine gute wirtschaftliche Entwicklung und seine Innovationsstärke vor allem hoch qualifizierten Fachkräften. Gerade angesichts der demografischen Lage und des immer härter werdenden internationalen Wettbewerbs wird gezielte Spitzenförderung immer wichtiger. Sie kann allerdings nur funktionieren, wenn sich Staat und Gesellschaft gemeinsam für sie stark machen.

Diese Gemeinsamkeit findet konkreten Ausdruck nicht nur in den öffentlichen und privaten Ausgaben für Forschung und Entwicklung, die mittlerweile – bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) – die angestrebten drei Prozent erreicht haben, sondern insbesondere auch im Stipendienprogrammgesetz (StipG). Mit dessen Inkrafttreten am 1. August 2010 wurde in unserem Land erstmals ein nationales Stipendiengesetz – das Deutschlandstipendium – ins Leben gerufen.

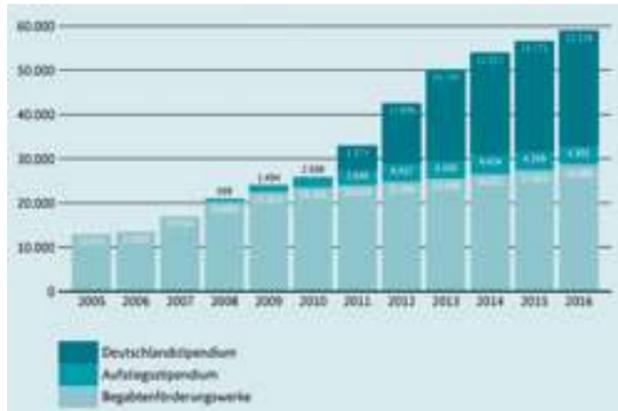
Grundgedanke des Deutschlandstipendiums ist es, herausragende Leistungen von begabten und gesellschaftlich engagierten Studenten besonders anzuerkennen. Zugleich motiviert das Stipendienprogramm Bürger, Stiftungen, Vereine und Unternehmen, sich aktiv in die Ausbildung der Spitzenkräfte von morgen einzubringen.

Um den tiefgreifenden gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Herausforderungen zu begegnen, brauchen wir junge Menschen, die sich mit ihrem Wissen, innovativen Ideen und Kreativität, aber auch mit einem hohen Maß an sozialer Kompetenz für den Zusammenhalt in unserer Gesellschaft einsetzen. Dazu benötigen wir Partner aus Wirtschaft und Gesellschaft, die erhebliche Mittel in die Bereiche Forschung, Wissenschaft und Innovationen lenken, damit sich Deutschland als führender Innovationsstandort auf längere Sicht behaupten kann. Diese Partner können mit ihrem Engagement staatliche Aktivitäten der Nachwuchsförderung gezielt und sinnvoll ergänzen.

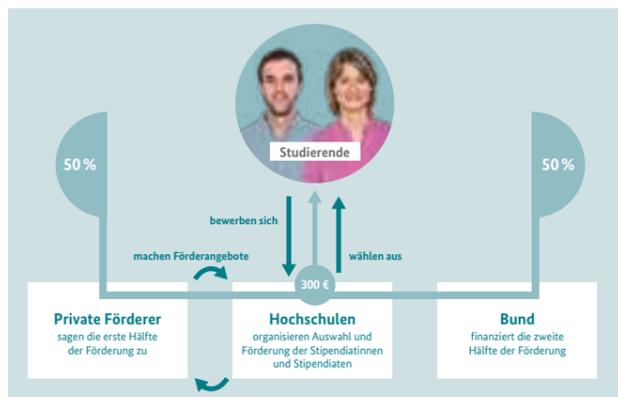
Andere Länder machen es uns vor: In den USA werden knapp zwei Drittel der Ausgaben für die Hochschulen von Alumni, Unternehmen und privaten Stiftern finanziert. Dieser Anteil lag in Deutschland vor dem Start des Deutschlandstipendiums mit weniger als 20 Prozent noch unter dem OECD-Durchschnitt von rund 30 Prozent. Mit der Einführung des nationalen Stipendienprogramms als neuem Weg der Begabtenförderung zeichnete sich jedoch eine Trendwende ab. Das gemeinsame Engagement von Bund, Hochschulen und privaten Förderern ist mittlerweile die bedeutendste öffentlich-private Partnerschaft im Bildungsbereich geworden, die es bisher in unserem Land gegeben hat. Sie stärkt die immer wichtiger werdende Vernetzung von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft.

Das Stipendienprogrammgesetz hat sich – seit zum Sommersemester 2011 die ersten Deutschlandstipendien vergeben wurden – fest in unserem Stipendiensystem verankert. Es ist aus der deutschen Hochschullandschaft nicht mehr wegzudenken, obwohl es sich nicht explosionsartig, dafür aber grundsätzliche, mit stetig aufwärts weisender Tendenz, entwickelt hat. Die folgende Abbildung kennzeichnet den Anstieg der Anzahl von in Deutschland vergebenen Stipendien.

Mit dem Deutschlandstipendium werden Studenten mit 300 € im Monat unterstützt. Die Hälfte davon – 150€ – tragen private



Stipendienentwicklung für Studierende in den Jahren 2005 bis 2016



So funktioniert das Deutschlandstipendium

Förderer, wie Unternehmen, Stiftungen oder Privatpersonen. Die andere Hälfte trägt der Bund. Aus „halbe-halbe“ machen wir also ganze Sachen.

Das Deutschlandstipendium wird einkommensunabhängig vergeben und für mindestens zwei Semester bewilligt. Werden alle Förderkriterien erfüllt und stehen ausreichend private Mittel zur Verfügung, besteht die Möglichkeit der Verlängerung bzw. einer erneuten Zuerkennung für das nächste Studienjahr. Im Optimalfall kann das Deutschlandstipendium somit Studenten während der gesamten Regelstudienzeit finanziell zu großen Teilen „den Rücken freihalten“.

Insgesamt konnten Deutschlands Hochschulen innerhalb der vergangenen fünf Jahre 87 Mio. € von privaten Mittelgebern einwerben. Im Jahr 2015 waren das 25,3 Mio. € von etwa 7000 Stiftern. Davon profitieren 24.300 Studenten. Für einen privaten Mittelgeber sind das 1800 € pro Jahr, die sich in der Tat lohnen. Denn sie – etwa clevere Firmenchefs – lernen auf diesem Wege ggf. potenziell wichtige Fachkräfte kennen, die sie frühzeitig für ihr Unternehmen begeistern können. Sie schließen wichtige Kontakte zu den besten Hochschulen und Universitäten und eröffnen sich Türen zu weitergehenden Kooperationen, zu bspw. gemeinsamen Forschungsprojekten. Für die Stipendiaten erleichtert das Deutschlandstipendium den nahtlosen Übergang vom Campus ins Berufsleben und veranlasst sie zudem oftmals,

auch nach dem Studium in der Region zu bleiben. Insofern hat das Deutschlandstipendium auch eine nicht zu verkennende strukturell-regionalpolitische Komponente.

Die Hochschulen berücksichtigen bei der Stipendienvergabe nicht nur hervorragende Noten, sondern auch ehrenamtliches und sonstiges gesellschaftliches Engagement. Wie die Ende des vergangenen Jahres vorgestellten Ergebnisse einer Begleitforschung belegen, eröffnet ein solches auf Ganzheitlichkeit orientiertes Verständnis des Leistungsbegriffs bei der Vergabe des Stipendiums jungen Talenten unabhängig von ihrer sozialen Herkunft wichtige, für ihre weitere Entwicklung evtl. Weichen stellende Bildungschancen.

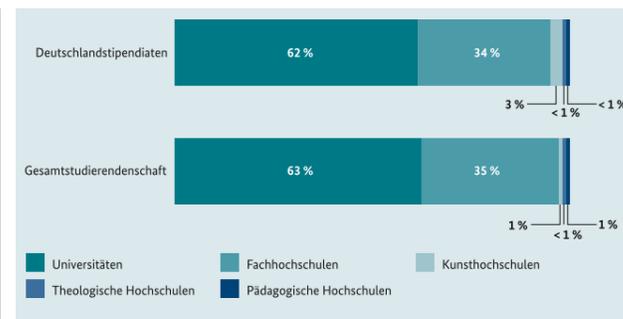
Im Übrigen kommen die mit einer Begleitforschung beauftragten Wissenschaftler in ihrer Analyse der im Stipendienprogrammgesetz vorgeschriebenen Evaluation dieses Stipendiensystems durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung zu dem Ergebnis, dass Hochschulen umso erfolgreicher Fördermittel einwerben, je länger sie am Stipendienprogramm teilnehmen. Diese Erkenntnis wird in den kommenden Jahren dazu beitragen, dass sich diese Form der öffentlich-rechtlichen Partnerschaft im Bildungssektor weiter verbreitet, was zu einem noch intensiveren Engagement bei den Hochschulen und ihren privaten Partnern führen wird. Sowohl die Begleitforschung als auch der Evaluationsbericht machen deutlich, dass Änderungen am Stipendiengesetz und an den ergänzenden Verordnungen derzeit nicht notwendig sind. Hier arbeitet schon die Zeit einfach für die gute Idee!

Das Deutschlandstipendium erweitert und ergänzt die Begabtenförderung auf breiter Ebene, da es auch an Fachhochschulen angeboten wird, die bei den sonstigen Stipendienprogrammen häufig unterrepräsentiert sind. Dort studieren überdurchschnittlich viele sog. „Erstakademiker“, d. h. Kinder von Nichtakademikern. Deren Anteil unter den Deutschlandstipendiaten ist nahezu genauso hoch wie unter den Studenten aus der regulären, die Studentenschaft insgesamt betreffenden Sozialerhebung des Deutschen Studentenwerks. Bezüglich der Bildungsherkunft unterscheidet sich die (statistische) Gruppe der Deutschlandstipendiaten sozial-strukturell also nicht von der gesamten Studentenschaft. Bemerkenswert ist dabei der überdurchschnittliche Anteil der Studenten mit Migrationshintergrund.

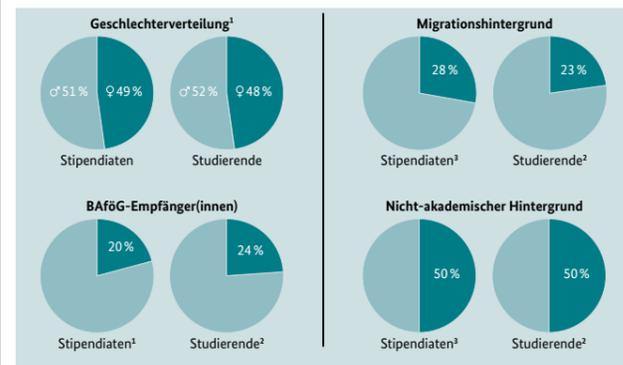
Die Untersuchungen zeigen ferner, dass bei der Vergabe der Stipendien eine bemerkenswerte soziale Ausgewogenheit innerhalb der Gruppe der geförderten Studenten besteht. So liegt der Anteil der BAföG-Empfänger immerhin bei einem Viertel aller Geförderten, die es selbstverständlich begrüßen, dass das Deutschlandstipendium nicht auf das BAföG angerechnet wird.

Nahezu drei Viertel der Deutschlandstipendiaten engagieren sich neben ihrem Studium ehrenamtlich im Kultur- und Sportbereich, in Kirchgemeinden, gemeinnützigen Organisationen, in der Flüchtlingshilfe oder betreuen ausländische Kommilitonen. Das Stipendium verschafft ihnen den zeitlichen Freiraum für freiwilliges gesellschaftliches Engagement, weil dann oftmals die Notwendigkeit entfällt, über Hilfsjobs die eigene Finanzierung etwas aufzubessern.

Für zahlreiche Studenten ist die Aussicht auf finanzielle Unterstützung ohne Frage ein wesentliches Motiv für die Bewerbung um ein Deutschlandstipendium. Da dies aber an herausragende Lernleistungen UND gesellschaftliches Engagement gleichermaßen gebunden ist, wird die Zuerkennung eines solchen Stipendiums von den Bewerbern als besondere Auszeichnung für ihre Leistungen im Studium und im gesellschaftlichen Umfeld



Verteilung der Stipendiatinnen und Stipendiaten auf die Hochschularten im Vergleich zur Gesamtstudierendenschaft



Die Sozialstruktur der Stipendiatinnen und Stipendiaten im Vergleich zur Gesamtstudierendenschaft

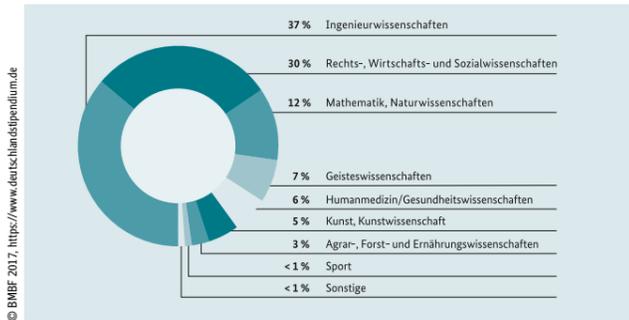
wahrgenommen. Darüber hinaus erhoffen sie sich Kontakte zu den Förderern und fühlen sich durch die sonstigen Förderangebote und Veranstaltungen der Hochschulen und Stipendienstifter angesprochen.

Diese Motive zu solch einer Bewerbung und die persönliche Bedeutung einer solchen finanziellen Förderung können als Bestätigung des in Rede stehenden Stipendienkonzepts und seiner stetig zunehmenden Popularität und Attraktivität gewertet werden.

An erster Stelle der Fördermotive aufseiten der Stifter steht die Möglichkeit, durch die Beteiligung an der Begabtenförderung eine ganz besondere Form von gesellschaftlicher Verantwortung zu übernehmen. Zu den Merkmalen des Engagements auf der Fördererseite gehören Vergaben für mehr als eine Hochschule sowie die normalerweise bevorzugte Zweckbindung der Stipendien, insbesondere für die Fachgruppen Ingenieurwissenschaft, Rechts-, Wirtschaft- und Sozialwissenschaften.



Experimentalvorlesung „Vom Silber zum Silicium“ anlässlich der Vergabe der Deutschland-Stipendien am 15. November 2016



Verteilung der Stipendiatinnen und Stipendiaten auf die Fächer im Jahr 2016

Was mich besonders freut, ist, dass die TU Bergakademie Freiberg von Anfang an ein Vorreiter für das Deutschlandstipendium war. So gehörte die Universität im Jahr 2011 zu den wenigen Pilot-Hochschulen für dieses nationale Stipendienprogramm. Bereits 2011 startete die Freiburger Universität in die erste Vergaberunde mit 53 Stipendien von 18 Förderern. Im Jahr 2016 waren es 83 Stipendien von 30 regionalen Förderern. Vorbildlich ist hier die Streuung der Stipendiengabe über das Spektrum von Privatpersonen, Vereinen, Stiftungen und Unternehmen aus dem Mittelstand hin bis zur größeren Industrie, wofür u. a. zu nennen wären: die Solarworld Innovation GmbH, die MIBRAG mbH (Mitteldeutsche Braunkohlegesellschaft), enviaM (Mitteldeutsche Energie AG), der Industrieverein 1828 e. V., ferner die Soroptimistische Hilfe e. V. Freiberg, die Sparkassenstiftung, die Dr. Erich Krüger-Stiftung, ehemalige Absolventen der TU Bergakademie Freiberg (wie Jürgen Schellig) oder Privatpersonen wie etwa die Medizinerin Beate Neumann.

Seit dem Wintersemester 2014/2015 beteilige auch ich mich als private Stifterin am Deutschlandstipendium mit Vergaben an bisher vier Stipendiaten – sowohl an der TU Bergakademie als auch an der Hochschule Mittweida. Dazu gehören zwei junge Mütter, die trotz ihrer jeweils drei Kinder erfolgreich ihr Studium der Sozialen Arbeit an der Hochschule Mittweida absolvierten und sich darüber hinaus vielfältig ehrenamtlich engagierten. An der Bergakademie fördere ich bewusst Studentinnen aus dem Studiengang „International Management of Resources and Environment“ (IMRE), ein Studiengang, der quasi den akademischen Zweig gezielter Fluchtursachenbekämpfung darstellt, da er Bildungs- und Wirtschaftseliten für die Herkunftsländer heranzieht und fördert. Ich hoffe, dass meine derzeitige Stipendiatin Hira Javaid – eine junge Pakistani – in nicht allzu ferner

Zeit zu eben dieser Bildungs- und Wirtschaftselite zählt. Ihr in Deutschland erworbenes Wissen und Können ist, neben seinem Nutzen für ihre eigene berufliche Karriere, auch generell für den wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Aufbau ihres Heimatlandes sicherlich hilfreich. Das Deutschlandstipendium befähigt insofern unsere ausländischen Studenten dazu, als Deutschlands Wissenschaftsbotschafter in alle Welt zu gehen.

Die Stipendienkultur an der TU Bergakademie Freiberg passt zweifellos bestens in die fünfjährige Bilanz des Deutschlandstipendien-Programms, die wir zur Jahresveranstaltung 2016 in Frankfurt am Main unter dem Motto: „Erfahrung, Engagement, Erfolg“ gezogen haben. Viele der geförderten Studenten haben als Deutschlandstipendiaten gemeinsam mit ihren Stiftern und ihrem Engagement erfolgreich ein Stück Zukunft gestaltet. Bundesministerin Prof. Wanka schlussfolgerte: „Deutschlandstipendiaten sind junge Menschen, die sich für andere Menschen engagieren, die selbst zugewandert sind. Sie sind Bildungseinsteiger, die sich ihren Weg an den Hochschulen oft hart erkämpft haben: Frauen, die Studium und Familie unter einen Hut bringen; Studenten, die nebenher noch im elterlichen Betrieb mitarbeiten, oder starke Persönlichkeiten, die trotz gesundheitlicher Einschränkungen ein Studium aufgenommen haben. Alles junge Menschen, die bereit sind, etwas zu leisten. Staat und Gesellschaft sollten das zu würdigen wissen. Ein Gemeinwesen, das vom Engagement und von der Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme seiner Bürger lebt, sollte sich bemühen, auf allen Ebenen des gesellschaftlichen Lebens Vorbilder zu haben und sie zu stärken.“

Genau das tun wir mit dem Deutschlandstipendium. Und ja – wir sollten gegenüber der Öffentlichkeit selbstbewusster kommunizieren, dass wir gemeinsam Bildungserfolge im wahrsten Sinne des Wortes *anstiften* können. Das Deutschlandstipendium ist in der Tat ein stabiles Instrument der Begabtenförderung geworden. Es stärkt die Vernetzung von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Die Förderung engagierter Nachwuchstalente ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Sie zählt zu den schönsten und nachhaltigsten Investitionen in die Zukunft.



Urkundenverleihung an die Deutschlandstipendiaten am 15. November 2016; MdB Veronika Bellmann (rechts) mit ihrer Stipendiatin Hira Javaid



Veranstaltung im Rahmen der Übergabe der Deutschlandstipendien am 15. November 2016

Komplexe Nutzung von Braunkohle

Warum mit Forschungsexpertise aus dem sächsischen Freiberg und der Chemieindustrie in Nordrhein-Westfalen ein ‚New Deal‘ in der Kohlenstoffnutzung gelingen kann

Guido van den Berg, MdL

Viele Bürger glauben, dass die Braunkohlen-Industrie in Deutschland keine Zukunft hat. Schließlich hat unser Land doch eine Energiewende beschlossen. Aber kann man aus Braunkohle nur Strom machen? Nein! Und hier liegen große Chancen, die weit über die Verbrennung dieses Rohstoffs zu seiner Verstromung hinausgehen.

Braunkohle aus dem Feuer holen!

Man kann mit Braunkohle in der Tat weit intelligentere Dinge anstellen, als nur Wasser warm machen und eine Turbine antreiben. Man muss den Kohlenstoff nicht zwangsläufig in CO₂ umsetzen, sondern kann ihn als Ausgangsstoff zur Erzeugung von Synthesegas nutzen, indem bei hohen Temperaturen und einer – in Bezug auf die Totaloxidation zu CO₂ – eingeschränkten Menge an Sauerstoff in Gegenwart von Wasserdampf als Reaktionspartner die Kohle eben nicht verbrannt, sondern in ein Gasgemisch aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid umgesetzt wird. Dieses Synthesegas, dessen chemische Eigenschaften identisch mit jenen der aus konventionellem Erdgas gewonnenen Gasmischungen sind, kann dann als Universalgrundstoff für zahlreiche chemische Produkte (z. B. Methanol, Ammoniak, Naphtha oder Methan) dienen.

Die technischen Verfahren hierzu sind vor rund 100 Jahren in Deutschland erfunden worden (Bergius-Pier, Fischer-Tropsch). Durch die Basierung der chemischen Industrie auf das Importgut Erdöl nach dem zweiten Weltkrieg sind diese Möglichkeiten, den heimischen Rohstoff nicht nur als Energieträger, sondern auch als chemischen Rohstoffträger zu nutzen, in Vergessenheit geraten. In anderen Teilen der Welt hingegen keineswegs! Praktische Anwendungen gibt es in den USA und in Indien. Südafrika ist es so gelungen, seinen Erdölbedarf zu großen Teilen durch Substitute zu decken, die man aus heimischen Rohstoffen gewinnt. China hat das Ziel ausgegeben, seine chemische Industrie von Erdölimporten völlig unabhängig zu machen, und die größten technischen und kommerziell genutzten Anlagen zur Synthesegasherstellung aus Kohle sind heute in China anzutreffen.

CO₂-arme Braunkohle-Nutzung in der Sektorkopplung

Wenn man wirklich sektorübergreifend denkt, dann kann die Energiewende in Deutschland jetzt zur großen Chance werden, um die Braunkohle in höheren Wertschöpfungsebenen zu veredeln und gleichzeitig CO₂ zu sparen. Wieso? Während bei der Verbrennung zur Stromerzeugung 100 Prozent des Kohlenstoffs zu CO₂ gewandelt werden, wird bei der stofflichen Kohlenutzung schon etwa die Hälfte des Ausgangskohlenstoffs in den erzeugten Chemikalien gebunden. Folglich sinken im Vergleich zur Kohleverstromung auch die CO₂-Emissionen um etwa 50 Prozent.

Wenn die Erneuerbaren Energien, wie politisch gewünscht, bis 2050 mehr als 80 Prozent der Stromproduktion abdecken sollen, dann muss das Problem ihrer bisherigen Unzuverlässigkeit für die Bedarfsdeckung gelöst und müssen entsprechende Speichermöglichkeiten entwickelt werden. Nach heutiger Erkenntnislage bieten sich vor allem chemische Großspeicher an.



Guido Daniel (ThyssenKrupp), Guido van den Berg, MdL, (im Freiburger Bergmannskittel), NRW-Wirtschaftsminister Garrelt Duin, Christian Heinze (TU Darmstadt), Elisabeth Hülsewig (Stadt Bergheim) und RWE-Vorstand Dr. Lars Kulik nahmen im März 2017 den Synthese-Teststand in Bergheim-Niederaußem in Betrieb

Würden Elektrolysen und damit die Erzeugung von Wasserstoff eine Rolle spielen, wäre das ideal für die Strategie der Braunkohlenveredlung. Durch Einkopplung von CO₂-emissionsfrei erzeugtem Wasserstoff können nahezu 100 Prozent des Kohlenstoffanteils aus der Kohle in chemischen Produkten gebunden werden. Es wäre damit möglich, bei der stofflichen Kohlenutzung eine „0“-CO₂-Emission zu erreichen.

Braunkohle enthält im Vergleich zu flüssigen und gasförmigen Kohlenstoffquellen relativ viel Sauerstoff und Kohlenstoff – jedoch wenig Wasserstoff, so dass sich primär erst einmal Zielprodukte mit ähnlichen Mustern der Verteilung dieser Elemente (wie z. B. Ameisen- oder Essigsäure) anbieten. Mit der Verfügbarkeit von Wasserstoff aus der Nutzung sog. „erneuerbarer Überschussenergie“ für Elektrolyseprozesse steigern sich die Einsatzpotenziale für andere Stoffgruppen (z. B. Olefine, wie Propylen, Ethylen). Zudem muss man den wichtigen strategischen Vorteil beachten, dass aus der Braunkohle – im Vergleich zu Erdöl als Ausgangsstoff – sehr schwefelarme Produkte erzeugt werden können.

Echte Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft auch mit Biomasse und Kunststoffen ermöglichen!

Wichtig zu sehen ist, dass die Wandlung in Synthesegas nicht nur bei Braunkohle funktioniert, sondern dass hierbei auch andere biogene Einsatzstoffe genutzt werden können. Eine solche Technologie bietet die Chance des Einstiegs in eine Bioökonomie unter der Nutzung nachwachsender Rohstoffe der zweiten oder dritten Generation. Der CO₂-Minderungseffekt der Biomasse ist hier doppelt so hoch wie bei der Verbrennung. In Verbindung mit der Einkopplung von Wasserstoff könnte die Nutzung von Biomasse mit diesen Technologien im Idealfall sogar zur Entstehung einer CO₂-Senke führen.

Und ein weiteres Tor kann weit aufgestoßen werden: Bislang verwerten wir unsere Kunststoffabfälle fast ausschließlich thermisch. Das, was wir mühsam zu Propylen oder Ethylen gewandelt



Im Rahmen der Internationalen Freiberg Conference 2015 besuchten Prof. Bernd Meyer und Guido van den Berg, MdL, die Rongxin Synthesegasanlage in der Inneren Mongolei (China)

haben, wird also nur verbrannt, und es entsteht wieder CO₂. Die Synthesegaswandlung wäre auch hier ein effektiver und realistischer Einstieg in den Aufbau eines Kunststoff-Kreislaufs, der die Importabhängigkeit von Erdöl und Erdgas für die produzierende Industrie mindern kann – zumal dann aufwändige Sortentrennungen entbehrlich werden könnten.

Eine CO₂-arme Braunkohlenutzung kann zudem den in den Braunkohlerevierien gefürchteten Strukturbruch abmildern, da eine Basis für Versorgungssicherheit für die von Haus aus „unsicheren“ Erneuerbaren zunächst weiter gewährleistet und zugleich das Ziel einer starken Reduktion der Kohleverbrennung verfolgt werden kann. Langfristig eröffnet der skizzierte Technologiepfad auch die stoffliche Nutzung von Biomasse für die Chemie und die Chance zur wirklichen stofflichen Nutzung von Kunststoffabfällen.

Die TU Bergakademie Freiberg hat den NRW-Landtag erfolgreich beraten

2013 hatte der Landtag von Nordrhein-Westfalen eine Enquetekommission aus Vertretern von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft eingesetzt, die die Zukunft der Chemie-Industrie in NRW untersuchen sollte. Im Rahmen dieser Arbeit widmete sich die Kommission auch intensiv der Frage, inwieweit eine stoffliche Nutzung von Braunkohle ein nachhaltiger Beitrag zur weiteren Entwicklung der Industrie sein kann. Die TU Bergakademie Freiberg mit ihrem Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) – geleitet von Prof. Bernd Meyer – unterstützte intensiv die Beratungen in Anhörungen und mit einem Fachgutachten. Über alle Fraktionen des Parlaments kam die Kommission 2015 zu dem einstimmigen Votum, dass die Umwandlung der Braunkohle in Synthesegas mit einer Pilotanlage gefördert und durch eine Forschungsbegleitung unterstützt werden sollte. Diese überparteiliche Positionierung ist wertvoll, denn auch die 2017 neu gewählte NRW-Landesregierung stellte in ihrem Koalitionsvertrag klar, dass sie die Empfehlungen der Kommission umsetzen will.

Neuer NRW-Lehrstuhl für „Carbon Sources and Conversion“ geschaffen

Am 22. März 2017 konnten bereits die ersten konkreten Umsetzungsschritte gefeiert werden: Im Innovationszentrum Kohle im rheinischen Bergheim-Niederaußem besiegelten das Land Nordrhein-Westfalen, die Ruhr-Universität Bochum, das Fraunhofer Institut Umsicht aus Oberhausen und die RWE AG die Gründung der Stiftungsprofessur „Carbon Sources and Conversion“. Gleichzeitig wurde der Katalyse-Teststand „Fabiene“

Prof. Bernd Meyer (links) und Rektor Prof. Klaus-Dieter Barbknecht (rechts) verleihen im Februar 2017 den Ehrenbergkittel der TU Bergakademie Freiberg an Guido van den Berg, MdL



Foto: TU Bergakademie Freiberg, Detlev Müller

in Betrieb genommen, der von der RWE AG gemeinsam mit der TU Darmstadt und der ThyssenKrupp Industrial Solution AG entwickelt und vom Bundeswirtschaftsministerium im Rahmen der anwendungsorientierten Verbundforschung „Cooretec“ gefördert wird.

Gemeinsam jetzt den Motor für den industriellen Kohlenstoffkreislauf erfinden!

Nun geht es darum, in Deutschland gemeinsam die richtige Aufstellung für das in Rede stehende komplexe Thema zu finden. Aber auch hier ist der erste Schritt bereits gemacht. Unter Führung der Fraunhofer Gesellschaft wurde 2017 die „Initiative Kohlenstoffketten für den Strukturwandel Braunkohle“ – „IK2“ – gegründet. Insgesamt fünf Fraunhofer Institute wollen in den kommenden zehn Jahren angewandte Forschungen bis hin zum Demonstrationsmaßstab nutzen – mit dem Ziel, die Prozessketten dann auch im Industriemaßstab aufzubauen. Auch hier ist das Freiburger IEC zentraler Motor der Arbeit. Die Akteure motiviert einerseits, dass bei der Nutzung heimischer Kohlenstoffquellen für die Produktion (z. B. für Kunststoffe, Schmierstoffe und Treibstoffe) die gesamte Wertschöpfungskette im Inland liegen würde. Das würde helfen, unsere Rohstoffbasis zu diversifizieren, wäre positiv für die Beschäftigung und würde den Industrie- und Wissenschaftsstandort nachhaltig stärken. Zugleich wird aber auch erkannt, dass die zu entwickelnden Technologien eine weltweite Relevanz haben, so dass im Rahmen von Exportgeschäften effiziente und klimagerechte Produktionslösungen auch für global relevante Akteure angeboten werden könnten.

So wird deutlich: Effektiver Klimaschutz, innovative Produktionsimpulse und längerfristige Planungssicherheit müssen sich nicht ausschließen. Was man dafür aufgeben muss, sind simplifizierende Sichtweisen, die in der Braunkohle nur einen Energieträger sehen. Braunkohle kann intelligent als CO₂-emissionsarmer Kohlenstoffträger genutzt werden. Die Forschungsexpertise der TU Bergakademie Freiberg ist dabei ein wertvoller Schlüssel, mit dem es gelingen kann, die in NRW ansässige Grundstoffindustrie mit Innovationen in der Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft neu und nachhaltiger zu positionieren. Ein ‚New Deal‘ für eine nachhaltige Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft – Made in Germany!

Kurzbiografie: Guido van den Berg absolvierte sein Studium der Volkswirtschaft und Politikwissenschaft in Köln und Duisburg als Diplom-Sozialwissenschaftler. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder. Nachdem er von 2004 bis 2007 als kaufmännischer Angestellter in einer Unternehmensberatung bei Köln tätig war, wechselte er 2008 als persönlicher Referent von Franz Müntefering im Deutschen Bundestag nach Berlin. Von 2010 bis 2012 arbeitete er im Ministerbüro des Innenministers des Landes Nordrhein-Westfalen in Düsseldorf. Seit 2012 ist er Abgeordneter des NRW-Landtags. Er war von 2013 bis 2015 Sprecher für die SPD in der Enquetekommission zur „Zukunft der chemischen Industrie in NRW“. Zudem ist er seit 2014 stellvertretender Landrat des Rhein-Erft-Kreises, der stark vom Strukturwandel im rheinischen Braunkohlerevier betroffen ist. Am 1. Februar 2017 wurde er vom Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg mit dem Ehrenbergkittel der TU Bergakademie Freiberg geehrt.

Visionen aus Stahl und Keramik

Der Sonderforschungsbereich 799
„TRIP-Matrix-Composite“

Horst Biermann¹

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert im Rahmen ihrer koordinierten Programme Sonderforschungsbereiche (SFB) als langfristige, auf die Dauer von bis zu zwölf Jahren angelegte Forschungsvorhaben der Hochschulen, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Rahmen eines fächerübergreifenden Forschungsprogramms zusammenarbeiten. Diese Großforschungsprojekte ermöglichen die Bearbeitung innovativer, anspruchsvoller, aufwändiger und langfristig konzipierter Forschungsvorhaben durch Koordination und Konzentration von Personen und Ressourcen in den antragstellenden Hochschulen. Damit dienen sie auch der institutionellen Schwerpunkt- und Strukturbildung.

Auf der Grundlage dieser Kriterien reichte die TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2008 den unter Regie von Prof. Biermann (IWT) und Prof. Aneziris (IKGB) erarbeiteten, 400 Seiten starken Antrag auf Einrichtung des Sonderforschungsbereichs 799 „TRIP-Matrix-Composite“ zur Erforschung von Verbundwerkstoffen aus Stahl und Keramik ein. Nach intensiver Prüfung des Antrags und einer Vorortbegutachtung bewilligte die DFG den Antrag und gab damit den Start für eines der umfangreichsten und langfristigen Forschungsvorhaben der TU Bergakademie Freiberg frei. Inzwischen existiert der SFB in seiner dritten Förderperiode mit dem für Juni 2020 vorgesehenen Abschluss.

Aktuell erforschen im SFB 799 22 Teilprojektleiter und ca. 35 Doktoranden

¹ Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann, Institut für Werkstofftechnik, Sprecher des SFB 799, unter Mitarbeit von: Peter Michel, Andreas Jahn, Marco Wendler, Clemens Kirmse, Christian Weigelt, Michael Hauser, Anna Yanina, Sabine Decker, Marie Oppelt, Ivan Saenko, Katja Pranke, Marco Weider, Richard Acker, Jens Klostermann, Anja Buchwalder, Christiane Ullrich, Stefan Prüger, Stefan Martin, Alexander Glage, Anja Weidner und Marcel Mantel

und Wissenschaftler aus drei Fakultäten in 24 Teilprojekten eine neue Klasse von Hochleistungs-Verbundwerkstoffen (Abb. 1). Die Basis dafür bilden die an der Freiburger Universität entwickelten TRIP-fähigen Stahlguss-Werkstoffe (TRIP steht für „TRansformation Induced Plasticity“ – zu Deutsch: Umwandlungsplastizität). Diese austenitischen CrMnNi-Stähle werden mit einer MgO-teilstabilisierten Zirkonoxid-Keramik kombiniert. Daraus entstehen neue Verbundwerkstoffe mit sehr hoher Festigkeit, Verformbarkeit und Zähigkeit. Eine gezielte Kombination des TRIP-Effekts im Stahl mit einer Phasenumwandlung der Keramik ermöglicht die Kreation innovativer Werkstoffe für höchstbeanspruchbare Bauteile und Komponenten, beispielsweise für Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen, im Fahrzeug- und im Maschinenbau.

Der SFB „TRIP-Matrix-Composite“ widmet sich damit einer zentralen Herausforderung der Materialwissenschaft und der Werkstofftechnik: Knappe Ressourcen und die Notwendigkeit einer Senkung des Energiebedarfs verlangen deutlich leistungsfähigere und dennoch material- und energieeffiziente Werkstoffe und Verfahren. Die Erkenntnisse des Freiburger SFB können wesentlich dazu beitragen, eine höhere Materialeffizienz bei gleichzeitiger Reduktion von Energieaufwand und CO₂-Emissionen zu erreichen.

Seit Beginn der Forschungen im SFB 799 ist das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) Dresden ein zuverlässiger externer Partner, der den SFB beim Sintern größerer Chargen und bei speziellen Untersuchungen an den Verbundwerkstoffen unterstützt.

Neben den wissenschaftlichen und den zentralen Serviceprojekten ist ein **Graduiertenkolleg** integraler Bestandteil des SFB 799. Der damalige amtierende Rektor der



Kontakt:

SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite“
Dr.-Ing. Peter Michel (Geschäftsführer)
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Werkstofftechnik
Gustav-Zeuner-Straße 5 · 09599 Freiberg
Tel. 49 3731 39-4017, Fax 49 3731 39-4021
Peter.Michel@iwt.tu-freiberg.de

Universität, Prof. Dr. Michael Schlömann, übergab Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann, dem Sprecher des SFB, im Rahmen einer akademischen Festveranstaltung der Bergakademie am 18. Juli 2008 die offizielle Gründungsurkunde. Wie Prof. Biermann damals in seinem Vortrag betonte, ist die Qualifizierung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte ein zentrales Anliegen im SFB. Eine hohe Qualität der Doktorandenausbildung soll ebenso gewährleistet werden wie auch ein konzentriertes, zügiges Promovieren. Das integrierte Graduiertenkolleg ermöglicht Doktoranden des SFB eine strukturierte Promotion auf der Basis eines individuellen Studienplans sowie fakultätsübergreifender Bildungsangebote. Dazu gehören neben Fachveranstaltungen auch Angebote zur Stärkung von Schlüsselkompetenzen. Da Wissensvermittlung und Anleitung Lernender ebenfalls zu den Kernaufgaben eines Wissenschaftlers gehören, ermöglicht das Graduiertenkolleg seinen Doktoranden außerdem die Mitwirkung im Schülerlabor „Science meets School – Werkstoffe und Technologien in Freiberg“. Über die Gestaltung attraktiver Versuchsanordnungen und werkstoffbezogener Experimente sollen Schülerinnen und Schüler für die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik begeistert werden. Doktoranden können ihre kreativen Ideen, ihre individuellen Forschungsschwerpunkte und -interessen in die Gestaltung des Schülerlabors einbringen. Das Integrierte Graduiertenkolleg bindet im Rahmen eines Gastwissenschaftlerprogramms nationale und internationale Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft aktiv in die Betreuung der Doktoranden ein. Die Erledigung der operativen Aufgaben des SFB – von organisatorischen, verwaltungstechnischen und finanziellen bis hin zu personellen Angelegenheiten – obliegt

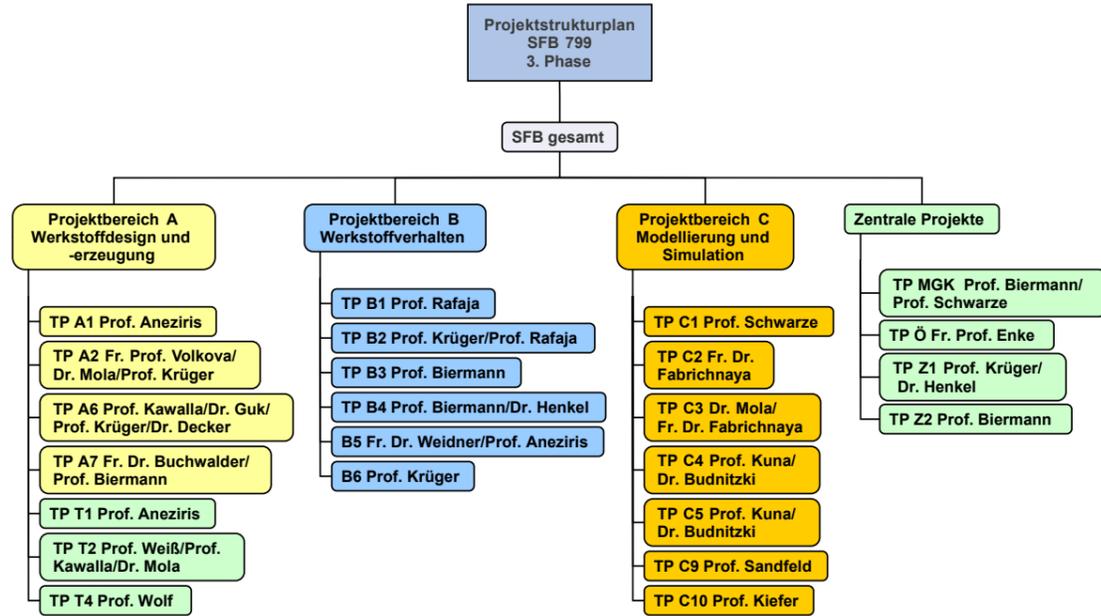


Abb. 1: Struktur und jeweilige Teilprojektleiter des SFB 799 in der dritten Förderperiode

der Koordinatorin, Frau Antje Beier, und dem Geschäftsführer, Dr.-Ing. Peter Michel. Außer der Geschäftsleitung des SFB fällt auch die organisatorische Betreuung des integrierten Graduiertenkollegs in den Aufgabenbereich von Herrn Dr. Michel. Das Graduiertenkolleg ordnet sich unter dem Dach der Graduierten- und Forschungsakademie (GraFA) in die Struktur der Bergakademie Freiberg ein.

Im Folgenden geben die Teilprojektverantwortlichen des SFB 799 einen Einblick in die jeweils laufenden Arbeiten. Die Ausführungen sind an Beiträge aus den in den letzten Jahren erschienenen Newslettern des SFB angelehnt.

Design der TRIP-/TWIP-Stahlwerkstoffe

Für das Forschungsziel des SFB 799 – die Entwicklung einer neuen Klasse von Hochleistungsverbundwerkstoffen aus Stahl und Keramik – spielt die Herstellung von unterschiedlich legiertem austenitischem Cr-Mn-Ni-Stahlguss mit TRIP/TWIP-Eigenschaften eine zentrale Rolle (TWIP-TWInning Induced Plasticity, dt.: durch Zwillingbildung induzierte Plastizität). In der ersten Projektphase (2008-2012) wurde im Rahmen des Teilprojekts A2 „Design austenitischer Stahlwerkstoffe“ an der Optimierung der chemischen Zusammensetzung des Austenits durch eine gezielte Kombination der Legierungselemente Cr, Mn, Ni, Al und N geforscht. Ziel war es, Verdünnungs- und Infiltrationswerkstoffe als Komponenten für die

Verbundwerkstoffe, bestehend aus Cr-Mn-Ni-TRIP/TWIP-Stahl und ZrO_2 -Keramik, durch eine gezielte Werkstoffentwicklung in der flüssigen und festen Phase bereitzustellen. Es gab dazu Untersuchungen verschiedener Stähle aus der Fe-Cr-Mn-Ni-Gruppe mit Zugfestigkeiten größer 1000 MPa bei mittleren Dehnungen – sowie von Stählen mit Dehnungen von fast 80% bei moderaten Festigkeiten. Eine Variation des Nickelgehalts beeinflusst dabei die Festigkeit bzw. die Dehnung (Abb. 2) sowie die Energieaufnahme (Abb. 3) der Cr-Mn-Ni-Stahlgusslegierungen bei Raumtemperatur.

Aus dem breiten Spektrum der untersuchten Stähle wurden drei Legierungen als Basisvarianten des SFB mit den Bezeichnungen 16-7-3, 16-7-6, 16-7-9 (Cr-Mn-Ni in Ma.%) ausgewählt. Die Legierung 16-7-3 zeichnet sich durch eine beachtenswerte Festigkeit größer 1000 MPa bei einer Bruchdehnung größer 20% aus. Diese Legierung könnte vor allem für Verschleißanwendungen eine wichtige Rolle spielen. Als Werkstoffvariante für die Infiltration von keramischen Makrostrukturen aus MgO -teilstabilisiertem ZrO_2 sowie das Verdüsen und Sintern mit MgO -teilstabilisierten ZrO_2 -Partikeln ist die Legierung 16-7-6 von besonderem Interesse.

Um die spannungsinduzierte Umwandlung der Keramik zu forcieren, legte man den Fokus des Stahldesigns in der zweiten Projektphase (2013-2016) auf die Herstellung festigkeitsgesteigerter austenithaltiger Cr-Mn-Ni-Stähle

mit verformungsinduzierter Plastizität. Neben einer Phasenverfestigung durch athermisch gebildeten Martensit wurden ebenfalls die Mechanismen der Mischkristallverfestigung mittels der Legierungselemente C und N sowie Nb und V bei der Ausscheidungsverfestigung genutzt. Dabei ging es hauptsächlich um die Erhöhung der Dehngrenze sowie der Festigkeit bei moderater Plastizität.

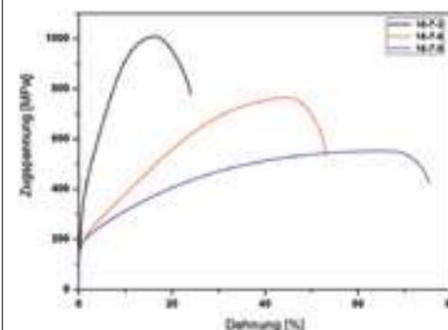


Abb. 2: Technische Spannungs-Dehnungs-Kurven der Basislegierungen bei RT

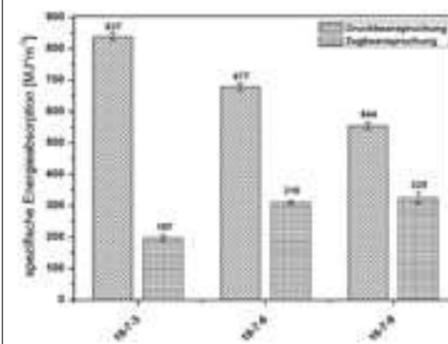


Abb. 3: Spezifische Energieabsorption der Basislegierungen bei RT

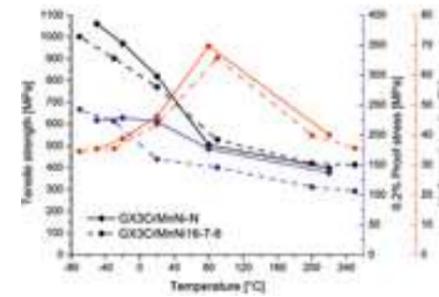


Abb. 4: Mechanische Eigenschaften der Legierungen 14-6-6-0,1 (GX3CrMnNi-N) und 16-7-6 (GX3CrMnNi 16-7-6) bei RT

Auf Basis einer konsequenten Weiterentwicklung der Stahlgussvarianten wurden in der zweiten Förderperiode austenitische und austenitisch-martensitische, mischkristallverfestigte Gussstähle sowie ausscheidungsverfestigte Austenite mit Umwandlungsplastizität (TWIP/TRIP) erforscht.

Eine erste Weiterentwicklung des Stahls 16-7-6 konnte mit dem metastabilen Stahlguss 14-6-6-0,1 (Cr-Mn-Ni-N in Ma.%) erreicht werden. In Abb. 4 sind beispielhaft die Temperaturverläufe der Zugfestigkeit, der Gleichmaßdehnung sowie der Dehngrenze für die beiden austenitischen Stahlgusswerkstoffe 14-6-6-0,1 und 16-7-6 dargestellt. Dieser neu entwickelte stickstofflegierte Stahl zeichnet sich vor allem durch seine hohen 0,2%-Dehngrenzen sowie die stets erhöhten Gleichmaßdehnungen bei nahezu gleichbleibenden Zugfestigkeiten gegenüber dem Stahl 16-7-6 aus.

Durch die während der Deformation ablaufenden Gefügebildungsmechanismen wird der entwickelte Stahlguss kaltumformbar – ein wesentlicher Vorteil im Vergleich zu konventionellen korrosionsbeständigen austenitischen Stählen.

Verdüsung der austenitischen Stahlgusswerkstoffe und Design der Partikeleigenschaften

Als Ausgangswerkstoff für die pulvermetallurgisch herzustellenden Verbundwerkstoffe wurden die im Institut für Eisen- und Stahltechnologie (IEST) entwickelten neuen austenitischen Stähle in kleinen Mengen verdüst. Hierfür wurde die im ersten Förderzeitraum des SFB beschaffte kommerzielle Inertgas-Verdünsungsanlage VIGA eingesetzt. In der zweiten Förderperiode waren im Teilprojekt A3 „Verdüsung der austenitischen Stahlgusswerkstoffe und Design der Partikeleigenschaften“ messtechnische Untersuchungen während des Verdünsens der

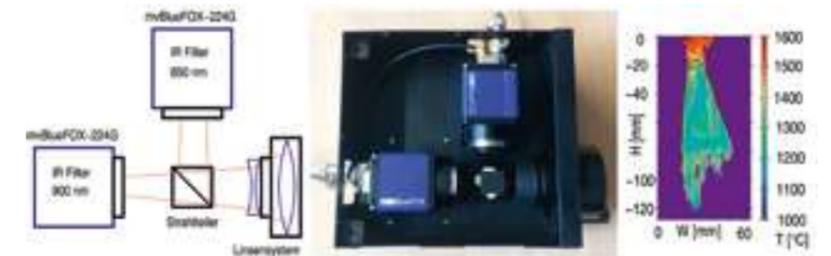


Abb. 5: Prinzipskizze (links) der 2-Farben-Thermographiekamera (Mitte) und mittlere Temperaturverteilung eines zentralen Schnitts durch den Sprayhohlkegel (rechts)

Stahlgusschmelzen die Schwerpunkte. Die Untersuchungen zur komplexen Wechselwirkung zwischen Zerstäubergas und Spraytropfen erforderten räumlich und zeitlich hochauflösende 2-dimensionale Messtechniken, als es darum ging, die Oberflächentemperatur der Tropfen sowie ihre Geschwindigkeit im Verlaufe des Zerstäubungsvorgangs zu ermitteln.

Für die Messung der mittleren 2D-Oberflächentemperatur der Tropfen im Zeitintervall von nach dem Düsenaustritt bis hin zum Erstarrungsbereich wurde eine 2-Farben-Thermographiekamera entwickelt. Sie besteht aus zwei industriellen CCD-Kameras mit eingefügten dielektrischen Bandpassfiltern. Die Kamera wurde bei der Verdüsung von CrMnNi-Stahl (16-7-6) eingesetzt. Die mittlere Temperaturverteilung in der Probe (Abb. 5) zeigt, dass die verdünte Stahlschmelze einen Hohlkegel ausbildet. Der gemessene mittlere Abstand von ca. 100 mm zwischen dem Düsenaustritt und dem Erstarrungspunkt der Schmelze bestätigt entsprechende numerische Untersuchungen.

Die Messungen der Partikelgeschwindigkeiten während der Verdüsung von X5CrNi8-10- bzw. von X3CrNiMo13-4-Stahl wurden unter Anwendung des Particle-Image-Velocimetry-Messverfahrens (PIV) durchgeführt. Das Prinzip dieses Messverfahrens besteht darin, dass Bilder der bewegten Stahltropfen in einem kurzen Zeitabstand hintereinander aufgenommen werden. Eine Analyse der Bilder mittels Kreuzkorrelation liefert Zahlen zum Weg, den die Tropfen während des Zeitintervalls zurückgelegt haben – und daraus wird dann der jeweilige Geschwindigkeitsvektor berechnet.

Die Datenauswertung ergab für die momentane Tropfengeschwindigkeit Konturplots, die ebenfalls einen Schnitt durch einen Hohlkegel darstellen. Im Bereich der Wechselwirkung von Schmelze und Zerstäubergas liegen die gemessenen Partikelgeschwindigkeiten zwischen 120

und 210 m/s. Unterhalb von ca. 100 mm Abstand zum Düsenaustritt wird die Erstarrungstemperatur erreicht. Die Partikelgeschwindigkeit der Schmelze liegt dort bei ca. 120 m/s. Vergleicht man die gemessenen Geschwindigkeiten mit den numerisch ermittelten Daten, so ergibt sich eine gute quantitative Übereinstimmung.

Der TRIP-Effekt in der Keramik

Im SFB 799 befasst man sich mit der Kombination von zwei offensichtlich grundlegend verschiedenen Werkstoffgruppen: zäher TRIP-Stahl und spröde Keramik. Dabei haben diese zwei so unterschiedlichen Komponenten eine Eigenschaft gemeinsam: Sie unterliegen beide einer Phasenumwandlung, die unter Beanspruchung auftritt und mit einer Volumenvergrößerung verbunden ist. Beim TRIP-Stahl führt diese Umwandlung der Gitterstruktur vom kubisch flächenzentrierten Austenit (γ) hin zum kubisch raumzentrierten Martensit (α), während sie in der ZrO_2 -Keramik eine Änderung der Gitterstruktur von tetragonal zu monoklin hervorruft. Ein Forschungsschwerpunkt im SFB 799 besteht darin, diese Effekte in den beiden Komponenten zu kombinieren und im Verbundwerkstoff zu nutzen. Die Zirkonoxid-Keramik verkörpert aufgrund ihrer drei Modifikationen besondere Eigenschaften, wie Abbildung 6 zeigt.

In reinem Zirkonoxid liegt oberhalb von 2370 °C die kubische (ZrO_2 , k) Phase stabil vor. Unterhalb von 1170 °C ist die stark gitterverzernte monokline (ZrO_2 , m) Phase stabil, im Temperaturbereich dazwischen ist es die nur geringfügig gestörte tetragonale (ZrO_2 , t) Phase. Während die Umwandlung ZrO_2 , k \leftrightarrow ZrO_2 , t unkritisch ist, geht der Übergang ZrO_2 , t \leftrightarrow ZrO_2 , m mit einer Volumenänderung von ca. 3 bis 5% einher.

Liegt die tetragonale Phase also auch bei Raumtemperatur metastabil vor, können Werkstoffe mit besonderen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden.

Wandelt sich ein Teil dieser metastabilen Teilchen bereits während des Herstellungsprozesses von ZrO_2 , t \rightarrow zu ZrO_2 , m um, so entsteht ein Mikrorissnetzwerk, das durch äußere Spannung induzierten Rissen einen höheren Widerstand entgegenetzt als der kompakte Werkstoff. Weitere Verstärkungseffekte beruhen auf der martensitischen Phasenumwandlung im Einsatz, wenn das Risswachstum durch die Volumenänderung in der Umgebung der Risspitze unterbunden wird.

Möglich werden diese Mechanismen durch die Zugabe von Stabilisatoren in Form von Kationen, die in das ZrO_2 -Gitter eingebaut werden und so die Phasenumwandlungen hemmen. Im SFB TRIP-Matrix-Composite wird ein mit 3,5 Ma.-% MgO-teilstabilisiertes Zirkonoxid (Mg-PSZ, alle drei Phasen vorhanden) eingesetzt.

Während Art und Menge des Stabilisators die Stärke der thermodynamischen Komponente der Umwandlungstriebkraft bestimmen, wird die Reaktionskinetik auch von der Korngröße beeinflusst.

Daneben gibt es eine Reihe weiterer

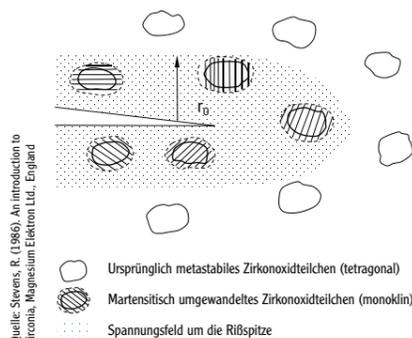


Abb. 6: Spannung induzierte Umwandlung des MgO-ZrO₂ von der tetragonalen in die monokline Phase ($\Delta V \approx 3-5\%$)

thermischer, chemischer und mechanischer Faktoren, die die Eigenschaften von ZrO_2 -Werkstoffen beeinflussen. Die Aufgabe des Mg-PSZ in den neuartigen Verbundwerkstoffen beruht auf der Verstärkung der Stahlmatrix durch Druckspannungen infolge der martensitischen Phasenumwandlung von innen heraus. So können die Vorteile des sehr dehnbaren TRIP-Stahls mit hohen Festigkeitswerten kombiniert werden. Dadurch wird beispielsweise eine Maximierung der Energieabsorption von Crash-Absorbern möglich. Der Schlüssel zu den herausragenden Eigenschaften des neuen Verbundwerkstoffs liegt in der gegenseitigen Anbindung der Phasenumwandlungen durch gezielt eingestellte Grenzflächeneigenschaften. Auf diese Weise lassen sich die besonderen Eigenschaften

beider Werkstoffe in einer neuen Werkstoffgeneration miteinander verbinden.

Thermodynamisch-mechanische Modellierung des TRIP- und TWIP-Effekts

Das Teilprojekt „Thermodynamisch-mechanische Modellierung des TRIP- und TWIP-Effekts“ (TP C3) beschäftigt sich mit der Thermodynamik und der Bildungskinetik des durch Verformung entstehenden Martensits und mit den sich daraus ergebenden mechanischen Eigenschaften in hochlegierten austenitischen Stählen. Zu diesem Zweck werden verschiedene Methoden – und dabei schwerpunktmäßig Gefüge- und Fließkurvenanalysen – praktiziert. In der ersten Phase lag der Fokus auf den TRIP/TWIP-Stahl-Varianten 16-7-3, 16-7-6 und 16-7-9. Im Verlauf der zweiten Phase wurden die Stahllegierungen durch die interstitiell sich verfestigenden Elemente Kohlenstoff und Stickstoff modifiziert, um zum einen die Streckgrenze und die Zugfestigkeit deutlich zu erhöhen und um zum anderen Nickel einzusparen. Dazu wurden Zugversuche bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt und ein neues magnetinduktives Messverfahren zur Bestimmung des sich bildenden α' -Martensits eingeführt.

Ziel des Teilprojekts C3 ist es, den Zusammenhang zwischen den thermodynamischen sowie bildungskinetischen Daten der Phasen und den mechanischen Kennwerten des Werkstoffs durch eine adäquate Darstellung zu modellieren und somit ein energetisches Voraussagemodell für mechanische Eigenschaften zu gestalten.

In der thermodynamischen Modellierung geht es darum, mit Hilfe von energetischen Ansätzen, einer Variation der chemischen Zusammensetzung und einer Thermodynamikdatenbank Reaktionen und Phasenumwandlungen temperaturabhängig vorauszusagen und zu berechnen.

Bei der mechanischen Modellierung geht es um das Zusammenführen aller mechanischen Kennwerte (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Auslösespannung, Gleichmaßdehnung etc.) und deren Quantifizierung. Aus dem Spannungs-Temperatur-Umwandlungsdiagramm (Abb. 7) und dem Deformations-Temperatur-Umwandlungsdiagramm lassen sich die Festigkeits- und die plastischen Dehnbeiträge je nach den jeweils induzierten Deformationsmechanismen ableiten. Dadurch können die Eigenschaften des TRIP/TWIP-Stahls über einen breiten Temperaturbereich

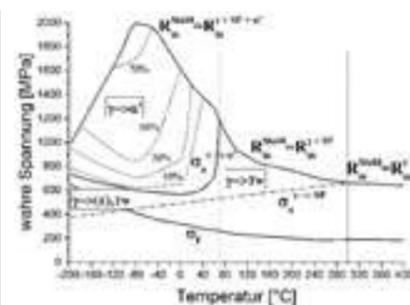


Abb. 7: Spannungs-Temperatur-Umwandlungsschaubild für austenitischen Stahl Cr19NC17.15

beschrieben werden.

Zusammenführen der beiden Werkstoffkomponenten

Nachdem bisher die beiden Komponenten in ihrer Herstellung und ihren Eigenschaften sowie deren Auswirkungen auf die Eigenschaften des Verbundwerkstoffs beschrieben wurden, soll im Folgenden erläutert werden, wie sie zu einem Verbundwerkstoff zusammengeführt werden können. Dazu werden im SFB 799 zwei Haupttrouten untersucht: die Route der pulvermetallurgischen Verfahren und die der Infiltration.

Die pulvermetallurgische Route

Grundlegende Gemeinsamkeit der verschiedenen Verfahren dieser Route ist, dass die beiden Werkstoffkomponenten als Pulver vorliegen und ohne oder mit weiteren verfahrensspezifischen Zusatzstoffen gemischt weiterverarbeitet werden. Verfahren, bei denen keine weiteren Zusatzstoffe zum Einsatz kommen, sind das Heißpressen, das Spark-Plasma-Sintern (SPS) oder auch das Pulverschmieden.

Verfahren, bei denen durch Zusatzstoffe in einer verfahrensbedingten Zwischenstufe eine mehr oder weniger viskose plastische Masse (von teigförmig bis dünnflüssig tropfend) hergestellt wird, sind zum Beispiel das Extrudieren, das Druckschlickergießen, die Papiertechnologie oder auch die Herstellung kleiner Kugeln (Ballotines) in Alginat. An die Formgebung schließen sich eine Wärmebehandlung zum Ausbrennen der Zusatzstoffe (Entbindern) und das eigentliche Sintern zur Einstellung der metallischen Bindung und damit der Endfestigkeit an.

Sintern von Keramik-Stahl-Verbundwerkstoffen

Am Institut für Metallformung wurden in der ersten Förderperiode Untersuchungen zu den Parametern dreier

Sinterverfahren – des konventionellen und des konduktiven Sinterns sowie des Heißpressens – durchgeführt. Dabei musste der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften des gesinterten Werkstoffs und den Sinterparametern herausgearbeitet werden. Für das konventionelle Sintern stand ein Strahlungssofen für Sinterversuche in unterschiedlichen Atmosphären und im Vakuum bis zu Temperaturen von 1.700 °C zur Verfügung.

Versuche zu neuartigen konduktiven Sintern setzten eine spezielle Vorrichtung voraus. Diese wurde in vielen Vorversuchen konstruktiv und werkstoffseitig erstellt, erprobt und optimiert (vgl. Bild 8).

Die Vor- und die Hauptversuche sind

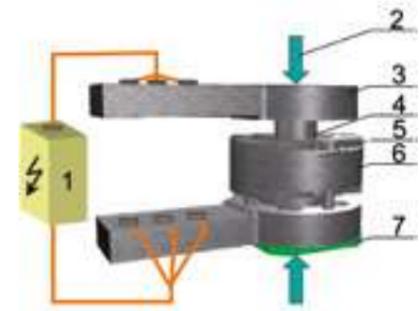


Abb. 8: Versuchsanordnung in der konduktiven Sinteranlage (1 Stromquelle, 2 Belastungsrichtung, 3 obere Grundplatte, 4 Stempel, 5 Keramikmatrize, 6 Stahlmatrize, 7 Isolationsplatte)

mittels dieser Vorrichtung im multifunktionalen Simulationssystem GLEEBLE durchgeführt worden. Dabei kamen Sonderwerkstoffe wie Mo-Legierungen und thermoschockresistente Keramiken zum Einsatz. Auf diese Weise ergab sich die Möglichkeit, größere Probenvolumina (\varnothing 50 mm \times 15 mm) zu fertigen. Diese Probengröße sicherte auch die Fertigung von Probekörpern für Zug-, Schlag- und 3-Punkt-Biege-Versuche.

Im Rahmen des Teilprojekts A6 „Sintern und Warmformgebung“ sind Untersuchungen an Keramik- und Verbundwerkstoffen durchgeführt worden. Dabei wurde der Einfluss der Sinter Temperatur, der Sinterzeit und der Vorverdichtungskraft auf die relative Dichte der gesinterten Probe sowie auf die Anbindung zwischen der Keramik und der Stahlmatrix ermittelt.

Auf Basis experimentell erzielter Ergebnisse und aus der Literatur entnommener theoretischer Erkenntnisse wurde ein Modell zur Vorhersage der Temperaturentwicklung im vorverdichteten Körper während des konduktiven Sinterns entwickelt.

Das Modell erfasst den Keramikanteil

in der Stahlmatrix, berücksichtigt die physikalischen Werkzeugeigenschaften und ermöglicht die Vorausberechnung von solchen Sinterparametern, die zu möglichst günstigen Eigenschaften führen. Die Herstellung sowie die Eigenschaftscharakterisierung von TRIP-Matrix-Compositen auf Basis der Heißpressroute zeigten die Vorzüge einer kombinierten Variante, genannt „Kaltisostatisches Pressen + Vorsintern + Heißpressen“. Dadurch ließen sich ein feines Korn und gute mechanische Eigenschaften erzielen, wobei kein signifikanter Einfluss einer abschließenden Behandlung durch heißisostatisches Pressen auf die mechanischen Eigenschaften festzustellen war.

Ein weiterer Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit war die Untersuchung des Nachverdichtens vorgesinteter Bauteile. Dieses eröffnet ein attraktives Einsparpotenzial bei den vorangehenden Sinterprozessen und ermöglicht die Herstellung porenfreier Bauteile mit guten Eigenschaften. Allerdings wird diese Aufgabe besonders anspruchsvoll dadurch, dass die Phasenumwandlungen der austenitischen Stahlmatrix nicht schon während des Sinterprozesses, sondern erst im fertigen Bauteil stattfinden, wenn eine starke Deformation mit einem hohen Energieabsorptionsvermögen benötigt und abgefordert wird.

Seit der zweiten Förderperiode des SFB wird im Teilprojekt A6 ein weiteres modernes Kurzzeitsinterverfahren, das Spark-Plasma-Sintern (SPS), in Bezug auf die Synthese von Mg-PSZ-verstärkten TRIP-Matrix-Compositen untersucht. Ähnlich dem Vorgehen beim Heißpressen wird das Sintergut während der Sinterung mittels SPS uniaxial verpresst. Allerdings fließt beim SPS-Verfahren in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit des zu sinternden Werkstoffs ein gepulster elektrischer Strom durch das Sintergut und/oder die umgebende Matrize. Somit erfolgt die Wärmegenerierung durch Joulesche Erwärmung direkt im bzw. am Sintergut.

Infolge der direkten Erwärmung des Sinterguts und der Druckunterstützung wird der Sintervorgang stark beschleunigt. Dadurch wird es möglich, das Korn-

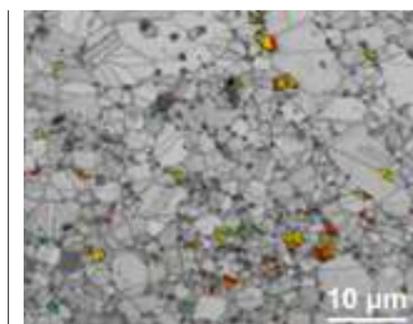


Abb. 9: Feinkörnige Stahlmatrix und umwandlungsfähiges Mg-PSZ im TRIP-Matrix-Composite mit 5 Vol.-% Mg-PSZ nach SPS (grau: Austenit, rot: monoklines Mg-PSZ, gelb: tetragonales Mg-PSZ, grün: kubisches Mg-PSZ)

wachstum zu begrenzen sowie unerwünschte Diffusionsprozesse einzudämmen. Um die Eigenschaften der Verbundwerkstoffe gezielt einstellen zu können, wurde der Einfluss mehrerer Parameter technologieseitig (Druck, Heizrate, Temperatur, Haltezeit, Pulsprofil) wie auch werkstoffseitig (Partikelgröße, Partikelverteilung, Anteil der Verstärkungsphase, chemische Zusammensetzung) auf die Mikrostrukturentwicklung sowie die mechanischen Eigenschaften sowohl am unverstärkten TRIP-Stahl als auch am Verbundwerkstoff mit variierendem Mg-PSZ-Volumenanteil erforscht. Es zeigte sich, dass mittels SPS dichte, feinkörnige (mittlerer Korndurchmesser 4 bis 11 μ m) umwandlungsfähige Verbundwerkstoffe synthetisierbar sind (Abb. 9).

Aufgrund ihrer besonderen Mikrostruktur wiesen diese Verbundwerkstoffe eine hohe Festigkeit und Verformbarkeit in einem weiten Temperatur- und Dehnratenbereich auf, wobei der TRIP-Stahl sich unter mechanischer Beanspruchung verformungsinduziert in α' -Martensit und das Mg-PSZ spannungsinduziert in die monokline Phase umwandeln. Die gewonnenen Erkenntnisse sind die Grundlage für Forschungen zur Synthese von gradierten Verbundwerkstoffen mit variierendem Mg-PSZ-Anteil entlang der Probenhöhe (Abb. 10) sowie für die Synthese von Strukturen aus Hohlkugeln, die für den dritten Bewilligungszeitraum des SFB 799 vorgesehen sind.

In Bezug auf die Synthese von

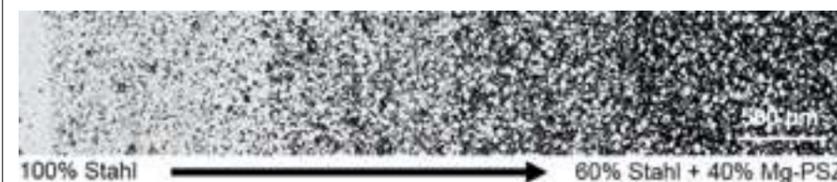


Abb. 10: Gradientenwerkstoff mit in Pfeilrichtung zunehmendem Mg-PSZ-Anteil

Gradientenwerkstoffen wurde bereits gezeigt, dass sich während deren Sinterung ein Temperaturgradient einstellt, der so beeinflusst werden kann, dass die Temperatur in den keramikreichen Regionen ansteigt. Generell ist die genaue Kenntnis der Temperaturverteilung sowie die gezielte Einstellung des Temperaturgradienten während der Sinterung von Gradientenwerkstoffen mittels SPS der Schlüssel für die Synthese dichter Werkstoffe und folglich ein Forschungsschwerpunkt. Die Sinterung von Strukturen aus Hohlkugeln ist eine Herausforderung, da die Hohlkugeln einerseits gefügt und andererseits gesintert werden müssen, wobei ihre Form erhalten bleiben soll. Dies erfordert die Erforschung des Druckeinflusses sowie der lokalen Temperaturverteilung innerhalb der Strukturen während des Spark-Plasma-Sinterns.

Herstellung und Charakterisierung von Ballotines

In der zweiten Förderperiode wurden im Teilprojekt A1 „Herstellung von TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffen mittels Gießformgebung“ verschiedene Herstellungsmethoden für solche Werkstoffe mittels schlickerbasierter Formgebungsverfahren erforscht. Ein Schwerpunkt der angewandten Formgebungsverfahren war die Herstellung und Charakterisierung von hohlen, vollen und gradierten Kugeln, sog. „Ballotines“. Die Erzeugung dieser Kugeln beruht auf der Gelierung von Alginat im Kontakt mit zweiwertigen Härterionen und ist eine Anleihe aus der Lebensmittelindustrie. Ein mit Alginat versetzter Schlicker aus TRIP-Stahl und ZrO_2 wird in eine Härterflüssigkeit getropft (mit in Lösung befindlichen zweiwertigen Ionen). Während des Herstellungsprozesses bildet sich durch die Reaktion des Alginats (bspw. des Natriumalginats) mit den zweiwertigen Ionen (bspw. des Calciums) ein dreidimensionales Netzwerk. Die Ausbildung von Voll- oder Hohlkugeln ist abhängig von der

Art der Härterionen und einem entsprechend angepassten Trocknungsverfahren. Um den Einfluss der verschiedenen Zirkonoxidgehalte in der Stahlmatrix zu untersuchen, wurden Ballotines mit unterschiedlichen Gehalten an magnesiumstabilisiertem Zirkonoxid (0%, 5%, 10%, 20%) hergestellt und charakterisiert. Dazu wurden die Proben unter Sauerstoffatmosphäre entbindert, bei 1350 °C unter Argonatmosphäre gesintert und anschließend untersucht. Durch Variation der Sinterbedingungen ist es möglich, sowohl Einzelkugeln als auch Kugelverbunde herzustellen (Abb. 11). Mit der Variation der Kanülengröße des Injektors ist es möglich, Kugeln im Durchmesserbereich von 0,7 bis 2 mm herzustellen.

REM- und EBSD-Untersuchungen im Rahmen des Teilprojekts B5 haben gezeigt, dass nach dem Sintern das Zirkonoxid größtenteils monoklin vorliegt und Stahl- und Zirkonoxidpartikel sowie die Poren innerhalb einer Kugel gleichmäßig verteilt sind. Durch Untersuchungen am Quecksilberdruckporosimeter konnten sehr gute Ergebnisse in Bezug auf Dichte und offene Porosität bei Vollkugeln aus 90% TRIP-Stahl und 10% Zirkonoxid nachgewiesen werden. Mit einer Rohdichte der gesinterten Kugeln von 4,7 g/cm³ und einer offenen Porosität von 3,7% liegen die Werte deutlich unter denen der reinen TRIP-Stahlkugeln mit einer offenen Porosität von 11,3%. Die Messung der Festigkeit und die damit verbundene Berechnung der spezifischen Energieabsorption zeigte, dass alle partikelverstärkten Ballotines bei einer geringen Dehnung (< 15%) eine höhere spezifische Energieabsorption aufweisen als reine Stahlkugeln, wobei ein Partikelverstärkungseffekt ausgeschlossen werden kann. Die besten Ergebnisse weisen vor allem gradierte Vollkugeln mit einem Kern aus 90% TRIP-Stahl und Beschichtungen mit 95% und 100% auf. Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Herstellung von Ballotines

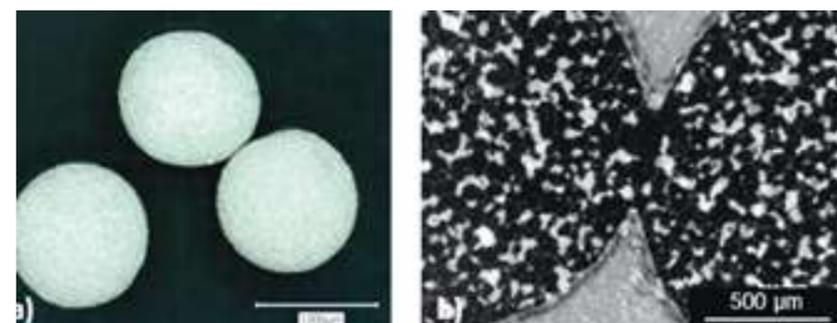


Abb. 11: a) Einzelkugeln, b) Sinterhals eines Kugelverbunds

mittels schlickerbasierter Formgebungsverfahren unter Verwendung von Alginat wegweisend ist für eine neue Klasse von Hochleistungsverbundwerkstoffen und vielseitige Möglichkeiten im Hinblick auf Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen eröffnet.

Herstellung von metallokeramischem Papier

Als weiteres schlickerbasiertes Formgebungsverfahren für die Herstellung von stahl- und keramikreichen Verbundwerkstoffen wird im Rahmen des Teilprojekts A1 die papiertechnologische Erzeugung von porösen Strukturen erforscht. Die flachen Halbzeuge (prämetallokeramische Papiere) sollen nach ihrer Herstellung stabil und flexibel sein und sich so mittels in der Papierindustrie üblicher Verfahren zu komplexeren Bauteilen verarbeiten lassen. Durch ein speziell entwickeltes Entbindungs- und Sinterregime lassen sich die Halbzeuge in poröse metallokeramische Strukturen überführen.

Ausgangsmaterial für den mehrstufigen Blattbildungsprozess sind Cellulosefasern (Fasergestützte), Stahl- und Keramikpartikel (Füllstoffe) sowie organische Additive und Wasser. Nach der Trocknung werden die temporären Hilfsstoffe (Fasern und Additive) durch eine Wärmebehandlung ausgebrannt und die Füllstoffe in eine feste Metall/Keramik-Struktur überführt.

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der gesinterten Strukturen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Eigenschaften der metallischen und metallokeramischen Strukturen

Versatz	100S	95S	90S
Lineare Schwindung (%)	15,8±0,4	15,2±0,2	14,6±0,9
Rohdichte (g/cm ³)	2,65	3,78	3,1
Gesamtporosität (%)	65,9	50,8	59,1
Zugfestigkeit (N/mm ²)	176,6±12,1	123,3±3,1	103,3±14,4
Bruchdehnung (%)	0,5±0,1	0,5±0,0	0,4±0,0

In Abbildung 12 ist die Mikrostruktur der Proben jeweils vor und nach dem Kalandrieren vergleichend dargestellt. Es sind hauptsächlich Faser-Faser-Bindungen erkennbar. Die Stahlpartikel sind in das Netzwerk aus Cellulosefasern eingelagert. Die Retention beträgt für alle Versätze > 90%. Durch das Walzen konnten Porosität und Dicke der Halbzeuge reduziert

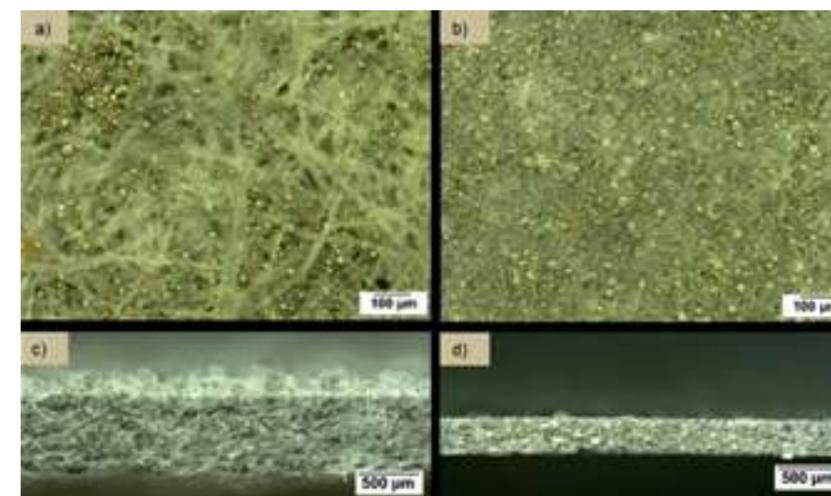


Abb. 12: Lichtmikroskopische Aufnahme eines Halbzeugs aus 100 Vol.% Stahl. Oberfläche: a) unkalandriert, b) kalandriert mit 30 kN/mm. Querschnitt: c) unkalandriert, d) kalandriert mit 30 kN/mm

und gleichzeitig deren Festigkeit deutlich gesteigert werden (Tab. 1). Eine Entbindung mit 0,5 K/min bis 460 °C und einer Haltezeit von 90 min erwies sich als besonders günstig, um den Restkohlenstoffgehalt der entbinderten Halbzeuge zu minimieren. Dieser betrug nach der Entbindung 0,044%, was dem C-Gehalt im Ausgangsstahlpulver entspricht. Die Mikrostruktur der gesinterten Metall- und metallokeramischen Strukturen wurde mittels REM und EBSD untersucht.

Aus den dargestellten Ergebnissen ergibt sich ein großes Potenzial für die Entwicklung poröser Hochleistungsverbundwerkstoffe mit komplexen Bauteilgeometrien.

Entwicklung einer in sich stimmigen thermodynamischen Datenbank für TRIP-Matrix-Composite

Im Rahmen der Entwicklung von neuartigen TRIP-Matrix-Compositen verfolgt das Teilprojekt C2 „Thermodynamische Modellierung“ das Ziel, eine selbstkonsistente thermodynamische Datenbank für TRIP-Stahl sowie die MgO-stabilisierte ZrO_2 -Keramik zu entwickeln. Hierfür müssen thermodynamische Beschreibungen des Zr-Stabilisators MgO, für die durch Oxidation des Stahls entstehenden Oxide (FeO_x , MnO_x), für die Fremdstoffe (Al_2O_3 , SiO_2) und für die mit Ti beschichteten ZrO_2 Verstärkungspartikel (Abb. 13) entwickelt werden. Die Anwendung der sog. CalPhaD-Methode (Calculation of Phase Diagram) zur thermodynamischen Modellierung komplexer Werkstoffsysteme erlaubt die Berechnung des thermodynamischen Gleichgewichts zwischen dem TRIP-Matrix-Material und den keramischen

Verstärkungspartikeln für unterschiedliche Temperaturen sowie für verschiedene Zusammensetzungen.

Die Vereinigung der thermodynamischen Stahl-Datenbank mit der Keramik-Datenbank ermöglicht die Simulation von Grenzflächenreaktionen zwischen den TRIP/TWIP-Legierungen und den keramischen Verstärkungspartikeln.

Eine in sich stimmige thermodynamische Datenbank für Stahl, die elf Grundbestandteile der TRIP/TWIP-Legierungen enthält, wurde bereits während der ersten beiden Phasen des SFB 799 erarbeitet. Während der zweiten Förderperiode wurde die Entwicklung einer thermodynamischen Beschreibung von keramischen Werkstoffen gestartet. Seitdem Mangan in den Oxid-Phasen leicht durch Magnesium substituiert werden konnte, war die Untersuchung von Phasenbeziehungen im ZrO_2 -MgO- MnO_x -System eine wichtige Aufgabe der zweiten Phase. Im Rahmen der dritten

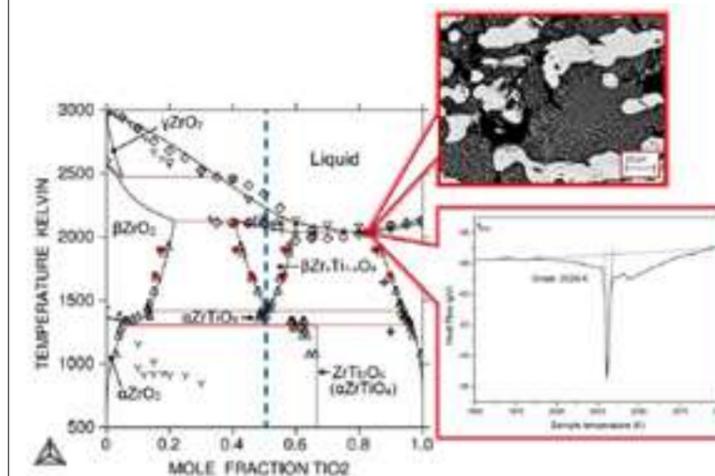


Abb. 13: Experimentelle Daten und berechnete Phasendiagramme des quasi-binären ZrO_2 - TiO_2 -Systems

Förderperiode des SFB 799 wird die thermodynamische Beschreibung des ZrO_2 -MgO- MnO_x -Systems abgeschlossen.

Bei der Zusammenführung der Datenbanken für Stahl und Keramik wird darüber hinaus die Integration zusätzlicher Elemente, wie Zirkonium, Aluminium, Magnesium sowie Sauerstoff in die Datenbank von Stahl notwendig, um eine in sich stimmige thermodynamische Beschreibung für die Modellierung von Phasenbeziehungen der TRIP-Matrix-Composite zu erhalten.

Die wesentlichen Aufgaben des Teilprojekts C2 in der dritten Förderperiode sind die experimentelle Untersuchung und die Optimierung der ZrO_2 - TiO_2 -, der ZrO_2 - TiO_2 -MgO- und der Fe-Zr-O-Mg-Systeme. Darüber hinaus sind wesentliche Bestandteile der Keramikkomponenten – Zirkonium und Sauerstoff – in die Datenbank für Stahl zu integrieren.

Sintern und Warmformgebung sowie Eigenschaftscharakterisierung

Der Schwerpunkt des TP A6-I lag in der zweiten Förderperiode auf der Erforschung von Zusammenhängen zwischen dem Werkstoffzustand, den Umformbedingungen sowie dem Werkstofffluss in der Umformzone beim Flachwalzen von vorgesinterten Halbzeugen eines Verbundwerkstoffs, bestehend aus einer TRIP-Stahlmatrix und MgO-teilstabilisiertem ZrO_2 (Mg-PSZ).

Im Bereich der Kaltumformung wurden speziell ausgelegte Stauchversuche durchgeführt. Die Dokumentation von geometrischen Veränderungen der Probenform ermöglichte die Berechnung von axialen, tangentialen und hydrostatischen Spannungsanteilen für unterschiedliche Werkstoffzustände. Diese wurden in die

Fließkurvenmodellierung implementiert. Im Vergleich zu den experimentellen Ergebnissen zeigte sich eine sehr gute Vorhersagegenauigkeit. In weiterführenden Berechnungen gelang es, eine Fließspannungsarbeitskarte für Werkstoffe von unterschiedlicher Zusammensetzung zu erstellen, mit der eine Vorhersage von lokalen Phasenformgraden aus den gemessenen makroskopischen Umformgraden des Verbundwerkstoffs möglich wird.

Hinsichtlich des Werkstoffflusses und der Umordnung der Partikel infolge der Umformung wurden metallografische Untersuchungen von speziell präparierten Proben im Walzversuch vorgenommen. Die lichtmikroskopischen Aufnahmen wurden anhand von Kennwerten der quantitativen Metallographie untersucht. Es zeigte sich, dass die Partikelverteilung im Werkstoff mit zunehmendem Umformgrad anisotroper wird. Der Charakter dieses Anstiegs hing in erster Linie von der Umformtemperatur ab. Eine weitere Charakterisierung des Werkstoffflusses beim Umformen hinsichtlich einer Vorzugsrichtung der Partikel durch deren Orientierungsgrad hat die gleichen Ergebnisse gezeigt.

Anhand der aufgenommenen Kalt- und Warmfließkurven erfolgte die Ermittlung des optimalen Prozessfensters aus der Sicht des Ziels einer versagensfreien Umformung durch das Erstellen von Prozesskarten. Weiterführende Untersuchungen mittels Licht- und Elektronenmikroskopie bestätigten die Grenzflächendelamination als Auslöser des Versagens. Auf dieser Erkenntnis aufbauend konnten Bleche unter optimierten Herstellungsbedingungen hinsichtlich eines ausreichenden Formänderungsvermögens bei reduziertem Kraftbedarf hergestellt werden.

Für die Charakterisierung des Umformverhaltens gewalzter Flacherzeugnisse, die sich hinsichtlich ihres Spannungs- und Formänderungszustands unterscheiden, kamen verschiedene Blechprüfverfahren zur Anwendung. Diese lieferten globale Kennwerte zur Beschreibung der Umformbarkeit und ließen Aussagen über den lokalen Stofffluss zu.

Infiltrationsroute

Unter Infiltrationsroute versteht man den Verfahrensweg, über den keramische oder aus Verbundwerkstoff über die pulvermetallurgische Route hergestellte Formkörper mit Stahlschmelze infiltriert werden. Diese Formkörper können z. B. Schaum-, Waben-, Spaghetti-, Kugel-,

Granulat- oder Papierstrukturen aufweisen. Entsprechend den zu erzielenden Eigenschaften können diese zur Verstärkung der Stahlmatrix im Inneren oder zur Verschleißminderung an der Oberfläche des Verbundwerkstoffs bzw. des Bauteils positioniert werden.

Herstellung austenitischer Stahlguss-Verbundwerkstoffe mit keramischen Strukturen durch Infiltration

In der **ersten Projektphase** wurde im Rahmen des Teilprojekts A4 „Herstellung austenitischer Stahlguss-Verbundwerkstoffe mit keramischen Strukturen durch Infiltration“ die gießtechnische Herstellbarkeit von Verbundwerkstoffen untersucht. Die Ausgangswerkstoffe waren einerseits die im Teilprojekt A2 „Design austenitischer Stahlgusswerkstoffe“ entwickelten Stahlgusswerkstoffe, und andererseits makroporöse Keramiken aus teilstabilisiertem Zirkonoxid, die mit dem Stahl infiltriert wurden. Zum Einsatz kamen dabei handelsübliche Filtergeometrien und im Teilprojekt A1 speziell hergestellte Keramiken, wie z. B. solche mit Hohlspaghetti-Strukturen.

Die Infiltration erfolgt druckunterstützt durch den metallostatischen Druck im Schwerkraftguss. Diese erzwungene Infiltration wird durch das Benetzungsverhalten der beiden Komponenten bedingt. Arbeitsschwerpunkte waren die Erfassung und Quantifizierung der Prozessparameter zur fehlerfreien Herstellung der Verbundwerkstoffe sowie die Konzipierung und der Bau einer Versuchsanlage, in der der Infiltrationsfortschritt in Abhängigkeit von den wichtigsten Parametern in situ gemessen werden kann.

Bei der Herstellung der Verbunde auf gießtechnologischem Wege sind einerseits die reine Infiltration durch den schmelzflüssigen Stahl und andererseits die Dichtspeisung während der Erstarrung von Belang. Innerhalb der physikalischen Grenzen ist die Infiltration der Mikroporositäten der Keramik bis zu einer Stegbreite von etwa 30 µm gewährleistet, jedoch erwies sich die Dichtspeisung innerhalb der Keramiken als eine große Herausforderung. Dazu wurden Formstoffe mit verschiedenen thermophysikalischen Eigenschaften und deren Einfluss auf das Erstarrungsverhalten des TRIP-Stahls untersucht, um perspektivisch gezielt Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der Erstarrungsfronten nehmen zu können.

In der **zweiten Förderperiode** führte das Serviceprojekt S1 die Arbeiten des

bereits beendeten Teilprojekts A4 fort. Neben der frei wählbaren, endkonturnahen Gussteilgeometrie und seiner hohen Wirtschaftlichkeit liegt ein weiterer Vorteil des Verfahrens in der lokal maßgeschneidert möglichen Verstärkung der Gussprodukte. Die praktizierten Methoden betreffen das Umgießen von festen Zirkonoxid-Schaumstrukturen und losen Haufwerken mit hochlegierten, metastabilen austenitischen Stahlgusslegierungen mittels Schwerkraftguss. Dazu wurden die Schaumstrukturen und lose Keramiken in eine im SFB entwickelte Sandform gegeben und mit flüssiger Stahlschmelze umgossen. Der modulare Aufbau dieser Gießform erlaubt es, sowohl Schaumstrukturen als auch lose Haufwerke unter ähnlichen Bedingungen abzugießen. Vor dem Abguss werden die Keramiken auf 1400 °C vorgeheizt, um ein besseres Fließverhalten der Stahlschmelze durch die Strukturen hindurch zu gewährleisten.

Die im SFB entwickelten gießtechnisch hergestellten TRIP-Matrix-Composites besitzen einen sehr hohen Verschleißwiderstand. In **Abbildung 14** sind Verschleißwerte eines Ring-Klotz-Versuchs in „Abtrag pro Verschleißstrecke“ dargestellt. Der hervorragende Verschleißwiderstand von CrMnNi-Stahlguss beruht auf der lokalen martensitischen Umwandlung an der Beanspruchungsfront. Als Folge des TRIP/TWIP-Effekts ist die abrasiv beanspruchte Stelle martensitisch umgewandelt. Im Inneren des Gusskörpers befindet sich das Weiteren metastabiler Austenit, der über ein noch ungenutztes Energieabsorptions- bzw. Verformungspotenzial verfügt. Die Kombination von harten, verschleißresistenten Eigenschaften bei gleichzeitig hohen Bruchdehnungen zeigt die Vorteile des TRIP/TWIP-Stahlgusses gegenüber klassischen Verschleißwerkstoffen, bspw. Nickelhartguss. Das zusätzliche Einbringen von Keramikstrukturen verstärkt diesen Effekt.

In der **dritten Förderperiode** werden die Erkenntnisse aus den vorhergehenden Projektphasen im Zuge eines Transferprojekts T4 in die Praxis überführt. Das Kernziel ist dabei die Entwicklung eines anwendungsnahen Prototypen eines Werkzeugs für Zerkleinerungs- und Fördermaschinen mit einer lokalen keramischen Verstärkung.

Zunächst werden die Legierungen den Rahmenbedingungen entsprechend optimiert, so dass man einerseits einen geringen Anteil an kostenintensiven Legierungselementen hat und andererseits den gewünschten TRIP/TWIP-Effekt erhält.

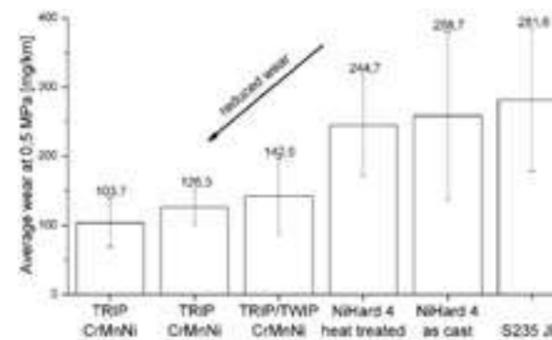


Abb. 14: Ergebnisse des Ring-Klotz-Verschleißtests

Die Gestalt des Gusskörpers muss an die verschiedensten Rahmenbedingungen angepasst werden. Dafür sind die Aufheiztemperaturen der Preform oder der kompletten Form, die Eingießtemperatur und die sich daraus ergebende Infiltrationsfließlänge zu ermitteln. Diese bestimmt maßgeblich, welche Dimensionen die keramischen Verstärkungen im Gussteil annehmen dürfen, da die Keramiken strömungstechnische Hindernisse darstellen. Um Kaltlauf zu vermeiden, ist eine optimierte Anschnittausslegung von elementarer Bedeutung für die Formfüllung, sodass mittels Simulationsrechnungen verschiedene Anschnitts- und Speisungstechnologien erprobt werden sollen. Weitere Schwerpunkte liegen in der Befestigung der keramischen Eingießkörper in der Form, bei der Optimierung der Grenzfläche zwischen den Eingießkörpern und dem Stahl durch eine Beschichtung der Keramiken sowie bei der thermischen Optimierung des Infiltrationsprozesses.

Sobald die technologischen Randbedingungen für den Prototypen optimiert sind, wird dieser in Kooperation mit dem Anwendungspartner erprobt. Infolge reduzierten Verschleißes können der Wartungsaufwand und kostenintensive Stillstandszeiten verringert werden.

Strömungs- und Erstarrungssimulation

Die Simulation des Strömungs- und Erstarrungsverhaltens bei der Herstellung von TRIP-Matrix-Composites mittels Gießverfahren steht im Mittelpunkt der Forschungen im Teilprojekt C1 „Strömungs- und Erstarrungssimulation“. Dabei sollen insbesondere die Kenntnisse über die messtechnisch schwer zugänglichen thermofluidodynamischen Prozesse der Stahlschmelze erweitert werden. Die bisher entwickelten Simulationmodelle eröffnen die Möglichkeit, die fundamentalen thermofluidodynamischen Prozesse auf

der Mesoskala zu betrachten, z. B. in den einzelnen Poren der keramischen Durchdringungsgefüge. Hierbei kann bspw. der Wärmeübergang an der Grenzfläche zwischen der keramischen Matrix und der eindringenden Stahlschmelze direkt berechnet werden.

Für die simulative Beschreibung der **Infiltrierbarkeit von keramischen Schäumen** (μ CT-Bild in **Abb. 15**) mittels CFD (*Computational Fluid Dynamics*) wurde eine neue Methodik entwickelt. Dabei gelang es, die geometrische Varianz und damit auch den Rechenaufwand zu reduzieren. Nur die Merkmale Porosität, Porendichte bzw. -größe wurden variiert. Für dieses reduzierte geometrische Modell (Kelvin-Zelle, *siehe Skizze in Abb. 15*) wurde die Durchströmbarkeit (Druckverlust) in Abhängigkeit von der Durchströmgeschwindigkeit ermittelt (*siehe Diagramm Abb. 15*). In einem zweiten Schritt wurden die Bewegung der freien Oberfläche (Stahl/Gas) und deren Stabilität beim Infiltrationsvorgang

modelliert. Bei einem qualitativen Vergleich des Oberflächenverhaltens mit Ergebnissen aus Wasserexperimenten stellte sich das in OpenFOAM bereits vorhandene VoF-Modell (*Volume of Fluid*) als nicht geeignet heraus. Aufgrund des offenen Quellcodes konnte das Modell so modifiziert werden, dass eine gute Übereinstimmung mit dem Wasserexperiment erreicht wird. Dem neuen, verbesserten Modell wird eine wesentlich höhere Vorhersagegüte bezüglich der Stahlinfiltration zugesprochen. Es soll zukünftig auf die Durchdringungsgefüge aus der Gießformgebung (TP A1) und der bildsamen Formgebung (TP A5) angewendet werden, um so deren Infiltrierbarkeit (erzwungen oder aktiviert) zu überprüfen.

Für die **thermische Wechselwirkung von Stahl und Keramik** während der Infiltration wurde ein gekoppeltes thermofluidodynamisches Modell entwickelt. Es beschreibt die zeitlichen und räumlichen Temperaturverläufe während der Infiltration (ohne den Erstarrungsprozess) sowohl im Stahl als auch in der Keramik. Es wurden erste prototypische Simulationen für die Kelvinstrukturen durchgeführt. Von diesen Ergebnissen sind wichtige Hinweise auf die thermomechanischen Belastungen während der Beaufschlagung der Keramik mit dem flüssigen Stahl zu erwarten. Jedoch konnte bisher eine Validierung dieses Modells mithilfe von Prozessdaten (z. B. zu den Temperaturverläufen) nicht realisiert werden.

Für die flüssige Phase (Stahl) wurde ein **Erstarrungsmodell** (ohne die oben beschriebene thermische Kopplung mit

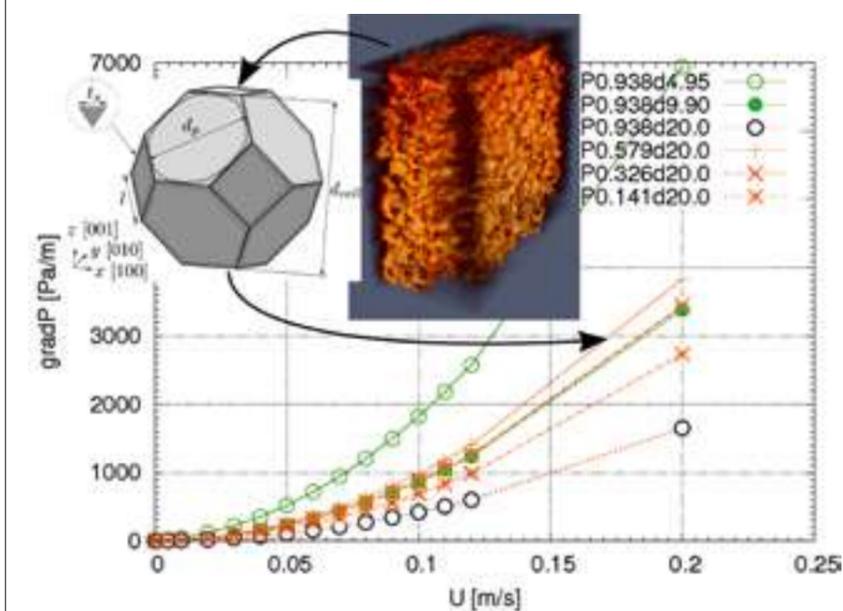


Abb. 15: Berechneter Druckverlauf in Abhängigkeit von der Durchströmgeschwindigkeit (Diagramm) und Kelvinstruktur (Skizze), die eine vereinfachte Form eines realen Schaumkörpers darstellt (μ CT-Bild)

der Keramik) in OpenFOAM implementiert. Erste Simulationsergebnisse für die Kelvinschäume liegen vor. Eine zur Validierung notwendige experimentelle Visualisierung des zeitlichen Verlaufs der Erstarrungsfront des Stahls in realen Durchdringungsstrukturen wird derzeit als noch nicht durchführbar angesehen. Als Alternative wird vorerst die Erstarrungsfront mithilfe von Modellschmelzen (wässrigen Ammoniumchloridlösungen) visualisiert. Zusätzlich wurden in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt C3 am IEST erste Tauchversuche von ZrO_2 -Kapillaren in Stahlschmelzen durchgeführt.

Thermisches Elektronenstrahl-Fügen

Neben der Entwicklung von Verbundwerkstoffen und deren Charakterisierung stellte sich der SFB 799 in der zweiten Förderperiode auch der Aufgabe, für mögliche Anwendungsfälle Verfahren und Technologien zur Herstellung komplexerer Bauteile zu untersuchen. Aus diesem Grund wurde das neue Teilprojekt A7 „Thermisches Elektronenstrahl-Fügen“ zum Fügen der neuartigen TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffe initiiert. Das Fügen ist eine wesentliche Voraussetzung für den späteren erfolgreichen Einsatz dieser Werkstoffsysteme in komplexen Bauteilen, z. B. in Hybridbauweise. Als mögliche Energiequelle bietet sich in hervorragender Weise der Elektronenstrahl (EB) an, der einerseits einen lokal präzisen, kurzzeitigen Energieeintrag ermöglicht und andererseits im Vakuum als inerte Atmosphäre arbeitet. Das IWT verfügt hierfür über eine EB-Universalanlage (K26-80/15) mit einem hochmodernen 3D-Hochgeschwindigkeits-Ablenkensystem (bis zu 100 kHz).

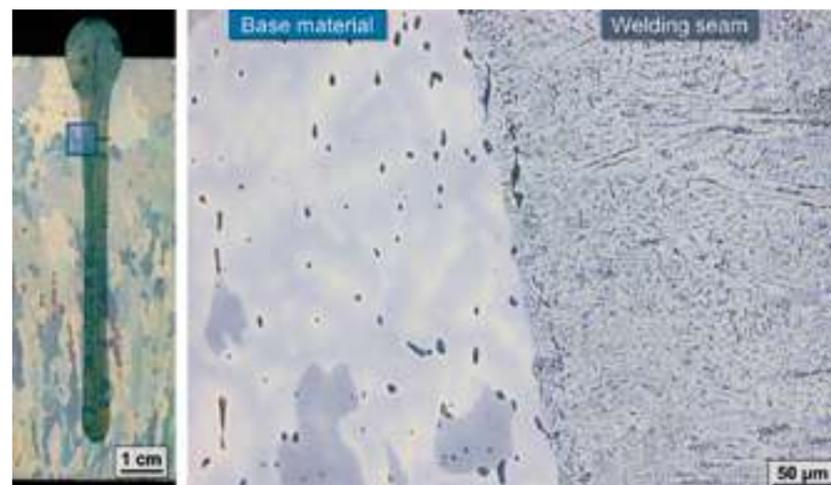


Abb. 16: EB-Schweißnaht mit einem Gefügeausschnitt aus dem Übergangsbereich Grundwerkstoff/Schweißnaht (16-7-9)

Ziel dieses Teilprojekts ist die Entwicklung werkstoffspezifischer sowie beanspruchungsgerechter thermischer EB-Fügetechnologien (Schweißen, Löten, Lötverschweißen). Dabei werden die verfahrensspezifischen Besonderheiten zur schnellen Strahlableitung genutzt, um mittels EB-Mehrspot-/Mehrprozess-Technik auch schwer schweißbare Werkstoffe „gefügt“ zu machen. Die Untersuchungen an den gefügten Werkstoffen erfolgen in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten im SFB 799. Es sollen die Wirkmechanismen der beim Fügen in den Basiswerkstoffen ablaufenden Prozesse erforscht und deren Auswirkungen auf Gefüge-/Eigenschaftsänderungen intensiv untersucht werden. Besonderes Augenmerk liegt auf der thermisch und/oder mechanisch induzierten Umwandlung der metastabilen Phasen im TRIP-Stahl mit ZrO_2 -Keramik sowie auf den Spannungen nach dem Fügen. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse sollen Vorgaben für die EB-fügegerechte geometrische Gestaltung, die Einstellung chemischer und physikalischer Parameter sowie das Werkstoffdesign erarbeitet werden.

Erste EB-Schweißversuche an hochlegierten TRIP/ TWIP-Stahlgusswerkstoffen 16-7-3, 16-7-6 und 16-7-9 offenbarten eine ausgezeichnete Schweißbarkeit. Mit der verfügbaren Strahlleistung konnten bis zu 26 mm tiefe, schlanke Schweißnähte erzeugt werden (vgl. Abb. 16). Hinsichtlich der Schweißnahttiefe gibt es kaum legierungsabhängige Unterschiede. Die Nähte sind riss- bzw. porenfrei, obwohl die Schweißungen ohne vorherige Beseitigung der Gushaut ausgeführt worden sind.

Infolge der schnellen Erwärmung und Abkühlung (ca. 10^3 K/s) beim EB-

Schweißen ist das Schweißnahtgefüge im Vergleich zum relativ grob dendritischen Grundwerkstoffgefüge sehr feinkörnig ausgebildet (vgl. Abb. 16, rechts). Die Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften erfolgte unter statischer Beanspruchung des Materials im Zugversuch, vergleichend für die Zustände ungeschweißt und geschweißt. Die Zugproben sind in allen Fällen außermittig, d. h. im Grundwerkstoff gebrochen. Die Ergebnisse belegen, dass es infolge der Schweißnaht zu keinem bzw. zu nur geringfügigem Abfall der Zugfestigkeit ($\Delta R_m = 30 \dots 40$ MPa) und der Bruchdehnung ($\Delta = 1 \dots 15\%$) kommt. Beim Werkstoff 16-7-6 ist sogar eine Verbesserung der mechanischen Kennwerte im geschweißten Zustand zu verzeichnen. Auch eine zehnfach höhere Dehnrate im Zugversuch führt zu keiner merklichen Änderung der Zugfestigkeit und der Dehnung für den geschweißten Zustand.

Charakterisierung der Eigenschaften von TRIP-Matrix-Compositen

Grenzflächen und mikrostrukturbezogene Deformationsmechanismen in TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffen

Das gleichlautende Teilprojekt B1 beschäftigt sich mit den Grenzflächen zwischen ZrO_2 -Keramik und TRIP-Stahl-Matrix sowie mit den mit der Mikrostruktur zusammenhängenden Deformationsmechanismen der Einzelkomponenten des Verbundwerkstoffs. Die speziellen Eigenschaften, wie bspw. die sehr gute Verformbarkeit der im SFB untersuchten Materialien, können durch das Auftreten verschiedener Mikrostrukturdefekte erklärt werden. Mikrostrukturdefekte sind allgemein Abweichungen von der idealen Kristallstruktur, bspw. Versetzungen, Stapelfehler, Zwillingsgrenzen, Korngrenzen oder Ausscheidungen. Insbesondere die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Mikrostrukturdefekten sind für die Ausprägung der Materialeigenschaften relevant und können für eine gezielte Entwicklung der Werkstoffe genutzt werden.

Die im SFB verwendeten TRIP-Stähle haben eine niedrige Stapelfehlerenergie. Das führt dazu, dass vollständige Versetzungen im Austenit sich in Partialversetzungen aufspalten und Stapelfehler entstehen. Diese ordnen sich während der plastischen Deformation zu sog. Deformationsbändern auf bestimmten Gleitebenen an, wie sie in Abb. 17 zu sehen sind.

In diesen Bändern ist die lokale Dichte der Stapelfehler extrem hoch, was zur Bildung von Zwillingen (Stapelfehlern zwischen jeder dichtgepackten Netzebene) und ϵ -Martensit (Stapelfehlern zwischen jeder zweiten dichtgepackten Netzebene) führt. Bei weiterer Verformung kommt es insbesondere an den Schnittpunkten verschiedener Deformationsbänder zur Keimbildung von α' -Martensit (siehe Abb. 17). Die aktivierten Deformationsmechanismen hängen außer von der chemischen Zusammensetzung des Stahls und der Temperatur auch von der Korngröße und -orientierung ab. Das bedeutet, dass sich verschiedene Körner gleichzeitig nach unterschiedlichen Deformationsmechanismen verformen. Die hohe Verfestigung und die gute Energieabsorption werden durch die Interaktion verschiedener Defektypen, insbesondere durch sich kreuzende Deformationsbänder sowie die Hinderniswirkung der Deformationsbänder für die Bewegung der Versetzungen erreicht. Mit röntgenografischen In-situ-Biegeversuchen konnte die Entwicklung der Mikrostrukturdefekte während der Deformation für Stahlvarianten mit verschiedenen Nickelgehalten verfolgt werden. In Abb. 18 ist die Entwicklung der Phasenanteile in Abhängigkeit von der Deformation aufgetragen. Die Verläufe der Anstiege der Versetzungsdichte und der Stapelfehlerwahrscheinlichkeit unterscheiden sich dabei deutlich. Mit dieser Methode ist es auch möglich, über die Ermittlung der Gitterspannungen die Stapelfehlerenergie der TRIP-Stähle abzuschätzen. Der Beginn und der Verlauf von Deformationsmechanismen können insbesondere im frühen Deformationsstadium nachvollzogen werden.

Werkstoffmechanische Modellierung des Verformungs- und Versagensverhaltens von partikelverstärkten Verbundwerkstoffen aus TRIP-Stahl und ZrO_2 -Keramik

Bei den im SFB 799 zu erforschenden Hochleistungsverbundwerkstoffen auf Basis von austenitischen TRIP-Stählen und teilstabilisierten Zirkoniumdioxid-Keramiken ist bei beiden Komponenten unter Beanspruchung eine martensitische Phasenumwandlung zu beobachten. In dem als Matrixwerkstoff eingesetzten TRIP-Stahl läuft die Phasenumwandlung verformungsinduziert ab. Dabei werden während der plastischen Verformung des austenitischen Ausgangsgefüges Verformungsbänder erzeugt, die ihrerseits als



Abb. 17: Invertierte ECCI (Electron Channeling Contrast Image)-Aufnahme des verformten CrMnNi-Stahls 16-7-3: einzelne Stapelfehler, Deformationsbänder und α' -Martensitkeime an Schnittpunkten und im Inneren der Bänder

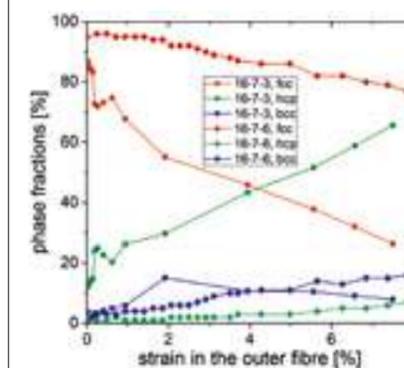


Abb. 18: Entwicklung der Phasenanteile der Stähle 16-7-3 und 16-7-6 mit der Dehnung, ermittelt im röntgenografischen Biegeversuch

bevorzugte Keimbildungsorte für Martensitkeime fungieren. Im Gegensatz zum Stahl erfolgt die Phasenumwandlung in der Keramik spannungsinduziert und führt zu einer messbar erhöhten Bruchzähigkeit der Keramik.

Das Ziel des Projekts ist die Formulierung eines makroskopischen Materialgesetzes für den Verbundwerkstoff, das neben dem elastisch-viskoplastischen Verhalten der metallischen Matrix auch die Phasenumwandlungen im TRIP-Stahl und im Zirkoniumdioxid sowie die dabei auftretenden Wechselwirkungen beschreiben kann. Zur Beschreibung des Verhaltens der einzelnen Komponenten des partikelverstärkten Verbundwerkstoffs werden mikromechanisch motivierte makroskopische Materialgesetze verwendet, deren Materialparameter anhand geeigneter Experimente ermittelt werden. Im Falle des TRIP-Stahls sind hierfür Zug- und Druckversuche bei verschiedenen Temperaturen und Dehnraten vorgesehen. Die so kalibrierten Modelle werden zur FEM-gestützten Simulation repräsentativer Volumenelemente genutzt. Die Ergebnisse dieser Simulationen tragen außer zur Klärung des in ein- und

zweiachsigen Versuchen beobachteten Werkstoffverhaltens zur Entwicklung eines Materialgesetzes für den Verbundwerkstoff bei.

Nach der Implementierung eines geeigneten Materialgesetzes für den TRIP-Stahl und dessen Validierung konnten die Parameter zur Beschreibung des Fließ- und des Umwandlungsverhaltens des Materials unter isothermer, quasistatischer Beanspruchung durch die Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems (Parameteridentifikation) ermittelt werden.

Charakteristisch für TRIP-Stähle ist das Auftreten von Wendepunkten in der Kraft-Verschiebungskurve. Bei der Entwicklung des Martensitvolumenanteils als Funktion der axialen Verzerrung ist eine gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation zu beobachten. Zur Verifikation der aus Zug- und Druckversuchen ermittelten Materialparameter wurde das Verformungsverhalten gekerbter Zugproben mit unterschiedlichen Kerbradien R simuliert und mit experimentellen Ergebnissen verglichen (Abb. 19).

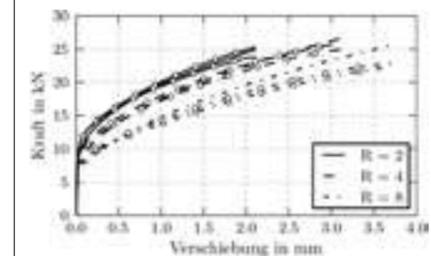
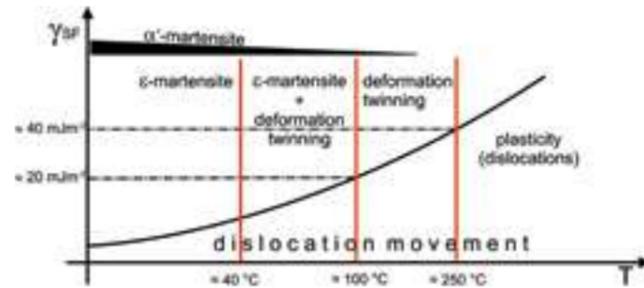


Abb. 19: Vergleich zwischen experimentell bestimmten (o) und simulierten Kraft-Verschiebungskurven gekerbter Zugproben

Mikrostrukturell basierte Modellierung des temperatur- und dehnratenabhängigen Fließverhaltens

Austenitische TRIP-Stähle sind kein Novum und bereits seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts Gegenstand detaillierter Untersuchungen. Trotzdem sind die Mikrostruktur und die Verformungsmechanismen bis heute nicht in ihrer umfassenden Gesamtheit verstanden. Durch verbesserte und neue experimentelle Analysemöglichkeiten ergibt sich aber aktuell ein viel größeres Potenzial, um die Struktur des Werkstoffs zu ergründen. Gezielte systematische Untersuchungen an verformten CrMnNi-TRIP-Stahlproben bilden die Basis für das Bemühen, die gewonnenen Erkenntnisse auf das Prinzip des Verbundwerkstoffs zu übertragen und die Veränderungen seiner Mikrostruktur nachzuvollziehen.

Abb. 20: Stapelfehlerenergie als Funktion der Temperatur und die auftretenden Deformationsmechanismen des TRIP-Stahls 16-7-6



Mit diesen Informationen können die mechanischen Eigenschaften interpretiert, die Verformungsmechanismen aufgeklärt und durch eine geeignete Quantifizierung der Mikrostruktur das Werkstoffverhalten modelliert werden. Dies ist die Aufgabe des Teilprojekts B2 „Experimentelle und modellgestützte Charakterisierung des Festigkeits-, Verformungs-, und Schädigungsverhaltens optimierter TRIP-Stahlmodifikationen bzw. TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffe“.

Die im TP B2 geprüften und mittels Lichtmikroskopie vorcharakterisierten Proben werden mittels Röntgenbeugung und EBSD hinsichtlich ihrer Feinstruktur untersucht, um die mechanischen Eigenschaften besser interpretieren zu können. Zusammen mit den Teilprojekten B1 und C3 wird gemeinsam an einem komplexen Modell für die Mikrostrukturentwicklung gearbeitet.

Durch Variation der chemischen Zusammensetzung des CrMnNi-TRIP-Stahls werden dessen Eigenschaften gezielt beeinflusst. Variiert man die Konzentrationen der Legierungselemente Chrom, Mangan und Nickel, so lassen sich das Verformungsverhalten und die resultierenden mechanischen Eigenschaften entsprechend den gewünschten Anforderungen anpassen, z. B. bei einer bestimmten Temperatur, Verformungsgeschwindigkeit oder einem definierten Verformungsgrad.

Die wichtigste Größe dabei ist die Stapelfehlerenergie, die das Verhalten der Versetzungen im Kristall entscheidend beeinflusst. Verändert sich die Stapelfehlerenergie, z. B. durch Erhöhen der Temperatur oder Änderung der chemischen Zusammensetzung, so wirkt sich dies auf die Versetzungsbewegung aus, und der Verformungsmechanismus ändert sich (Abb. 20).

Der im SFB 799 untersuchte CrMnNi-TRIP-Stahl unterliegt somit mehreren sich überlagernden Verformungsmechanismen. Deren gezielte Beschreibung und Modellierung ist eine herausfordernde Aufgabe.

Martensitische Phasenumwandlung

Ein charakteristisches Merkmal bei der plastischen Verformung austenitischer TRIP-Stähle ist das Auftreten von Verformungsbändern in den Körnern. Diese sind gekennzeichnet durch eine hohe Stapelfehlerdichte. Aufgrund der hohen Stapelfehlerkonzentration ändert sich in diesen Bereichen die Gitterstruktur scheinbar und kann durch die Methode der Elektronenrückstreubeugung (EBSD) im REM als hexagonal gemessen werden (Abb. 21). Dieses Phänomen ist aus der Literatur als ϵ -Martensit bekannt. An den Kreuzungspunkten der Verformungsbänder und an den Schnittpunkten mit einzelnen Stapelfehlern kommt es zur martensitischen Phasenumwandlung, die charakteristisch für diese Art von Werkstoffen ist. Von diesem Phänomen ist auch der Name TRIP-Stahl abgeleitet.

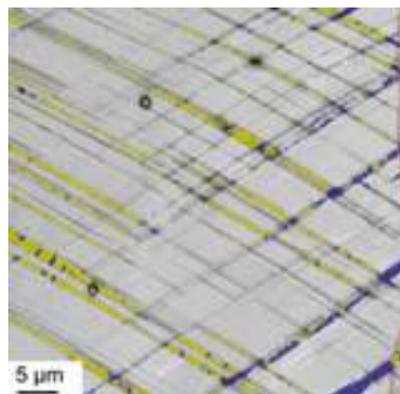


Abb. 21: EBSD Phasen-Darstellung: Verformungsbänder – teilweise als hexagonaler ϵ -Martensit messbar mit α' -Martensitkeimen darin, Farbkodierung: blau: bcc (α' -Martensit), gelb: hcp (ϵ -Martensit), grau: fcc (Austenit)

Zyklisches Verformungs- und Ermüdungsverhalten

Zahlreiche Bauteile und Strukturen sind während ihres Einsatzes alternierenden mechanischen Belastungen ausgesetzt, die zur Materialermüdung aufgrund von Dehnungslokalisierung, Anrissbildung und Risswachstum führen können. Die zentrale Aufgabe des

Teilprojekts B3 „Zyklisches Verformungs- und Ermüdungsverhalten“ ist deshalb die Charakterisierung des zyklischen Werkstoffverhaltens der Stahlguss-Matrix und der TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffe. Das umfasst die Aufstellung von Lebensdauer- sowie Risswachstumsgesetzen, die beim Werkstoffdesign für sicherheitsrelevante Bauteile essenziell sind. Zur Charakterisierung dieser Eigenschaften in allen Stadien der Lebensdauer kommen Low-Cycle-Fatigue- (LCF), Wöhler- und Rissfortschrittsuntersuchungen an servohydraulischen sowie Resonanzprüfmaschinen zum Einsatz. Zur Untersuchung des TRIP-Effekts und der Mikrostrukturentwicklung dienen u. a. die experimentellen Methoden der Licht- und der Rasterelektronenmikroskopie sowie magnetinduktive Verfahren.

Zyklisches Verformungsverhalten der Stahlmatrix und der partikelverstärkten Verbundwerkstoffe

Ziel der Untersuchungen der unverstärkten Stahlmatrix-Werkstoffe ist es, den Einfluss ihrer chemischen Zusammensetzung und der Austenitstabilität auf die Ermüdungseigenschaften zu erforschen. Magnetinduktive Messungen mittels eines Ferritscopes ermöglichen dabei die In-situ-Quantifizierung des α' -Martensit-Volumenanteils. Die Phasentransformation von Austenit in α' -Martensit resultiert in einer signifikanten Werkstoffverfestigung, die zu einer starken Beeinflussung der Lebensdauer des Materials führt.

Letztendlich konnte beobachtet werden, dass Stahl-Varianten mit höherer Austenitstabilität im LCF-Bereich eine größere Schadenstoleranz zeigen, während metastabilere TRIP-Stähle höhere Lebensdauern im HCF-Bereich erreichen. Diese Verbesserung der zyklischen Eigenschaften im HCF-Bereich ist auf eine dehnungsinduzierte Martensitbildung innerhalb lokal plastifizierter Bereiche zurückzuführen.

Die $\gamma \rightarrow \alpha'$ -Phasenumwandlung findet dabei, wie in Abbildung 22 dargestellt, in Deformationsbändern über den intermediären hexagonalen ϵ -Martensit statt.

Im Verbundwerkstoff führt die Kombination dieser Stahlmatrix-Werkstoffe mit Mg-PSZ-Partikeln zu einer Festigkeitssteigerung während der Wechselverformung. Diese ist umso ausgeprägter, je höher der Anteil der keramischen Phase und je kleiner deren Partikelgröße ist. Beide Faktoren beeinflussen auch die Lebensdauer, sodass eine je nach Anforderungen

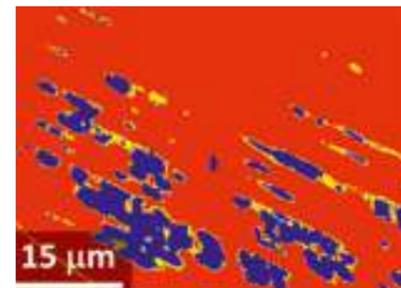


Abb. 22: EBSD-Aufnahme der Deformationsstrukturen nach dem Ermüdungsversuch bei einer Gesamtdehnungsamplitude ($\Delta\epsilon/2$) von 0,5 %: (rot) Austenit, (gelb) ϵ -Martensit, (blau) α' -Martensit, Belastungsrichtung vertikal

optimierte Zusammensetzung entscheidend ist.

2D-in-situ-Mikrostrukturuntersuchung des Verformungs- und Schädigungsverhaltens von TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffen

Für die vollständige Charakterisierung des Werkstoffverhaltens der TRIP-Matrix-Composite ist eine exakte Bestimmung der ablaufenden Verformungs- und Schädigungsmechanismen und deren Kinetik unumgänglich. Die Möglichkeit der hochaufgelösten Oberflächencharakterisierung mittels Rasterelektronenmikroskopie in Kombination mit gestoppten Versuchen in situ im REM bietet das Potenzial, die Entwicklung der Mikrostruktur und des Schädigungsverlaufs während der Beanspruchung zu analysieren. Durch die Variation der Verformungsart (quasi-statisch, zyklisch, Biegung) und der Verformungstemperatur (Temperaturbereich: $-100\text{ °C} < T < 800\text{ °C}$) können die Versuche gezielt auf die einzelnen Werkstoffsysteme Stahl/Keramik abgestimmt werden.

Lauschangriff auf TRIP/TWIP-Stahlguss-Legierungen zur Untersuchung der Kinetik der Verformungsmechanismen

Seit 2009 besteht ein enger Kontakt zwischen dem Institut für Werkstofftechnik der TU Bergakademie Freiberg und Herrn Prof. Alexei Vinogradov, jetzt am Department of Mechanical and Industrial Engineering an der Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegen. Prof. Vinogradov ist ein herausragender Wissenschaftler auf dem Gebiet der Anwendung der Schallemissionsmessung zur Charakterisierung des Werkstoffverhaltens unter verschiedenen Beanspruchungsbedingungen. Die enge Zusammenarbeit mit ihm wird

durch einen Austausch von Doktoranden intensiviert. Im Rahmen von Mercator-Gastprofessuren war Alexei Vinogradov im Jahr 2012 und erneut 2017 am Institut für Werkstofftechnik zu Gast. In dieser Zeit führte er gemeinsam mit Mitarbeitern des Instituts Experimente durch, bei denen die Schallemissionsmessungen auf die im SFB 799 neu entwickelten TRIP/TWIP-Stahlgusslegierungen angewendet wurden, um die ablaufenden Verformungsmechanismen besser zu verstehen und ihre Kinetik zu untersuchen.

Um den Einfluss der Austenitstabilität sowie der Temperatur und der Dehnrate auf die Veränderung der Verformungsmechanismen und deren Kinetik zu untersuchen, wurden die drei Basis-Stahlgussvarianten im Zugversuch bei Raum- und bei erhöhten Temperaturen (40 °C, 60 °C und 80 °C) sowie bei unterschiedlichen Dehnraten beansprucht.

Ein an der Probe im Bereich der Einspannungen applizierter Schallemissionssensor zeichnete während der Zugversuche in situ die akustischen Signale auf. Dies sind instationäre elastische Schallwellen, die an einzelnen Stellen im Werkstoff entstehen, wenn durch dort ablaufende mikrostrukturelle Vorgänge (Zwillingsbildung, Rissentstehung) spontan Energie frei wird. Die Schallemissionsmessungen eignen sich daher sehr gut, in situ während der plastischen Verformung die Kinetik der Mikrostrukturprozesse zu untersuchen. Die aufgenommenen akustischen Signale werden einer aufwändigen Auswertung unterzogen, bei der die Akustischen Emissionen (AE)-Signale hinsichtlich charakteristischer Parameter, wie z. B. der kumulativen Energie, analysiert und zu Clustern mit ähnlichen Eigenschaften zusammengefasst werden.

Durch diese von Prof. Vinogradov entwickelte, neue Methode der Cluster-Analyse war es möglich, für die drei untersuchten Stahlvarianten fünf charakteristische Cluster zu separieren: (1) Versetzungsbewegung, (2) Zwillingsbildung, (3) Stapelfehlerbildung, (4) Martensitbildung und (5) Portevin Le Chatelier-Bänder. In jeder der drei Stahlvarianten wurden davon jeweils bis zu drei unterschiedliche Cluster identifiziert. In Kombination mit detaillierten Untersuchungen der Mikrostruktur im Rasterelektronenmikroskop konnten diese Cluster dann eindeutig mit Mikrostrukturprozessen korreliert werden.

Zusätzlich zur Entwicklung der kumulativen Energie der AE-Signale ist in Abbildung 23 die technische

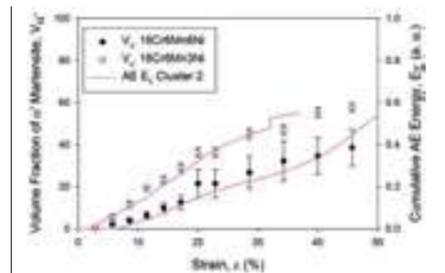


Abb. 23: Kinetik der martensitischen Phasenumwandlung. Vergleich der Entwicklung der Volumenanteile von α' Martensit, ermittelt aus Ferritcope-Messungen, mit der Entwicklung der kumulativen Energie des AE-Clusters „Martensit“

Spannungs-Dehnungskurve mit aufgetragen. Während für den Stahl mit 9 % Nickel neben dem Versetzungsgleiten (Cluster 1) deutlich die mechanische Zwillingsbildung identifiziert werden konnte (Cluster 2 und 3), werden im Stahl mit 3 % Nickel massive Stapelfehlerbildung (Cluster 3) und martensitische Phasenumwandlung (Cluster 4) beobachtet. Die aus den Ergebnissen der AE-Signalanalyse ablesbare Entwicklung des α' -Martensitanteils stimmt sehr gut mit experimentell aus Ferritcope-Messungen erhaltenen Werten überein (Abb. 23).

Elektrochemisches Korrosionsverhalten und Korrosionsschutz von hochlegierten TRIP-Stählen und TRIP-Matrix-Compositen

Für die Sicherstellung einer hohen Lebensdauer und Bauteilintegrität sind die Erforschung und Charakterisierung des Korrosionsverhaltens von Werkstoffneuentwicklungen für den späteren Einsatz von zentraler Bedeutung.

Auf Grundlage konventioneller Korrosionsprüfverfahren lässt sich das Werkstoffverhalten unter Einfluss aggressiver Medien bewerten und abschätzen. Die Korrosionsanfälligkeit wird hierbei wesentlich von den elektrochemischen Hemmungseigenschaften an der Werkstoff/Elektrolyt-Phasengrenze bestimmt. Für die im SFB 799 entwickelten TRIP-Matrix-Composite wurde die Initiierung elektrochemischer Korrosionsereignisse auf die Stabilität der Phasengrenze zwischen Stahlmatrix und Keramikpartikel zurückgeführt (Abb. 24).

Dieses Verhaltensmuster konnte sowohl im Labor- als auch im einjährigen Freibewitterungsversuch nachgewiesen werden. Außer dieser Übereinstimmung des Korrosionsverhaltens konnte gezeigt werden, dass bei geeigneter Wahl der

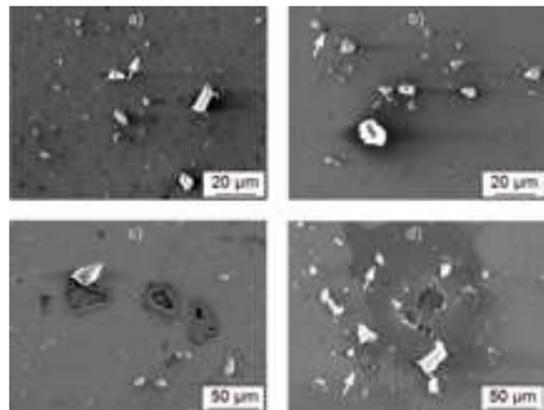


Abb. 24: REM-Aufnahmen eines TRIP-Matrix-Compositwerkstoffs nach zyklischer Polarisation in 5 Ma-%iger NaCl-Lösung bei unterschiedlichen Temperaturen. a) 25°C, b) 35°C, c) 45°C und d) 55°C

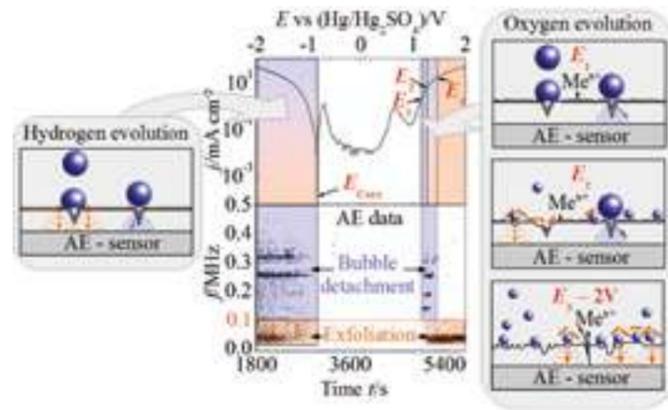


Abb. 25: Polarisationskurve und simultan detektierte AE-Ereignisse eines TWIP-Stahls sowie in Abhängigkeit vom Polarisationszustand identifizierte Korrosionsmechanismen

Beanspruchungsparameter die Versuchsergebnisse zeitintensiver Experimente bereits im Laborversuch abgebildet werden können. Eine Detektion derartiger Initiierungsprozesse ist demzufolge für die Vermeidung eines Korrosionsschadens unerlässlich. Sie bildet die Grundlage eines der Untersuchungsschwerpunkte im dritten Bewilligungszeitraum (2016–2020) des SFB 799. Ziel ist die Erforschung eines neuartigen Korrosionsprüfverfahrens zur Schadensfrüherkennung. Die Prüfmethodik soll durch eine Kombination von elektrochemischem Rauschen und akustischer Emission (AE) eine selektive Zuordnung simultan wirkender Korrosionsarten ermöglichen (Abb. 25).

Die elektrochemischen Rauschmessungen stellen dabei neben den konventionell angewendeten Polarisationsmethoden die Bezugsbasis für eine eindeutige Identifizierung der Korrosionsart dar. Die Ergebnisse der Rauschmessungen dienen anschließend als Referenz für die Korrosionsprüfung mittels akustischer Emission. Der Vorteil der akustischen Emissionsmessung gegenüber den elektrochemischen Prüfmethoden liegt hierbei in der Möglichkeit der selektiven Zuordnung der Signale durch eine Clusteranalyse sowie in der Ortsunabhängigkeit bei der Erfassung der Emissionssignale.

Initiativen zur Gewinnung von wissenschaftlichem Nachwuchs Schüler erkunden den Sonderforschungsbereich

Außer der unmittelbaren Forschung zur Entwicklung des neuen Verbundwerkstoffsystems widmet sich der SFB 799 auch der Gewinnung von Studenten und wissenschaftlichem Nachwuchs. Der SFB möchte in diesem Rahmen auch auf die

Studienmöglichkeiten an der TU Bergakademie Freiberg aufmerksam machen. Im Fokus steht dabei insbesondere der weibliche wissenschaftliche Nachwuchs.

Dazu nutzt der SFB die Möglichkeiten des **Schülerlabors „Science meets School - Werkstoffe und Technologien in Freiberg“** der TU Bergakademie Freiberg. 2006 initiierte und plante Prof. Horst Biermann diese Einrichtung und entwickelt sie seitdem gemeinsam mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Werkstofftechnik (IWT) und des Teilprojekts Öffentlichkeitsarbeit stetig weiter. Bei der Festveranstaltung zum 10-jährigen Bestehen des Schülerlabors blickten die Organisatoren auf die Ereignisse der letzten Jahre zurück und gaben einen ersten Ausblick auf zukünftige Projekte.

Das Schülerlabor eröffnet Schülerinnen und Schülern die Welt der Materialien. Durch eigenständiges Experimentieren in realen Forschungslaboren entdecken sie, wie entscheidend bspw. die Mikrostruktur eines Werkstoffs für dessen Eigenschaften ist. Das Angebot des Schülerlabors wird um ausgewählte Fragestellungen des SFB 799 erweitert. Dank seiner modernen Ausstattung werden bestimmte Untersuchungsschritte, z. B. die Betrachtung von Grenzflächenphänomenen, nachvollziehbar. Seit 2009 verfügt das Schülerlabor über ein eigenes Rasterelektronenmikroskop: Materialzusammensetzungen werden in hoher Auflösung sichtbar – und Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften und ihrem Einsatzspektrum auch für Schüler leichter verständlich. Das Freiburger Schülerlabor „Science meets School – Werkstoffe und Technologien in Freiberg“ ist eines der wenigen Schülerlabore Deutschlands auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und

Werkstofftechnik. Seit seiner Gründung haben mehr als 1.000 Schüler das Labor besucht – im Rahmen eines Klassenausflugs, aber auch als Bestandteil des naturwissenschaftlichen Unterrichts bzw. eines werkstoffbezogenen Wahlgrundkurses. Unter der Anleitung von Wissenschaftlern und engagierten Studenten entdecken 14- bis 18-jährige Schüler die Materialwissenschaften – und nicht wenige von ihnen ihr zukünftiges Studienfach.

Interaktive Projekte zur Schüleruniversität und zur Lehrerfortbildung

Unterricht mal ganz anders! Unter diesem Motto beteiligt sich der SFB 799 an zahlreichen Aktivitäten, die zum Ziel haben, junge Menschen für Natur- und Technikwissenschaften zu begeistern. Den Auftakt bildete die **„Forschungsexpedition Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“**. Auf Einladung des SFB 799 und mit Unterstützung der Universitätsleitung sowie der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM) präsentierte im Jahr 2010 eine Wanderausstellung acht interaktive Exponate rund um die aktuelle Werkstoffforschung.

Eine weitere Gelegenheit, Wissenschaftlern des SFB bei ihrer Arbeit über die Schulter zu schauen, haben die Teilnehmer der **Schüleruniversität**. In den Winter-, Sommer- und Herbstferien können Schülerinnen und Schüler in mehrtägigen Kursen bspw. selbst Stahl herstellen, Crashelemente testen, den inneren Aufbau von Werkstoffen mittels moderner Mikroskopie untersuchen oder zum Thema „Technischen Schadensfällen auf der Spur – Wie man Werkstoffversagen aufklärt“ die Ursachen für das Versagen von Bauteilen aufklären. Vorlesungen und Unternehmensexkursionen ergänzen das Angebot. Im Rahmen der Schüleruniversität bietet

das Schülerlabor eigene Sommerkurse an.

Unter dem Motto „Mädchen können Technik!“ laden Studentinnen der TU Bergakademie Freiberg interessierte Schülerinnen bspw. zum **Girls’ Day** ein. In verschiedenen Workshops können sich die Schülerinnen als Werkstoff-Forscherinnen ausprobieren – sei es beim Herstellen von Stahl, beim Emaillieren oder bei einem Ausflug in die Welt der Metallografie. Experimente rund um das Thema Werkstoffe sind nicht nur eine interessante Ferienaktivität. Versuche zur Erzeugung metallischer oder keramischer Werkstoffe, Experimente zu ihrem Verhalten unter Belastung oder Einblicke in Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften und ihrer Mikrostruktur bieten unmittelbare Anknüpfungspunkte zu Stoffgebieten der sog. MINT-Fächer. Die Schülerinnen erhalten somit die Möglichkeit, technische und naturwissenschaftlich geprägte Berufswelten zu erkunden.

Wie sich z. B. Untersuchungen zu den physikalischen und chemischen Eigenschaften von Festkörpern, Versuche zu den Volumenänderungen in Gießprozessen oder IT-Anwendungen zur Simulation des Werkstoffverhaltens in den Schulunterricht integrieren lassen, zeigt eine eigens dafür konzipierte Veranstaltung zur **Lehrerfortbildung**. Im Mai 2010 lud die TU Bergakademie Freiberg unter dem Motto „Vom Rohstoff zum Werkstoff und zum Produkt – Wissenschaftliche Phänomene aus Natur und Technik im Schülerexperiment“ Lehrkräfte aus Sachsen ein, in Workshops und Vorträgen Einblicke sowie didaktische Grundlagen zu Schülerexperimenten im Bereich der Werkstoffforschung zu erhalten. Die Folgeveranstaltung im Jahr 2014 fand in Kooperation mit dem Sächsischen Bildungsinstitut unter dem Thema „Neue Werkstoffe bei Metallen und Nichtmetallen (Verbundwerkstoffe)“ statt und brachte den Teilnehmern die Forschung des SFB 799 nahe.

Sonderforschungsbereich 799 organisiert Schülerwettbewerb

Eine weitere Initiative des SFB 799 ist die jährliche Durchführung eines **Schülerwettbewerbs** zum Thema Verbundwerkstoffe. In seinem Rahmen sollen die jungen Leute die folgenden Fragen näher betrachten: Wie entstehen eigentlich Verbundwerkstoffe? Welchen Einfluss haben Ausgangsmaterialien und Herstellungsverfahren auf die Eigenschaften eines Verbundwerkstoffs? Und wie lässt sich beispielsweise die Belastbarkeit eines



Abb. 26: Plakat zum Schülerwettbewerb 2014

solchen Werkstoffs überprüfen?

Im Jahr 2011 fand der erste Schülerwettbewerb für Schülerinnen und Schüler ab der Klassenstufe 8 unter dem Motto „Auf Biegen und Brechen“ statt. Aufgabe war es, einen Verbundwerkstoff zu entwickeln, der einer besonders hohen Biegebelastung standhält. Dazu stellte der SFB eine lufthärtende Modelliermasse zur Verfügung, die mit haushaltsüblichen Fasern verstärkt werden sollte. Neben der Werkstoffentwicklung standen des Weiteren Prüfmethoden im Fokus, z. B. ein 3-Punkt-Biegeversuch, um die Festigkeit und Verformbarkeit des selbst hergestellten Werkstoffs eigenhändig zu testen.

Seitdem wurde der Schülerwettbewerb jährlich durchgeführt. Im Jahr 2014 wurden die Schülerinnen und Schüler unter

dem Titel „Ei Caramba“ dazu aufgefordert, eine leichte, feste und zugleich flexible Crashstruktur zu entwickeln. Diese sollte ein Hühnerei schützen, indem sie Energie absorbiert. Ziel war, dass ein rohes Hühnerei einen Aufprall aus zwei Metern Höhe unbeschadet übersteht.

Die Gewinner werden in den Kategorien „Bester Verbundwerkstoff“, „Kreativste Herangehensweise“, „Bestes Protokoll“, „Beste Mädchenleistung“ und mit dem „Familienpreis“ für das beste Familienforscherteam ausgezeichnet und erhalten eine Einladung zu einem individuellen Forschertag an der Bergakademie. Sie können dann gemeinsam mit Wissenschaftlern des SFB 799 Labore besichtigen, selbst Experimente durchführen und sich die Forschungsaktivitäten des SFB 799 aus der Nähe ansehen.

Die Prämierung der Gewinner des Schülerwettbewerbs 2016 war der Höhepunkt der Festveranstaltung zum 10-jährigen Bestehen des Schülerlabors. Am 17. Juni 2016 überreichte Frau Dr. Simone Raatz (erste von rechts), Mitglied des Kuratoriums der Stiftung »Sachsen. Land der Ingenieure«, den Preisträgern und Preisträgerinnen ihre Urkunden und Preise (Abb. 27).

Der SFB 799 möchte mit diesem Wettbewerb Jungen und Mädchen dazu motivieren, selbstständig mit Verbundwerkstoffen und deren Eigenschaften zu experimentieren und Wissen aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht aktiv anzuwenden. Der Wettbewerb soll die Neugier und das Interesse der Schülerinnen und Schüler für die Bereiche Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sowie für die Herausforderungen in Forschung und



Abb. 27: Die Gewinner des SFB-Schülerwettbewerbs 2016

Entwicklung wecken und die Möglichkeiten für ein Studium in dieser Fachrichtung an der TU Bergakademie Freiberg aufzeigen.

Darüber hinaus wirkt der SFB 799 bei der **Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft** mit, die regelmäßig an der TU Bergakademie Freiberg durchgeführt wird, um der allgemeinen Öffentlichkeit, insbesondere Jungen und Mädchen, die Forschungsinhalte des SFB 799 leicht verständlich und spielerisch näherzubringen.

Erkenntnisstransfer zwischen Wissenschaft und Industrie

Von Beginn an verfolgt der SFB 799 den Aufbau eines engen Kontakts zwischen Wissenschaft und Industrie. Dazu dienen sowohl die Information der interessierten Öffentlichkeit wie auch das gezielte Ansprechen von möglichen Kooperationspartnern und potenziellen Anwendern. Darin besteht eine wesentliche Aufgabe des Teilprojekts „Öffentlichkeitsarbeit“ (TP Ö), das Informationen aus den einzelnen Teilprojekten sammelt, aufbereitet und für verschiedene Medien nutzt. Dazu gehören z. B. der Aufbau der SFB-Website (www.sfb799.tu-freiberg.de), spezifische Printmedien, wie Newsletter, Flyer, Informationsblätter zu speziellen Forschungsgebieten bis hin zu Präsentationen des SFB 799 auf relevanten Messen und Foren. Das TP Ö stellt die Informationen für den Bereich Öffentlichkeitsarbeit der Universität zur Nutzung auf der Uni-Website sowie den Presseverteiler der Hochschule bereit. Zur Veranschaulichung der Forschungen wurden bisher zwei Imagefilme zum SFB 799 und ein Video zur pulvermetallurgischen Verfahrensrouten konzipiert, produziert und u. a. über die Website des SFB 799 bzw. via Youtube abrufbar bereitgestellt.

Seit Beginn der dritten Förderperiode kooperiert der SFB 799 in drei Transferprojekten mit Industriepartnern und forscht gemeinsam mit diesen an konkreten Anwendungsfällen für die neu entwickelten Werkstoffe und deren Herstellungsverfahren.

Die hervorragenden Forschungsergebnisse der Wissenschaftler des SFB 799 fanden bei einer Vielzahl von

Preise und Auszeichnungen für Wissenschaftler des SFB 799

Die hervorragenden Forschungsergebnisse der Wissenschaftler des SFB 799 fanden bei einer Vielzahl von

wissenschaftlichen Konferenzen internationale Beachtung. Einzelne Wissenschaftler wurden mit nationalen und internationalen Preisen und Auszeichnungen für ihre Forschungsarbeit geehrt. Dies belegen die in *Tabelle 2* aufgeführten Würdigungen.

Wissenschaftlicher Output

Bisher haben 16 Doktorandinnen und Doktoranden des SFB 799 ihre Promotion erfolgreich abgeschlossen. Fünf Wissenschaftler haben sich in der Zeit ihrer Mitarbeit im SFB habilitiert. Weitere sechs Wissenschaftler haben ihre Absicht zur Habilitation erklärt. Fünf ehemalige bzw. noch aktive Teilprojektleiter wurden auf Professuren an der TU Bergakademie Freiberg bzw. an anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen berufen.

Seit der Einrichtung des SFB 799 im Jahr 2008 wurden zu den Forschungsarbeiten mehr als 400 hochwertige Publikationen in nationalen und internationalen Zeitschriften veröffentlicht.

Weiterführende Informationen können der Website des SFB 799 entnommen werden: www.sfb799.tu-freiberg.de

Tab. 2: Preise und Auszeichnungen für Wissenschaftler des SFB 799

Jahr	Name	Auszeichnung
2010	Dr. Yanina, Anna	Best Paper Award, 13. Werkstofftechnisches Kolloquium, Chemnitz
2011	Dr. Weidner, Anja, Prof. Biermann, Horst, Dr. Yanina, Anna, Dr. Guk, Sergey, Prof. Kawalla, Rudolf, Dr. Berek, Harry, Prof. Aneziris, Christos	3. Platz des Best Poster Award DGM (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde)-Tagung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Chemnitz
2011	Dr. Heuer, geb. Wenzel, Claudia, Dr. Weigelt, Christian, Prof. Aneziris, Christos	3. Platz des Best Paper Award DGM-Tagung Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, Chemnitz
2012	Prof. Biermann, Horst	DGM-Preis „Durchbruch“ für herausragende wissenschaftliche oder wissenschaftlich-technische Leistungen im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik
2012	Dr. Martin, Stefan	DGM-Nachwuchspreis für seine wissenschaftlichen Arbeiten zum temperaturabhängigen Verformungsverhalten von TRIP-Matrix-Verbundwerkstoffen
2012	Dipl.-Math. oec. Sieber, Tilo	Best Poster Award bei der CELLMAT 2012
2013	Prof. Biermann, Horst	Aufnahme in die Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz
2013	Prof. Martin, Ulrich	Tammann-Gedenkmünze der DGM
2013	Dr. Fabrichnaya, Olga	APDIC Best Paper Award
2014	Prof. Enke, Margit	Berufung als Sachverständige im Expertenkreis „Internationales Forschungsmarketing“ des BMBF
2014	Dipl.-Ing. Acker, Richard	Eduard-Maurer-Preis der TU Bergakademie Freiberg für die beste Diplomarbeit
2014	Dr. Ehinger, David	Bernhard-von-Cotta-Preis der TU Bergakademie Freiberg für die beste Dissertation
2015	Prof. Kuna, Meinhard	August-Wöhler-Medaille des Deutschen Verbandes für Materialforschung und -prüfung (DVM)
2015	Prof. Biermann, Horst	Aufnahme in die Sächsische Akademie der Wissenschaften
2015	M. Sc. Seupel, Andreas	Juniorpreis des Deutschen Verbandes für Materialforschung und -prüfung (DVM)
2015	Dr. Budnitzki, Michael	Bernhard-von-Cotta-Preis der TU Bergakademie Freiberg für die beste Dissertation

Intelligente Funktionshohlräume

Keramische Filter für die Metallschmelzefiltration Ein Beitrag zu Zero Defect Materials

Undine Fischer¹, Steffen Dudczig², Christos G. Aneziris³

Moderne, leistungsfähigere Werkstoffe und Herstellungstechnologien tragen wesentlich zur Innovationskraft der heutigen Gesellschaft bei. Nur die Industrienationen werden wettbewerbsfähig bleiben, denen es gelingt, mit Hilfe innovativer Technologien zu hochreinen, fehlerfreien Werkstoffen der Zukunft an die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Materialien vorzustoßen und so High-Tech-Produkte von Morgen zu entwickeln.

Hochreine, fehlerfreie Werkstoffe der Zukunft

Dünnwandige Aluminium-Komponenten für die Mobilität, hochbelastete Sicherheitsbauteile auf Basis Stahl für den Maschinenbau, elektrisch leitfähigere Elemente auf Kupferbasis in der Energietechnik oder halbleitende Materialien aus Recycling-Prozessen auf Si-Basis für die Solar- und Informationstechnik verlangen extreme Anforderungen hinsichtlich der im Bauteil befindlichen Verunreinigungen.

Beim Herstellungsprozess von metallischen Gusswerkstoffen befinden sich viele verschiedene Verunreinigungen in der Schmelze, die metallurgisch schwer oder gar nicht entfernt werden können. In *Tabelle 1* werden typische Anforderungen an den Reinheitsgrad von unterschiedlichen Stahlsorten für Stahlprodukte nach Zhang et al. aufgelistet [1].

- 1 Geschäftsführerin des SFB 920: Dr.-Ing. Undine Fischer, Institut für Keramik, Glas und Baustofftechnik
- 2 Erforschung der Reinheit des Stahl und der thermomechanischen Eigenschaften der keramischen Filter mit Stahl: Dipl.-Ing. Steffen Dudczig, gen. Institut
- 3 Sprecher des SFB 920: Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris, gen. Institut

Tab. 1: Typische Reinheitsgrade von Stahlqualitäten in Stahlprodukten nach [1]

Stahlprodukt	Maximale Einschlussgröße
Autoblech	100 µm
Dosen	20 µm
Stahlrohre	100 µm
Kugeln für Kugellager	15 µm
Dünnbramme	Einzel-Einschluss 13 µm, Cluster 200 µm
Draht	20 µm

Genau hier setzt der Sonderforschungsbereich 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ (SFB 920) mit der modellunterstützten Erforschung von funktionalisierten keramischen Filterwerkstoffen und Filtersystemen sowie dem Studium und der Aufklärung von Abscheidungs- bzw. Filtrationsmechanismen zur Reinigung von metallischen Schmelzen an. Mit einer Filteroberfläche

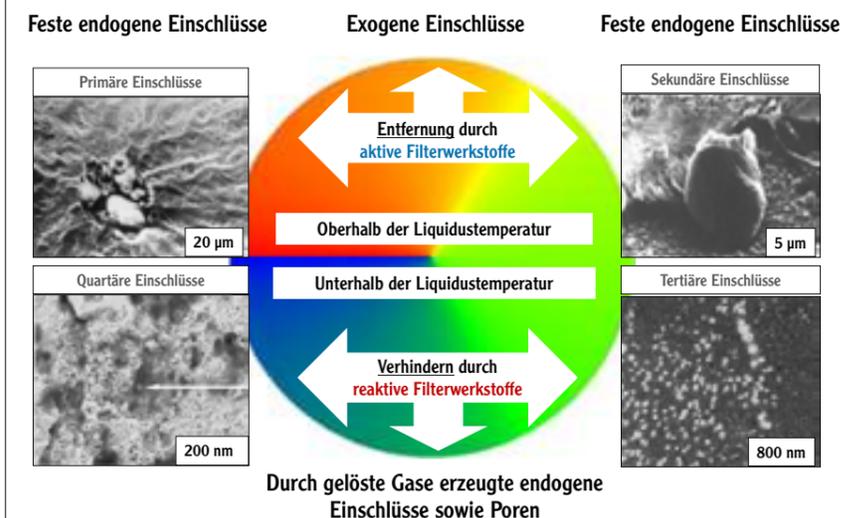


Abb. 1: Lösungsansatz im SFB 920 zur Entfernung von exogenen und endogenen Einschlüssen oberhalb der Liquidustemperatur bzw. zur Reduzierung von endogenen Einschlüssen unterhalb der Liquidustemperatur, Bilder rechts und links aus [4]



SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“

Kontakt: Sprecher des SFB
Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
09596 Freiberg
Tel. +49 3731 39-2505, Fax +49 3731 39-2419
Aneziris@ikgb.tu-freiberg.de
Weitere Informationen:
<http://tu-freiberg.de/forschung/sfb920>

auf Basis aktiver keramischer Beschichtungen (mit ähnlicher Chemie wie der der Einschlüsse) und in Kombination mit maßgeschneiderten Druckverhältnissen in den porösen Funktionshohlräumen der Filter wird angestrebt, die Abscheidung der Einschlüsse an der Filteroberfläche erheblich zu verbessern [2]. Einen weiteren Beitrag sollen reaktive Filteroberflächen leisten [3], die mit den in den Schmelzen gelösten Gasen reagieren und damit auch die Gasverunreinigungen und Einschlüsse, die unterhalb der Liquidus-Temperatur der Metallschmelzen entstehen, erstmalig deutlich reduzieren (*Abb. 1*).

Filtration von Metallschmelzen

Bei der Filtration von metallischen Schmelzen betrachtet man *a)* den Transport der Einschlüsse in der Metallschmelze, der von der Strömungsführung, der Größe und relativen Dichte der Einschlussteilchen, dem relativen Porendurchmesser

und der Vernetzung der Filterporen abhängig ist, und b) den eigentlichen Vorgang der Abscheidung der Einschlüsse an der Filterwand. Übliche Metallschmelzefilter sind Schaumkeramikfilter definierter Porengröße und Porengrößenverteilung mit hoher offener Porosität.

Die Abscheidung von nichtmetallischen Einschlüssen aus einer Metallschmelze erfordert ein erstes Eindringen der Schmelze in die Funktionshöhlräume (Poren und Kanäle) des keramischen Filters. Die Metallschmelze muss eine Energie gegen den Strömungswiderstand der Pore aufbringen sowie die Grenzflächenenergie zwischen Schmelze und Filtermaterial überwinden. Hinzu kommt der notwendige Wärmefluss für den Temperaturengleich zwischen Schmelze und Filter. Die Summe dieser Prozesse wird allgemein als Anlaufvorgang oder „Priming“ bezeichnet, und die erforderliche Energie für die Filtration wird von Metallschmelzen durch eine vorgesehene metallostatische Druckhöhe und/oder eine ausreichende Schmelzeüberhitzung geliefert.

Funktionalisierte keramische Filterwerkstoffe

Im Rahmen des SFB 920 werden u. a. neuartige, kohlenstoffgebundene Aluminiumoxid- und Magnesiumoxid-Filter bzw. Filtersubstrate für die Stahlschmelzefiltration erforscht. Im Vergleich zu den etablierten Zirkoxidfiltern besitzen kohlenstoffgebundene Filterwerkstoffe bzw. Filtersubstrate bessere thermomechanische Eigenschaften (Thermoschockbeständigkeit beim Angießen mit der heißen Metallschmelze und Kriechbeständigkeit bei größeren Filtergeometrien mit größeren Filtrationskapazitäten). Ein wesentlicher

Aspekt insbesondere bei der Herstellung größerer Filtergeometrien ist die geringere Schwindung von ca. 1% bei der Verkokung (bei 800 °C) im Vergleich zu den Zirkoxidfilterkeramiken mit Schwindungen im Bereich von 8 bis 16% bei Sintertemperaturen von ca. 1.600 °C. Damit stellen kohlenstoffgebundene Schaumkeramikfilter auch den idealen Substratwerkstoff dar, der mit aktiven bzw. reaktiven Schichten beschichtet und funktionalisiert werden kann. Mit Hilfe eines später graphitisierbaren Kohlenstoffträgers auf Basis eines synthetischen Pechs in Kombination mit geeigneten temporären Additiven zur Einstellung eines strukturviskosen Fließverhaltens (Zugabe eines Polycarboxylats) und guter Adhäsion (Wirkung eines Ligninsulfonats) des Schlickers an Polyurethanschäumen ist es gelungen, wässrige Suspensionen zu entwickeln, die mittels der Replika-Technologie in kohlenstoffgebundene Filterwerkstoffe bzw. Filtersubstrate überführt wurden [5].

Als funktionalisierte Schichten dienen Al₂O₃ (triklin), MgAl₂O₄ (kubisch), Mullit (orthorhombisch), MgO (kubisch)-C und Al₂O₃ (triklin)-C auf Al₂O₃-C-Filtersubstraten. Die mit den unterschiedlichen Schichten funktionalisierten Al₂O₃-C-Filter wurden in externen Vergleichs-Gießversuchen bei der Fa. Edelstahlwerke Schmees GmbH in Pirna (Mitglied des Industriebeirats des SFB 920) mit ca. 150 kg Stahlschmelze (1623 °C, 3 min Argonspülung, nach Al-Desoxidation 5,3 ppm Sauerstoff) pro Filtervariante (jede Filtervariante wurde mit vier Filtern mehrfach in einer sternartigen Gussform eingesetzt) gleichzeitig bei 1600 °C beaufschlagt. Vor den funktionalisierten Filtern wurden mit exogenen Al₂O₃ (triklin)-Einschlüssen (0–200 µm, d₁₀

3,5 µm, d₅₀ 69 µm, d₉₀ 190,6 µm, nur aufgetragen, nicht gesintert) kontaminierte Filterstrukturen platziert.

Durch die gezielte Einstellung der Grenzflächenspannungen an der Kontaktstelle feste Filterwand/fester Einschluss/metallische Schmelze ist es mit dem Auftragen von „aktiven“, reinen Al₂O₃-Beschichtungen gelungen, die höchste Abscheidungseffizienz für exogene und endogene Aluminiumoxideinschlüsse speziell im Größenbereich kleiner 10 µm zu realisieren (Tab. 2). Im Falle von prozessbezogenen Einschlüssen auf der Basis Al₂O₃-MgO-SiO₂ (AMS) – diese stammen aus dem Feuerfestmaterial auf Basis von Schamotte und aus dem Bindemittel auf Basis von Forsterit – weist die reaktive MgO-C-Beschichtung den größten Beitrag auf, insbesondere auch in den – für den Stahl kritischen – Einschlussklassen 10–50 µm und 50–90 µm. Die reaktive MgO-C-Beschichtung zeigt im Vergleich zur aktiven Al₂O₃-Beschichtung bei der AMS-Einschlussklasse 50–90 µm eine ca. 90%ige, höhere Abscheidung. Darüber hinaus gilt, je größer die Einschlussklasse bei den Al₂O₃-Einschlüssen wird, desto kleiner ist auch der Unterschied bei der Abscheidungseffizienz zwischen der aktiven Al₂O₃-Schicht und der reaktiven MgO-C-Schicht. Die funktionale Al₂O₃-C-Schicht zeigt gute Abscheidungswerte sowohl bei Al₂O₃- als auch bei AMS-Einschlüssen.

Reaktive und aktive Funktionalisierung durch Al₂O₃-C-Beschichtungen

Die kohlenstoffgebundenen Aluminiumoxidfilter mit einem Aluminiumoxidanteil von 70 Gew.% führten zu einer hohen Abscheidungseffizienz von Einschlüssen, sowohl von Al₂O₃-haltigen als

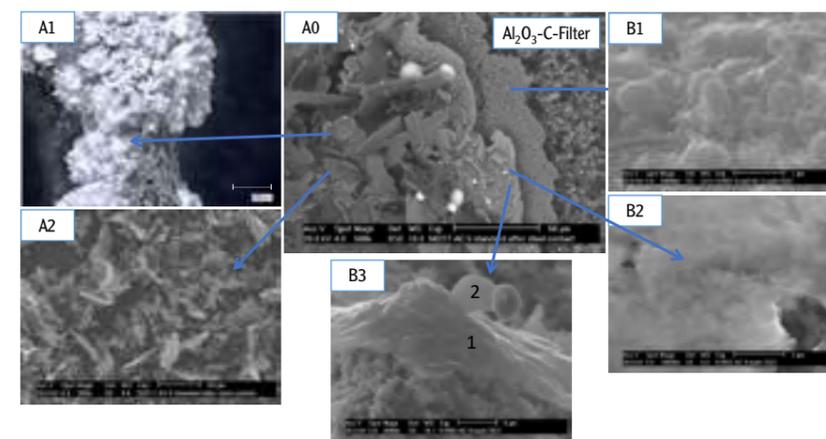


Abb. 2: Filter-Fingertestversuch mit einem Al₂O₃-C-Filterwerkstoff in einer Stahlschmelze mit 18 ppm Sauerstoff im Stahlgussimulator am IKGB in Freiberg. A1/A2: korallenartige Formation von plättchenartigen, endogenen Al₂O₃-Einschlüssen, B2: dichte, transluzente, kristalline α-Aluminiumoxid-Schicht mit der Dicke 100 bis 400 nm, B3: transluzente, kristalline α-Aluminiumoxid-Schicht (1) mit endogenen Al₂O₃-Partikeln (2), B1: Al₂O₃-Körnung (d₅₀ 0,5–0,8 µm) des Al₂O₃-C-Filters und eine deutlich feinere, in situ gebildete nanoskalige Al₂O₃-Körnung, A0: gesamter Schichtaufbau, Bruchbild [7]

auch AMS-haltigen Einschlüssen (Tab. 2). Dabei reagiert der Kohlenstoff des Filters mit dem Sauerstoff aus der Stahlschmelze bzw. mit der Al₂O₃-Körnung des Filters und führt zu in situ gebildeten, gasförmigen Reaktionsprodukten Al, Al₂O und AlO, die mit dem Sauerstoff (Aufoxidation) und dem Kohlenstoff aus der Stahlschmelze reagieren.

In Abbildung 2 wird die Oberfläche einer prismatischen Al₂O₃-C-Filter-Fingertest-Probe aus einem Stahlgussimulator-Test dargestellt, die für 30 sec bei 1.620 °C in einem Spinelltiegel mit 30 kg Stahlschmelze und einem Sauerstoffgehalt von 18 ppm getaucht und danach in einer Argon-geschützten-Schleuse abgekühlt wurde. Auf der Oberfläche wurden korallenartige Formationen von endogenen, plättchenartigen α-Al₂O₃-Einschlüssen mittels EBSD-Analyse (Electron Backscattering Diffraction) bei Raumtemperatur registriert (Abb. 2, A1, A2). Diese befinden sich auf einer dichten, dünnen, transluzenten, kristallinen α-Aluminiumoxid-Schicht

mit der Dicke von 100 bis 400 nm, die aus feinen in situ gebildeten Al₂O₃-Partikeln aus der carbothermischen Reduktion und Aufoxidation der Al₂O₃-Körnung (aus dem Al₂O₃-C-Filter) besteht (Abb. 2, B2). Unter dieser Schicht befinden sich die Al₂O₃-Körnung (d₅₀ 0,5–0,8 µm) des Al₂O₃-C-Filters und eine deutlich feinere, in situ gebildete nanoskalige Al₂O₃-Körnung (ca. 5 bis 80 nm) (Abb. 2, B1). Es handelt sich hier um eine weitere, in situ sekundär gebildete α-Al₂O₃-Körnung aus der Reaktion der Al, Al₂O- und AlO- Reaktionsprodukte (aus der carbothermischen Reduktion im Filter) mit dem Sauerstoff der Stahlschmelze. Die dünne, transluzente α-Aluminiumoxid-Schicht widerspiegelt das Oberflächenrelief der Al₂O₃-Körnung des Al₂O₃-C-Filters. Auf dieser dünnen, transluzenten, kristallinen α-Aluminiumoxid-Schicht scheiden sich feine, endogene Al₂O₃-Einschlüsse aus der Stahlschmelze ab, die als aktive Keim-Schicht für die Abscheidung, Bildung und Vernetzung weiterer endogener Einschlüsse fungiert (Abb. 2, B3). Damit

wurden bei den Al₂O₃-C-Filterwerkstoffen erstmalig ein reaktiver und ein aktiver Beitrag identifiziert.

Ein weiterer Mechanismus könnte auf der In-situ-Bildung von CO-Gasblasen basieren. Diese CO-Gasblasen könnten feinkörnige Einschlüsse mittels einer Art Flotation zur Oberfläche der metallischen Gussteile bzw. an die Formenschale oder den Speiser (Angusskörper am Gussteil) befördern.

Reaktive Funktionalisierung auf MgO-C-Basis

Außerdem konnte der reaktive Beitrag (Reduzierung des Sauerstoffgehalts in der Stahlschmelze) mit einer neuartigen MgO-C-Beschichtung um ca. 30% im Vergleich zu den mit Al₂O₃-C beschichteten Al₂O₃-C-Filtern gesteigert werden.

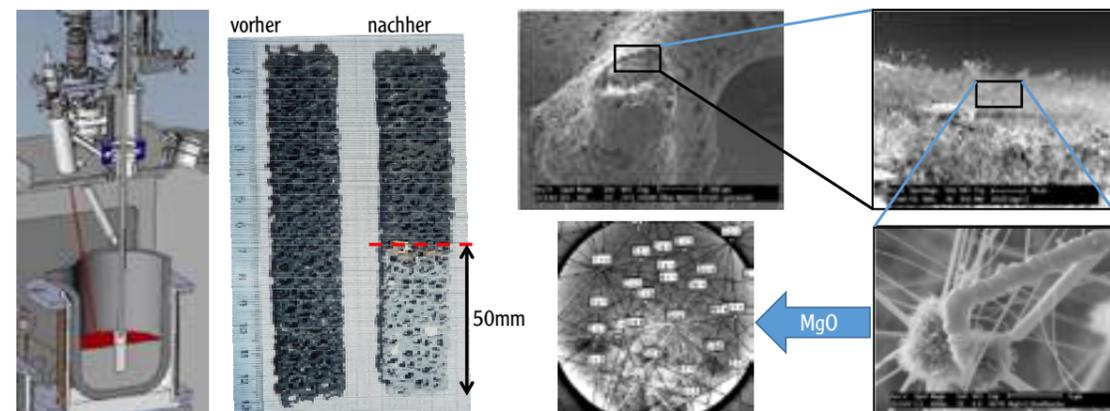
Die Wirkung der reaktiven MgO-C-Beschichtung wurde ebenfalls mit Hilfe von sog. „Fingertestversuchen“ erforscht. In Abbildung 3 (links) ist eine MgO-C-beschichtete Al₂O₃-C-Filterkeramik vor und nach einem Tauchversuch im Stahlgussimulator zu erkennen. Das Tauchen dieser Finger-Filterkeramiken führte zu einer Reduzierung des in einer 30 kg-Stahlschmelze (im Ausgangszustand 24 ppm Sauerstoff) gelösten Sauerstoffs um 3 ppm je 30 sec Kontaktzeit, bei drei Tauchversuchen mit drei unterschiedlichen Finger-Filterkeramiken innerhalb von 90 sec um 9 ppm. MgO reagiert mit dem Kohlenstoff des Filterwerkstoffs, wobei das MgO zu gasförmigem Mg reduziert wird, das anschließend mit dem im Stahl gelösten Sauerstoff sekundäre faserartige MgO-Abscheidungen bildet. Diese Faserstrukturen konnten mit Hilfe von EBSD-Analysen (ohne Probenpräparation) als Periklas (MgO) identifiziert werden (Abb. 3 rechts).

Der Beitrag der Reaktion des Kohlenstoffs des MgO-Filters mit der Stahl-

Tab. 2: Abscheidungseffizienz (Einschlüsse pro 3 cm Filterkeramik aus REM-Anschliffen) an verschiedenen aktiven und reaktiven Funktionsschichten [6]

Aluminiumoxid (Einschlüsse pro 3 cm)					Aluminiumoxid-Mullit-Spinell (AMS) (Einschlüsse pro 3 cm)		
MgO-C							
<10 µm	10–50 µm	50–90 µm	90–130 µm	>130 µm	<10 µm	10–50 µm	50–90 µm
4	29	14	11	10	232	261	53
Summe der Einschlüsse: 68				Summe der Einschlüsse: 546			
Al₂O₃-C							
<10 µm	10–50 µm	50–90 µm	90–130 µm	>130 µm	<10 µm	10–50 µm	50–90 µm
659	523	40	10	8	293	289	6
Summe der Einschlüsse: 1240				Summe der Einschlüsse: 588			
Mullit							
<10 µm	10–50 µm	50–90 µm	90–130 µm	>130 µm	<10 µm	10–50 µm	50–90 µm
171	200	50	11	13	154	302	13
Summe der Einschlüsse: 445				Summe der Einschlüsse: 469			
Al₂O₃							
<10 µm	10–50 µm	50–90 µm	90–130 µm	>130 µm	<10 µm	10–50 µm	50–90 µm
1280	1100	49	15	16	297	138	6
Summe der Einschlüsse: 2460				Summe der Einschlüsse: 441			

Abb. 3: MgO-C-beschichtete Al₂O₃-C-Filterkeramik vor und nach einem Fingertest-Tauchversuch (links), MgO-Sekundärfaser aus der Reaktion des gasförmigen Mg mit dem Sauerstoff aus der Stahlschmelze (rechts) [8]



Tab. 3: Anzahl der Einschlüsse in den Stahlschmelzen, klassifiziert nach der Einschlussgröße (-fläche)

Einschlussfläche (µm²)	Einschlüsse pro cm²											Gesamtsumme
	0.1-1	1-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-50	50-80	80-130	130-200	200-500	
Ohne Filter	1179	1045	327	417	444	108	40	19	4	1	1	3585
Al ₂ O ₃ -C, 10 s	21	152	152	195	118	23	16	9	3	0	0	689
Nano, 10 s	6	110	108	106	79	44	44	58	63	18	8	644
Al ₂ O ₃ -C, 300 s	57	274	129	168	199	103	83	29	14	3	8	1067
Nano, 300 s	3	25	35	62	59	58	68	30	11	16	4	371

schmelze wurde im Vergleich mit dem von reinen Al₂O₃-C-Filterkeramiken untersucht. Beim Einsatz von drei Al₂O₃-C-Filterkeramiken im „Fingertestversuch“ sank der Sauerstoffgehalt in der Stahlschmelze innerhalb von 90 sec um 6 ppm. Diese Wirkung ist sowohl auf die direkte Reaktion des Kohlenstoffs des Filters mit dem Sauerstoff aus der Stahlschmelze als auch auf die Reaktion der gasförmigen Al₂O- bzw. AlO-Reaktionsprodukte (aus der carbothermischen Reduktion des Al₂O₃ mit dem Kohlenstoff des Filters) mit dem Sauerstoff aus der Stahlschmelze zurückzuführen. Im Gegensatz zur reaktiven MgO-C-Beschichtung können die Al₂O- und AlO-Suboxide mit dem Kohlenstoff der Stahlschmelze zu Aluminiumoxikarbidern reagieren.

Funktionalisierte Keramikfilter zur Steigerung der Reinheit von Stahlschmelzen

Zum Einfluss der Oberflächenfunktionalisierung der Keramikfilter auf die Reinheit der Stahlschmelze wurden Vergleichsversuche in einem speziellen Stahlgussimulator durchgeführt. In *Tabelle 3* und *Tabelle 4* sind die Anzahl der Einschlüsse im Stahl nach der Art der eingesetzten funktionalisierten Filter (mit einer Al₂O₃-C-Schicht oder mit Kohlenstoffnanoröhrchen (Nano)) sowie der jeweiligen Verweildauer der Filter in der Stahlschmelze (10 und 300 sec) aufgelistet.

Bei allen vier Schmelzversuchen wurde der Stahl auf ca. 50 bis 60 ppm Sauerstoffgehalt aufoxidiert und anschließend mit der Zugabe von Al unter 10 ppm Sauerstoffgehalt desoxidiert. Danach folgte das Tauchen der Filter-Fingerproben in die Stahlschmelze. Nach dem Einfrieren der Stahlschmelze wurde diese anhand definierter Proben mit Hilfe eines automatischen Rasterelektronenmikroskops Aspek hinsichtlich der Population, der Größe und der Chemie der Einschlüsse charakterisiert. Als Referenz dienten Proben der ungefilterten Stahlschmelze mit der Kennzeichnung „ohne Filter“. Als Ergebnis der Untersuchungen wurden Filtrationseffizienzen von 50 bis 99% – je

Tab. 4: Anzahl der Einschlüsse in den Stahlschmelzen, klassifiziert nach der chemischen Zusammensetzung

Chemische Klasse	Einschlüsse pro cm²				
	Ohne Filter	Al ₂ O ₃ -C, 10 s	Nano, 10 s	Al ₂ O ₃ -C, 300 s	Nano, 300 s
Al ₂ O ₃	942	596	246	488	275
Mn-Spinell	63	50	6	54	6
Ca-Aluminat	0	0	1	0	0
Mg-Spinell	0	0	0	0	0
Al-Mn-Mg-Fe-Ca-Silicat	0	1	265	1	52
SiO ₂	45	1	5	8	0
MnO-MnS	2295	13	10	372	15
CaO-CaS	8	6	5	0	1
Andere	232	22	106	144	22

Abb. 4: Computergesteuerte Fertigung von Spaghettistrukturen mit Hilfe von Alginate-Gelierungsmitteln [10]



Abb. 5: Links: Partikel in XVis-Framework; Partikel mit Agglomeration, simuliert mit stochastischem Modell innerhalb instationärem Strömungsfeld und echter Filtergeometrie; Anzeige von Bahnlinien, Farbe ist Größe der Agglomerate: rot = abgelagert und Agglomerat der Größe 1 (orange), 2 (gelb), 3 (grün); Rechts: Visualisierung der Filtrationsprozesse in der CAVE am Institut für Informatik

nach Einschlussart – durch die Oberflächenfunktionalisierung der Keramikfilter erzielt [9].

Visionen für die Zukunft

Die bisherigen Ergebnisse haben bestätigt, dass bei der Erforschung neuer multifunktionaler Filterwerkstoffe und Filtersysteme zwei Strategien verfolgt werden müssen: Filtersysteme mit vereinten Filterfunktionen für den Formguss (Agglomeration von feinen Partikeln in den Funktionshöhlräumen und Abscheidung durch

Benetzung und Haftung an der aktiven Filterwand des Funktionshohlraums) sowie Filtersysteme mit geteilten Filterfunktionen (Agglomeration und Abscheidung der Partikel finden an unterschiedlichen Stellen statt) für kontinuierliche Gießprozesse, wie z. B. den Strangguss. Als Filterdesign dienen bisher funktionalisierte Schaumkeramikmakrostrukturen. Die zukünftige Forschungsarbeit wird sich auf die Anwendung von funktionalisierten Spaghettistrukturen (Abb. 4), porösen Keramikpapierstrukturen, Kugel-



Abb. 6: Ein Filtermodul (200 mm Durchmesser, 200 mm Länge) wird im Stahlgussimulator am IKGB in Freiberg getestet

bett-Kombinationen oder kombinierte Filtersysteme für die unterschiedlichen Filtrationstechniken der Metallschmelzen, Einschlüsse und Gießverfahren konzentrieren.

Um frühzeitig Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten zwischen den Filtrationsmechanismen und Filtereigenschaften zu erkennen, werden modernste Verfahren zur interaktiven Analyse der Filtrationsprozesse eingesetzt. In einer Virtual Reality CAVE werden erstmalig auf dem Gebiet der Metallschmelzefiltration alle gemessenen und modellierten Daten zusammengebracht, visualisiert und später analysiert (Abb. 5).

Längst begleitet ein Industriebeirat die Forschungsarbeiten der Freiburger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um frühzeitig Erkenntnisse und Erfahrungen auszutauschen sowie einen Transfer von Forschungsergebnissen in eine Anwendung zu unterstützen. Das von der DFG geförderte Transferprojekt mit der Fa. ThyssenKrupp Steel Europe AG ist ein Meilenstein für den Einsatz von neuartigen Filtereinheiten im Tundish-Bereich beim Stanggießen von Stahl [11].

Danksagung

Der Sonderforschungsbereich 920 wird dankenswerterweise aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG finanziert. Ein weiterer Dank gilt der Firma Edelstahlwerke Schmees GmbH in Pirna für die Unterstützung bei der Durchführung der Gießversuche unter industriellen Bedingungen und der Fa. ThyssenKrupp Steel Europe AG für die Mitwirkung im DFG-Transferprojekt.

Literatur

- Zhang, L., Plusckell, W.: Nucleation and growth kinetics of inclusions, *Ironmaking and Steelmaking*, 30 [2] (2003), pp. 106-110.
- Aneziris, C.G., Dudczig, S., Emmel, M.: Stahlschmelzefilter und Verfahren zu ihrer Herstellung. Patent-Nr.: 10 2011 109 681, Patenterteilung: 28.03.2014
- Aneziris, C. G., Emmel, M., Dudczig, S.: Stahl- oder Aluminiumschmelzefilter aus reaktiver Keramik. Patent-Nr.: 10 2011 109 684, Patenterteilung: 04.03.2014
- Ovtchinnikov, S.: Kontrollierte Erstarrung und Einschlussbildung bei der Desoxidation von hochreinen Stahlschmelzen. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2002.
- Dopita, M., Emmel, M., Salomon, A., Rudolph, M., Matěj, Z., Aneziris, C. G., Rafaja, D.: Temperature evolution of microstructure of turbostratic high melting coal-tar synthetic pitch studied using wide-angle the X-ray scattering method. *Carbon*, 81 (2015), pp. 795-802.

- Emmel, M., Aneziris, C. G., Schmidt, G., Krewerth, D., Biermann, H.: Influence of the chemistry of ceramic foam filters on the filtration of alumina based non-metallic inclusions, *Advanced Engineering Materials*, 15 [12] (2013), pp. 1188-1196.
- Dudczig, S., Aneziris, C. G., Emmel, M., Hubálková, J., Schmidt, G., Berek, H.: Characterization of carbon bonded alumina filters with active or reactive coatings in a steel casting simulator. *Ceramics International*, 40 [10B] (2014), pp. 16727-16742.
- Aneziris, C. G., Dudczig, C., Emmel, M., Berek, H., Schmidt, G. (2013): Reactive Filters for Steel Melt Filtration. *Advanced Engineering Materials*, Vol.15, Iss. 1-2, February 2013, pp. 46-59.
- Storti, E., Dudczig, S., Hubálková, J., Gleinig, J., Weidner, A., Biermann, H., Aneziris, C. G.: Impact of nanoengineered surfaces of carbon-bonded alumina filters on steel cleanliness. *Advanced Engineering Materials*, accepted: 03.04.2017, DOI 10.1002/adem.201700153.
- Aneziris, C. G., Dudczig, S., Emmel, M., Ode, C.: Verfahren zur Herstellung von kohlenstoffhaltigen keramischen Bauteilen. Deutsche Patentanmeldung, Aktenzeichen: 10 2015 221 853.8, Anmeldetag: 06.11.2015, Offenlegungstag: 11.05.2017
- Aneziris, C. G., Dudczig, S., Gehre, P., Schwarze, R. (alle TU Bergakademie Freiberg), Baaske, A., Karrasch, S., Schnitzer, H. (alle ThyssenKrupp Steel Europe AG): Keramische Filter und Filtersysteme für die kontinuierliche Metallschmelzefiltration. Deutsche Patentanmeldung, Aktenzeichen: 10 2016 106 708.3, Anmeldetag: 12.04.2016

Panta rhei: Strömungsmechanik in den Profillinien der TU Bergakademie Freiberg

Rüdiger Schwarze¹

Panta rhei – alles fließt, so beschrieben schon die alten Griechen den unaufhörlichen Fluss, den permanenten Wandel aller Dinge. Dieser Aphorismus charakterisiert auch einen Forschungsschwerpunkt der Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen: die

¹ Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Schwarze
Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen
Institut für Mechanik und Fluidodynamik
TU Bergakademie Freiberg

partikel- und blasenbeladenen Strömungen. Von entscheidender Bedeutung sind sie bspw. für die Erzaufbereitung in Flotationszellen und für die Herstellung und Verarbeitung von Stahl im Stranggießverfahren. In den unterschiedlichen Facetten des Forschungsprofils der TU Bergakademie Freiberg lassen sich viele weitere Beispiele finden.

Abbildung 1 skizziert und benennt einige der für diese Strömungen charakteristischen Phänomene, die für ihre

Untersuchung verfügbaren Analysemethoden sowie typische Anwendungen. Zu erforschen ist bspw. das Verhalten der Grenzflächen zwischen den unterschiedlichen Phasen, etwa zwischen emulgierten Schlacketröpfchen in einer metallischen Schmelze. Große Bedeutung haben außerdem die Wechselwirkungen der Phasen untereinander, wie z. B. der Impulsaustausch zwischen Gasblasen und Flüssigkeit in Blasensäulen.

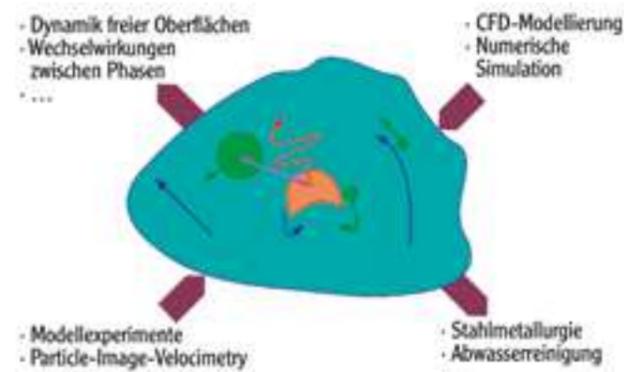


Abb. 1: Einzelne in einer Flüssigkeit (blau) dispergierte Partikel (grün) und Blasen (rot). Die einzelnen Phasen in dieser Strömung wechselwirken auf komplexe Weise miteinander.

An der Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen werden partikel- und blasenbeladene Strömungen in hochauflösenden numerischen Simulationen auf der Basis von CFD-Modellen (CFD für *Computational Fluid Dynamics*, numerische Strömungsmechanik) und durch Messungen mit modernsten optischen Messverfahren, wie z. B. der Particle-Image-Velocimetry, an Modellexperimenten analysiert.

Gemeinsam mit Kollegen aus anderen Instituten und Fakultäten wird an der Professur intensive Forschung an solchen Strömungen betrieben, bspw. im Zuge erfolgreich vorangebrachter Teilprojekte aus den beiden DFG-Sonderforschungsbereichen SFB 799 und 920, in Kooperation mit dem Zentrum für Innovationskompetenz ZIK Virtuhcon und im Rahmen der internationalen Helmholtz-Allianz „Liquid Metal Technologies LIMTECH“.

Im Folgenden sollen ausgewählte Ergebnisse aus aktuellen Projekten einen Einblick in die Komplexität, aber auch in die Schönheit von partikel- und blasenbeladenen Strömungen geben. *Abbildung 2* zeigt die Zerstäubung einer Stahlschmelze in einzelne Stahltröpfchen. Dieser Prozess wird im Rahmen des SFB 799 intensiv erforscht. Die Stahltröpfchen erstarren später zu kleinen Stahlpartikeln. Diese wiederum sind das Ausgangsmaterial für verschiedene pulvermetallurgische Verfahren, z. B. für die additive Fertigung von Werkstücken in sog. 3D-Druckern.

Die in *Abbildung 2* dargestellten Ergebnisse einer numerischen Simulation zeigen, dass die am Strahlzerfall beteiligten Prozesse durch das Aufprägen eines Dralls auf den Strahl wesentlich verstärkt werden können.

In *Abbildung 3* sind die Nachlaufströmungen hinter aufsteigenden Kugeln bei unterschiedlichen Aufstiegs- und Abstiegs- und Abfallgeschwindigkeiten zu erkennen. Die Kamera-Aufnahmen wurden im vertikalen Drallwasserkanal gemacht. Der Drallwasserkanal im Rahmen des ZIK Virtuhcon wurde für die Professur angeschafft, wo er einzigartige Forschungsmöglichkeiten bietet. Die Aufnahmen zeigen, dass es sehr komplexe Wechselwirkungen von langer Reichweite zwischen den Partikeln und der umgebenden Flüssigkeit gibt.

Diese beeinflussen auch das Schwarmverhalten von Partikeln bzw. Blasen entscheidend. Solche Zusammenhänge sollen in zukünftigen Forschungsprojekten der Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen im Detail erforscht und charakterisiert werden.

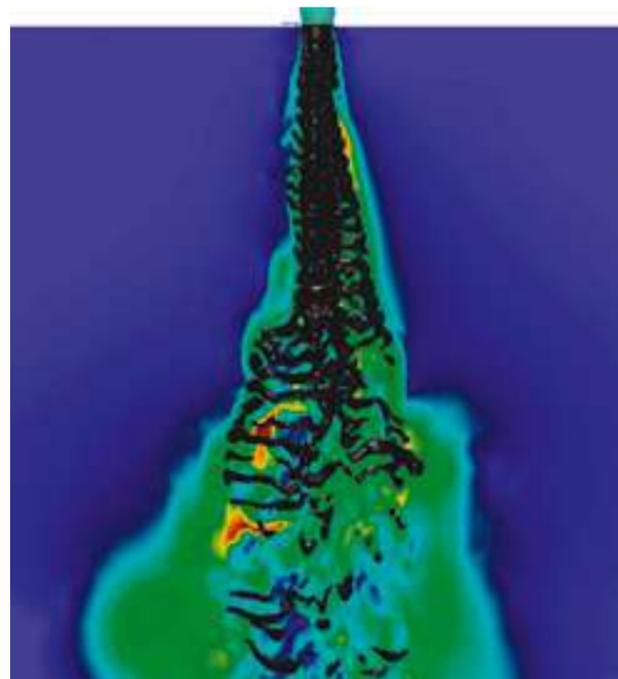


Abb. 2: Zerstäubung einer Stahlschmelze in einzelne Stahltröpfchen (dargestellt in Grautönen). Die Schmelze strömt von oben kommend als kompakter Strahl aus einer Düse senkrecht nach unten in eine Gasatmosphäre (farbiger Hintergrund, die Farbskala deutet mit blau geringe und mit rot hohe Gasgeschwindigkeiten an) aus. Die Oberfläche des Schmelzstrahls wird mit zunehmender Falldauer wellig und die Schmelze zerfällt in einzelne Fragmente.



Abb. 3: Nachlaufströmungen hinter aufsteigenden Kugeln; von links nach rechts nimmt die Aufstiegs- und Abfallgeschwindigkeit der Kugeln zu. Die Nachlaufströmungen sind durch einen speziellen Farbstoff sichtbar gemacht, der sich von der Kugelunterseite löst (Aufnahmen für Darstellbarkeit im Artikel nachträglich umgefärbt).

Ökonomische Konsequenzen von Ölpreisschwankungen

Andreas Horsch, Steffen Hundt und Daniel Schlothmann

Ölpreisschwankungen sind kein Phänomen der Neuzeit, sondern haben die Förderung und Verwendung des Erdöls von Anfang an begleitet. Die Frühzeit der industriellen Ölförderung im 19. Jahrhundert war geprägt durch eine zersplitterte Produktions-/Angebotsseite und volatile Preise, die erst im Zuge der zunehmenden Anbieterkonzentration um die Jahrhundertwende zurückgingen.¹ Im 20. Jahrhundert war der Ölpreis zunächst durch das Hinzukommen bzw. Ausscheiden einiger ölproduzierender Länder und den von ihnen forcierten institutionellen Wandel – aus dem die OPEC hervorging – einerseits sowie durch die Entwicklung der Nachfrage andererseits erheblichen Schwankungen unterworfen.

Nachdem die Veränderungen des Ölpreises bis zur ersten Ölpreiskrise 1973/74 eher moderat ausgefallen waren, nahmen sie im Anschluss daran deutlich zu.² So stieg der Preis für arabisches Rohöl zwischen Dezember 1972 (1,87 US\$/Barrel) und dem ersten Quartal 1974 (13 US\$/Barrel) um fast 700%. Bis Dezember 1978 bewegte sich der Preis dann in einer Bandbreite von 10–15 US\$/Barrel, bevor er sich im Zuge der zweiten Ölpreiskrise 1979/80 abermals (auf etwa 40 US\$/Barrel per Ende 1979) vervielfachte. Die Phase von 1981 bis 1986 gilt demgegenüber als die eines Gegenschocks, da die mittlerweile rückläufige Nachfrage aus den – aufgrund des vorherigen Ölpreisanstiegs in Rezessionen geratenen – Industrienationen und ein global steigendes Ölangebot einen erheblichen Ölpreisrückgang zur Folge hatten. So brach der Ölpreis allein im Jahr 1986 zeitweilig um zwei Drittel – auf unter 10 US\$/Barrel im Sommer des Jahres – ein, bevor er sich für die späten 1980er-Jahre in einer Bandbreite zwischen 10 und 20 US\$/Barrel einpendelte (*Abb. 1*).

Abgesehen von einem zwischenzeitlichen Anstieg im Zuge des Golfkriegs 1990/91 schwankte der Ölpreis in den 1990er-Jahren nur wenig und verblieb meist am oberen Rand der vorgenannten Bandbreite von ca. 20 US\$/Barrel. Infolge der Asienkrise 1997/98 sank er dann zunächst auf ca. 10 US\$/Barrel, bevor sich in den Folgejahren – u. a. getrieben durch die

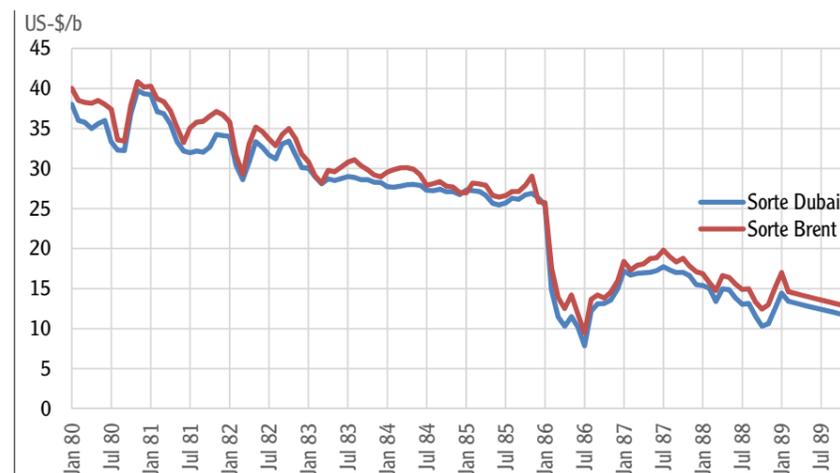


Abb. 1: Ölpreisentwicklung in den 1980er-Jahren

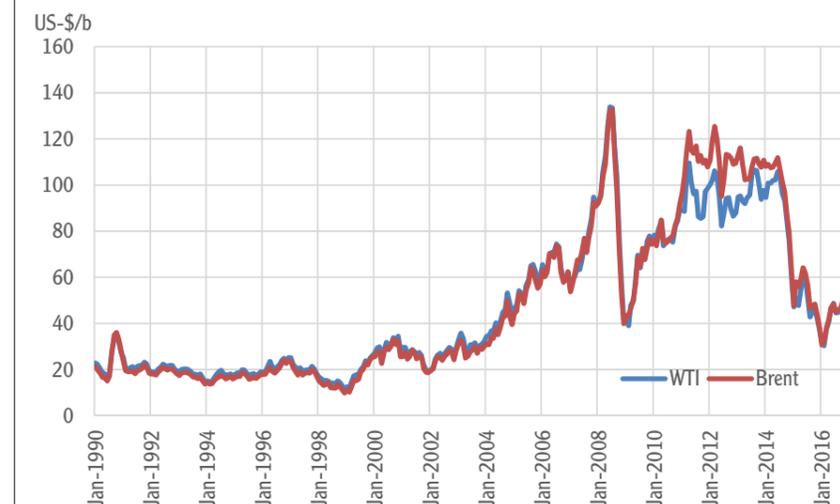


Abb. 2: Ölpreisentwicklung seit Anfang der 1990er-Jahre

stark steigende Nachfrage aus China – ein kontinuierlicher Preisanstieg entwickelte, der ihn auf ein Rekordniveau von etwa 140 US\$/Barrel im Sommer 2008 führte. Wie *Abbildung 2* überdies verdeutlicht, stieg außer dem Niveau auch die Volatilität des Ölpreises seit Beginn des neuen Jahrtausends erheblich an. Besonders massiv fiel die Preisniveauveränderung im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 aus, die die globale Ölnachfrage und mit ihr den Ölpreis innerhalb weniger Monate von 140 auf 40 US\$/Barrel einbrechen ließ.

Eine ähnlich große Schwankungsbreite zeigt sich auch seither: So fiel der Ölpreis, der sich zwischenzeitlich sogar wieder auf etwas über 100 US\$/Barrel erholt hatte, zwischen der zweiten Jahreshälfte 2014

und Anfang 2016 auf 30 US\$/Barrel und bewegte sich seitdem auf zuletzt etwa 50 US\$/Barrel zu.³

Nicht nur aufgrund der seinerzeitigen Dimensionen des Preisanstiegs, sondern auch in Anbetracht seiner massiven, bis heute fortwährenden Auswirkungen auf die Markt- und Unternehmensprozesse (und auch auf das staatliche Handeln) gilt die erste Ölpreiskrise als Zäsur. Es ist nur folgerichtig, dass die akademische Welt auf diese Krise – etwas zeitversetzt ab den frühen 1980er-Jahren – mit einer signifikant zunehmenden Zahl wissenschaftlicher Analysen zur Ölpreisentwicklung reagierte, darunter die von James D.

¹ Vgl. Dvir/Rogoff 2010; auch Pindyck 1999.

² Vgl. ausführlich Schlothmann 2016, S. 40ff.

³ Vgl. aktuell auch Demirbas et al. 2017.

Hamilton.⁴ Die meisten dieser Beiträge konzentrieren sich seither auf die USA, da diese *a*) als größter Nachfrager von Primärenergie und *b*) regelmäßig als volkswirtschaftliches Referenzmodell für ein Industrieland gelten.⁵

Die Ergebnisse dieser seither stetig wachsenden Zahl ökonomischer Analysen sind naturgemäß vielgestaltig, doch lassen sich in ihnen wichtige gemeinsame Nenner identifizieren. Aus heutiger Sicht trivial ist die Erkenntnis, dass „*the oil price matters*“, er also dem Grunde nach relevant ist für das Handeln zahlreicher Akteure (wie z. B. der Käufer und Halter von Kraftfahrzeugen) und mithin für die Entwicklung von Unternehmen, Branchen und ganzen Volkswirtschaften.⁶ Der Einfluss von Schwankungen des Ölpreises auf die Produzenten- bzw. Angebotsseite gilt (gerade in Ländern wie Deutschland, wo die Automobil- und die energieintensive chemische Industrie anerkanntermaßen Schlüsselbranchen sind) heute als idealtypisches Beispiel für ein Angebotschocks auslösendes Moment. Hinzu kommen jeweils erhebliche Auswirkungen auf die Nachfrageseite. Da jede Ölpreisschwankung die Unsicherheit der Verbraucher steigert und deren verfügbares Einkommen ad hoc erheblich verändert, reagieren diese zeitnah und merkbar mit Veränderungen ihres Nachfrageverhaltens – nicht nur in Bezug auf direkt oder indirekt ölpreisabhängige Produkte, sondern auch darüber hinaus: Ölpreissteigerungen reizen nicht nur zu spritsparenden Verhaltensmustern an, sondern auch zu einer geringeren Nachfrage nach anderen Gütern und Dienstleistungen. Aufgrund dessen sind Ölpreisschwankungen geeignet, mannigfaltige Spillover-Effekte auf die Realwirtschaft zu erzeugen, die praktisch jede Branche einer Volkswirtschaft – wenn nicht über die Produktions-, so über die Nachfrageseite – beeinflussen.⁷

Fokussiert wird hierbei primär auf solche Zusammenhänge, für deren Analyse auf umfassende Marktdaten zurückgegriffen werden kann: Da Investoren ihre Kauf- und Verkaufshandlungen maßgeblich auf

erwartete Ausschüttungen und Kurspotenziale stützen, wirken Ölpreisveränderungen über bzw. auf Märkte für andere *commodities*⁸ sowie über bzw. auf Finanztitel, wie insbesondere für die Aktienmärkte verschiedentlich gezeigt worden ist.⁹

Ölpreisveränderungen beeinflussen innerhalb einer Volkswirtschaft nicht alle Akteure bzw. Markt- und Unternehmensprozesse in gleicher Richtung, und auch ihr Nettoeffekt auf gesamtwirtschaftlicher Ebene hängt letztlich vom konkreten Einzelfall ab. Das Gros der Literatur widmet sich zwar Szenarien, in denen Ölpreissteigerungen negativ, -senkungen hingegen positiv auf die Gesamtwirtschaft wirken, doch gilt dieser Zusammenhang naturgemäß für erdölproduzierende bzw. nettoexportierende Länder nicht in dieser Form, wie zuletzt überdeutlich das Beispiel Venezuelas gelehrt hat. Bereits frühe Arbeiten deuteten auf einen signifikanten Zusammenhang zwischen Ölpreissteigerungen und Rezessionen der US-Volkswirtschaft hin.¹⁰ Im weiteren Verlauf erwies sich dieser Zusammenhang allerdings als asymmetrisch – dahingehend, dass die positiven Auswirkungen von Ölpreissenkungen gegenüber den ungleich massiveren negativen Folgen von Ölpreisanstiegen zu vernachlässigen sind.¹¹ Kontroverser diskutiert wurde insbesondere die Frage, inwieweit die Zusammenhänge zwischen Ölpreis und makroökonomischen Variablen linearer oder aber komplexer Art sind.¹² Ausgehend von den jüngsten Ölpreisschocks ist zudem gezeigt worden, dass die Zusammenhänge unabhängig von ihrer Komplexität in der Zeit nicht stabil sind: Vielmehr fielen die Reaktionen von real- und geldwirtschaftlichen Indikatoren auf den Ölpreis in der jüngeren Vergangenheit milder aus als in den vorangegangenen Perioden. Zurückgeführt wird diese abnehmende Relevanz bzw. Sensitivität u. a. auf die im Zeitablauf gesunkene Bedeutung des Erdöls für Produzenten und Konsumenten.¹³ Ursächlich für deren Ausweichen auf Alternativen sind wiederum die Krisenerfahrungen der Vergangenheit, so dass ein intertemporaler Wirkungsverbund zwischen verschiedenen Ölpreisschocks geschlussfolgert

werden kann. Vor allem aber haben jüngere Ölpreisrückgänge offenbart, wie sehr bisher die Sichtweise ölverbrauchender Volkswirtschaften überwog: Das aktuell niedrige Ölpreisniveau bedeutet für sie eine Erleichterung, für erdölproduzierende Volkswirtschaften – wie z.B. für Russland – indes eine spiegelbildlich wirkende Erschwernis.¹⁴

Ungeachtet der Tatsache, dass sich Theorie und Praxis intensiv mit dem Ölpreis auseinandersetzen, ist und bleibt dessen Prognostizierbarkeit gering.¹⁵ Folglich bleibt auch die Messung des hierin liegenden (Marktpreis-)Risikos – und erst recht dessen Steuerung – für die Marktteilnehmer schwierig. Zu verantworten haben sie das allerdings selbst, indem sie versuchen, dieses Risiko bestmöglich zu messen und vor allem zu steuern: Je größer die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß von Preisänderungen, desto größer auch der Anreiz zu weitgehender Risikovermeidung, mithin zum Ausweichen auf Alternativen zum Erdöl. Nicht nur ausgehend von den naturgemäß abnehmenden Reserven ist daher nachvollziehbar, dass die Wirtschaftsteilnehmer darauf hinwirken, ihre Abhängigkeit vom Öl(preis) und mithin dessen Rolle insgesamt zu reduzieren. Dass diesem Ziel entsprechende Diversifikationsstrategien nicht nur für Nachfrager, sondern auch für Anbieter von Erdöl ratsam sind, wurde jüngst am Beispiel Nigerias deutlich, dessen (Export-)Wirtschaft in extremer Weise öl(preis)abhängig ist.¹⁶ Begünstigt durch das damals hohe Ölpreisniveau verzeichnete Nigeria zwischen 2004 und 2014 eine Art Wirtschaftswunder, umgekehrt führten die Preisrückgänge der folgenden Jahre zu einem Einbruch des Kurses der Inlandswährung, der Exporterlöse, des (Staats-)Einkommens und damit auch der Bonitätseinstufung des Landes auf den Finanzmärkten. Die daraufhin gestiegenen Risikoprämien treffen Nigeria zwangsläufig und umso härter, als das Land gezwungen ist, das entstandene Haushaltsdefizit durch eine Ausweitung der sich gleichzeitig verteuernenden Staatsverschuldung zu kompensieren. Damit belegen die Konsequenzen für die wirtschaftliche Entwicklung in Nigeria besonders nachdrücklich die Relevanz von Ansteckungskanälen zwischen den Märkten für Öl und Finanztitel.¹⁷

14 Vgl. aktuell Schmidt et al. 2016.

15 Vgl. Baumeister/Kilian 2015; Lynch 2002.

16 Vgl. dazu etwa Babatunde 2015.

17 Aktuell zum Spillover-Effekt: Tule et al. 2017.

Der Anreiz zur Suche nach Substitutionsmöglichkeiten wächst mit jeder neuen Ölpreiskrise, und mit ihr die Wahrscheinlichkeit entsprechender Innovationen. Im Erfolgsfall wäre damit belegt, dass sich das Prinzip der schöpferischen Zerstörung im Sinne Schumpeters auch auf den Problembereich der Abhängigkeit der Wirtschaftsteilnehmer vom Öl erstreckt.

Abbildungsnachweis

1 Schlothmann (2016), S. 58; 2 In Anlehnung an: Schlothmann (2016), S. 63.

Ausgewählte Literatur

- Babatunde, M. A. (2015): Oil price shocks and exchange rate in Nigeria, in: International Journal of Energy Sector Management, Vol. 9(1), S. 2–19.
- Baumeister, C./Kilian, L. (2015): Forty years of oil price fluctuations: Why the price of oil may still surprise us, CFS Working Paper Series, No. 525, Frankfurt/M.
- Blanchard, O. J./Riggi, M. (2013): Why are the 2000s so different from the 1970s? A structural interpretation of changes in the macroeconomic effects of oil prices, in: Journal of the European Economic Association, Vol. 11(5), S. 1032–1052.
- Clemens, M. (2015): Ölpreise und makroökonomische Stabilisierung in offenen Volkswirtschaften, Wiesbaden 2015 (zugl.: Potsdam, Univ., Diss., 2014).

- Demirbas, A./Al-Sasi, B. O./Nizami, A.-S. (2017): Recent volatility in the price of crude oil, in: Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, Vol. 12(5), S. 408–414.
- Diaz, E. M./Molero, J. C./Pérez de Gracia, F. (2016): Oil price volatility and stock returns in the G7 economies, in: Energy Economics, Vol. 54, S. 417–430.
- Dreger, C. (2000): Moderate Produktions- und Beschäftigungseffekte steigender Rohölpreise, in: Wirtschaft im Wandel, Vol. 6(15), S. 456–459.
- Dvir, E./Rogoff, K. S.: The Three Epochs of Oil, Mimeo, 2010, http://scholar.harvard.edu/files/rogoff/files/three_epochs_of_oil.pdf
- Hamilton, J. D. (1983): Oil and the Macroeconomy since World War II, in: Journal of Political Economy, Vol. 91(2), S. 228–248.
- Hamilton, J. D. (1996): This is what happened to the oil price-macroeconomy relationship, in: Journal of Monetary Economics, Vol. 38(1), S. 215–220.
- Hamilton, J. D. (2003): What is an oil shock?, in: Journal of Econometrics, Vol. 113(2), S. 363–398.
- Hooker, M. A. (1996): What happened to the oil price-macroeconomy relationship?, in: Journal of Monetary Economics, Vol. 38(2), S. 195–213.
- Kilian, L. (2008): Exogenous Oil Supply Shocks: How Big Are They and How Much Do They Matter for the U.S. Economy?, in: The Review of Economics and Statistics, Vol. 90(2), S. 216–240.
- Lynch, M. C. (2002): Forecasting oil supply: theory and practice, in: The Quarterly Review of Economics and Finance, Vol. 42(2), S. 373–389.

- Mork, K. A. (1989): Oil and the Macroeconomy When Prices Go Up and Down: An Extension of Hamilton's Results, in: Journal of Political Economy, Vol. 97(3), S. 740–744.
- Nazlioglu, S./Erdem, C./Soytas, U. (2013): Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets, in: Energy Economics, Vol. 36, S. 658–665.
- Pindyck, R. S. (1999): The Long-Run Evolution of Energy Prices, in: Energy Journal, Vol. 20(2), S. 1–27.
- Sadorsky, P. (2012): Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies, in: Energy Economics, Vol. 34(1), S. 248–255.
- Schlothmann, D. (2016): Kurz- und langfristige Angebotskurven für Rohöl und die Konsequenzen für den Markt, Diss., Technische Universität Bergakademie Freiberg, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:105-qucosa-201396>.
- Schmidt, T./Döhrn, R./Grozea-Helmenstein, D./an de Meulen, P./Micheli, M./Ruijin, S./Zwick, L. (2016): Die wirtschaftliche Entwicklung im Ausland: Keine durchgreifende Besserung, RWI Konjunkturberichte, Vol. 67(1), S. 5–36.
- Segal, P. (2011): Oil price shocks and the macroeconomy, in: Oxford Review of Economic Policy, Vol. 27(1), S. 169–185.
- Tule, M. K./Ndako, U. B./Onipede, S. F. (2017): Oil price shocks and volatility spillovers in the Nigerian sovereign bond market, in: Review of Financial Economics, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rfe.2017.03.003>.

Das An-Institut DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg – Forschung für die Energieversorgung der Zukunft

Emily Schemmel, Hartmut Krause

Das An-Institut DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg (DBI-GTI), eine gemeinnützige private Forschungseinrichtung, ist eingebettet in die DBI-Gruppe. Es partizipiert damit einerseits von diesem starken Netzwerk der Energiewirtschaft über die Engineering-Mutter DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH (DBI GUT) sowie über den Gesellschafter DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) – und andererseits von der intensiven Forschungs Kooperation mit mehreren Instituten der TU Bergakademie Freiberg, insbesondere mit der Professur für Gas- und Wärmetechnische Anlagen.

Kontakt

DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg
Halsbrücker Straße 34
09599 Freiberg
(+49) 03731 41953-0
www.dbi-gruppe.de
info@dbi-gruppe.de



Als einziges Unternehmen in Deutschland bedient die DBI-Unternehmensgruppe die gesamte Wertschöpfungskette der Gasversorgung, angefangen von der Förderung über die Speicherung, den Netztransport bis hin zur effizienten, umweltschonenden Verwendung von Erdgas und gasförmigen erneuerbaren Energieträgern. Die DBI-Gruppe ist damit in den vergangenen Jahren zu einem in Europa einzigartigen Forschungs- und Entwicklungsunternehmen avanciert. Sie vereinigt in sich sowohl die Entwicklung neuer Technologien für den Einsatz regenerativer gasförmiger Energieträger als auch deren Einführung in die Praxis. Das DBI-GTI forscht in diesem Zusammenhang zu den grundlagenorientierten Fragestellungen. Als Mittler zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und Gaswirtschaft leistet die DBI-Gruppe einen Beitrag zur Etablierung einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Die Experten der DBI-Gruppe sind dabei sowohl in der anwendungsorientierten Forschung als

auch bei der praxisnahen Einführung der Forschungsergebnisse tätig. Unter dem Motto „Energie mit Zukunft. Umwelt und Verantwortung.“ ist das DBI-GTI Motor für Innovationen zur Durchsetzung der Energiewende in der deutschen Gaswirtschaft.

Unternehmensentwicklung

Keimpunkt waren die Arbeiten von Wilhelm August Lampadius, der als Professor für Chemie und Hüttenkunde von 1794 bis 1842 an der Königlich Sächsischen Bergakademie wirkte. Als einer der Urväter der deutschen Gaswirtschaft hat er die erste öffentliche Gaslaterne auf dem europäischen Kontinent errichtet. Seit dieser Zeit war die Erforschung auch gasförmiger Energieträger in Freiberg fortgeführt worden. Das Deutsche Brennstoffinstitut Freiberg (DBI) selbst war 1956 aus der Bergakademie Freiberg hervorgegangen und sollte als zentrale Struktureinheit die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der fossilen Brennstoffe bündeln. Ab 1966 wurde dort das Gasfach durch eine

eigene, schnell wachsende Abteilung repräsentiert. Mit der politischen Wende in den 1990er-Jahren setzte in den neuen Bundesländern ein Privatisierungsprozess ein. Während dieser Phase ist die DBI GUT 1991 aus den gastechischen Abteilungen des DBI hervorgegangen und musste sich in der deutschen und europäischen Forschungslandschaft behaupten. So fand die DBI GUT einen festen Platz zwischen den Forschungseinrichtungen des DVGW. Der zunehmende Anteil von öffentlich geförderten, grundlagenorientierten Forschungsprojekten in den 90er-Jahren und die veränderte Situation im Prüfwesen führten schließlich 1998 zur Gründung des DBI-GTI als 100%ige Tochter der DBI GUT, in der die grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten gebündelt wurden. Eine zunehmend engere Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg wurde drei Jahre später durch die Anerkennung des DBI-GTI als An-Institut nach außen hin dokumentiert.

Es ist seit jeher Strategie des Unternehmens, insbesondere solche Themen und Projekte anzufassen, die neue, innovative Technologien und Methoden erfordern. Hinsichtlich der rasanten Entwicklungen in der Energiewirtschaft wurde ein Ausbau der Unternehmen sowohl personell als auch räumlich unerlässlich. Die DBI-Gruppe hat in der vergangenen Dekade ein stetiges Wachstum im Engineering & Consulting, in der Forschung & Entwicklung sowie bei Prüfleistungen verzeichnet und sowohl das Personal als auch die Erträge mehr als verdoppelt. Der Mitarbeiterstamm in der DBI-Gruppe ist gegenwärtig auf über 90 Personen angewachsen; davon sind 42 im DBI-GTI tätig. Neben der Weiterentwicklung in der Unternehmensstruktur kam es auch zur Erweiterung der einzelnen Fachbereiche. Dabei wurden die bereits bestehenden erweitert und um die Fachgebiete Gasverfahrenstechnik sowie Energieversorgungssysteme/Erneuerbare Energien ergänzt. Die DBI-Gruppe ist damit die zweitgrößte Tochter im DVGW.

Die Fachbereiche und ihre aktuellen Forschungsthemen

Nachfolgend werden die wichtigsten aktuellen Entwicklungsarbeiten und Projekte sowie die einzelnen Fachbereiche selbst vorgestellt. Die Struktur (Abb. 1) ist sowohl in der DBI GUT als auch im DBI-GTI im Wesentlichen spiegelbildlich angelegt. Das DBI-GTI verfügt insbesondere über ein akkreditiertes Prüflaboratorium Energie sowie über ein Trainingszentrum für

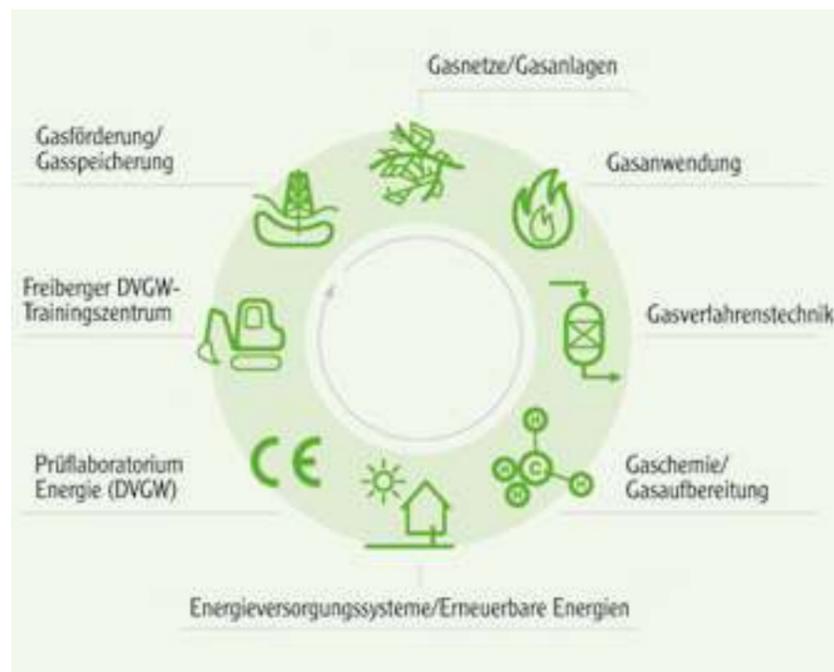


Abb. 1: Bereichsstruktur der DBI-Gruppe

Sicherheit in der Gasversorgung. Die DBI GUT betreibt darüber hinaus ein akkreditiertes gaschemisches Labor.

Gasförderung und Gasspeicherung

Der Schwerpunkt dieses Fachgebiets liegt u. a. im Bereich der Analyse sowie der Modellierung von Gasfeldern und Gasspeicherstrukturen mit all den Fragen zur Produktionsoptimierung bestehender Felder und Gasspeicher sowie zur Exploration neuer Strukturen für die Gasspeicherung. Ein wichtiges Themengebiet liegt bei der Untergrundgasspeicherung von Wasserstoff als einem regenerativen Energieträger der Zukunft sowie in der Tiefengeothermie. Des Weiteren werden thermodynamische Fragen untersucht, u. a. zur Phasenstabilität beim Transport von CO₂ durch die Bohrung und innerhalb der porösen Strukturen des Gesteins, zur Permeabilität des Gesteins - aber auch zur Integrität von Speichern und Bohrungen während des Betriebs sowie nach deren endgültigem Verschluss. Das DBI verfügt dazu über ein Gesteinslabor, in dem die Gesteinsparameter bzw. deren Veränderung unter realen Bedingungen ermittelt werden können. Im Rahmen der HYPOS-Initiative (*Hydrogen Power & Storage East Germany*) wird das DBI-GTI den ersten Wasserstoff-Untergrundgasspeicher in einer Kaverne der VGS Gasspeicher GmbH in Bad Lauchstädt errichten und als Forschungsplattform betreiben. Der Speicher soll an die bestehende

Wasserstoffversorgung der Linde AG für das mitteldeutsche Chemiedreieck angeschlossen werden und über eine Speicherkapazität von 7 Mio. m³ Wasserstoff verfügen. Darüber hinaus ist die DBI-Gruppe über die DBI GUT an der Errichtung und am Betrieb neuer Untergrundgasspeicher für Erdgas beteiligt.

Gasnetze und Gasanlagen

Das Potenzial bezüglich des Energietransports und der Speicherkapazitäten in deutschen Gasnetzen mit ihrer umfangreichen und sicheren Infrastruktur rückt aktuell deutlicher ins Blickfeld. So wurden, koordiniert durch das DBI-GTI, mehrere strategische Forschungsprojekte bearbeitet, die die Klärung von Problemen der Integration regenerativer Gase – wie Biomethan und Wasserstoff – in das deutsche Gasnetz zum Ziel hatten. Im Rahmen des Projekts KonStGas (Konvergenz von Strom- und Gasnetz) wurden Strategien zur Entlastung des Stromnetzes und zur saisonalen Speicherung großer Energiemengen erarbeitet. Gegenwärtig werden gemeinsam mit Partnern – wie der Mitnetz Gas und der ONTRAS – Pilotprojekte zur Aufnahme von auf Windstrombasis erzeugtem Wasserstoff („Power-to-Gas“) in ein Wasserstoffnetz sowie zur Umwidmung von Erdgasleitungen für den Wasserstofftransport erprobt. Ebenfalls im Rahmen der HYPOS-Initiative wird durch das DBI-GTI eine Forschungsplattform für die öffentliche Versorgung mit Wasserstoff

im Areal Wolfen-Bitterfeld errichtet. Auf dieser Forschungsplattform werden neue Materialien und Technologien für die zukünftige Gasversorgung entwickelt und erprobt. Des Weiteren arbeitet das DBI-GTI federführend an den Themen der Smart Gas Grids und der Integration erneuerbarer Energieträger in das Gasnetz. Beide Themenkomplexe sind engstens miteinander verbunden, da ohne eine Ertüchtigung der Funktionalität des Gasnetzes zum *Smart Gas Grid* die Aufnahme großer Mengen „erneuerbarer“ Gase nicht möglich ist.

Das Fachgebiet arbeitet zudem seit langem an neuen Möglichkeiten, die vorhandenen Assets auf die neuen Anforderungen vorzubereiten. Das betrifft insbesondere die Fragen der Ertüchtigung der Netze für die Anreizregulierung – mit Themen wie der zustandsorientierten Instandhaltung und der Lebensdauerprognose, zur Netzplanung von der Obertageanlage am Speicher bis hin zum Verbraucher sowie zur Unterstützung von Netzbetreibern in sicherheitstechnischen Fragen. Ferner unterstützt das Unternehmen seit vielen Jahren Gasversorger bei der Integration von Biomethan in ihre Netze. Zu erwähnen ist auch das europaweit einmalige Labor, mit dem die Permeation von Gas- und anderen Komponenten durch Rohrwände in anwendungsnahen Konfigurationen ermittelt werden kann. Die Versorgung mit Wasserstoff ist nicht nur in Deutschland ein wichtiges Zukunftsthema, sondern auch international. Dazu hat die DBI-Gruppe ein internationales Netzwerk aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen, HIPS.net gegründet, das den Informationsaustausch und die Normung der Einrichtungen/Verfahrensweisen zur Wasserstoffversorgung vorantreibt.

Gasanwendung

Dieses Fachgebiet hat seit seiner Gründung die effiziente Verwendung des Energieträgers Gas im Fokus, zunächst für Stadtgas, später bezogen auf Erdgas und Biogas sowie gegenwärtig auch auf Wasserstoff. Für diese Gasarten werden Anwendungssysteme entwickelt bzw. angepasst und erprobt. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der Thermoprozesstechnik, die die Energieeffizienz in der Industrie und die häuslicher KWK betrachtet. Im Technikum in Freiberg werden aber auch neu entwickelte Komponenten von Industrieöfen – wie Industriebrenner, Hochtemperatur-Wärmeüberträger und Feuerfestbauteile – unter praxisnahen Be-



Abb. 2: Masterstudent Daniel Bindernagel beim Einbau des Reaktors am Katalysatorerprobungsstand

dingungen mit bis zu einem MW thermischer Leistung getestet. Eine wesentliche Entwicklungslinie sind optische und akustische, minimalinvasive Sensoren zur Beurteilung und Überwachung von industriellen Feuerungssystemen im Betrieb. Dazu gehören bildgebende Verfahren, im Ultraviolettbereich zur Analyse der Radikalenverteilung in Flammen sowie im Infrarotbereich für die Thermographie und Sensoren zur akustischen Analyse. Ein weiterer Themenkomplex ist die Anpassung von industriellen Gasanlagen an die veränderliche Gasbeschaffenheit, wobei insbesondere der Einfluss erneuerbarer gasförmiger Energieträger (Biogas, Wasserstoff) auf Industrieprozesse untersucht wird.

Gasverfahrenstechnik (GVT)

Eine Umwandlung von Gasen durch chemische Prozesse findet in zahlreichen Industriesektoren statt. In der Regel werden für die Umwandlung Katalysatoren verwendet, um die Reaktionsgeschwindigkeit signifikant zu erhöhen bzw. eine Reaktion überhaupt erst zu ermöglichen. Als jüngstes Fachgebiet bearbeitet das GVT-Team die komplette Verfahrensentwicklung für chemische Prozesse, beginnend mit der verfahrenstechnischen Bilanzierung sowie der Testung von Katalysatoren einschließlich der Bestimmung der katalysatorspezifischen Reaktionskinetik, von Lebensdaueruntersuchungen, Alterungstests und anderen reaktionstechnischen Untersuchungen. Neben der Modellierung von Reaktoren werden auch mathematische Modelle sowie anwendungsorientierte Simulationen

von Thermoprozessanlagen, Wärmetauschern und Gasaufbereitungsanlagen erarbeitet und berechnet. Auf Basis dieser Modelle werden Demonstrationsanlagen entworfen, um genauere Einsichten in die technischen und wissenschaftlich zu beurteilenden Zusammenhänge für großtechnische Anwendungen zu gewinnen. Aktuell befasst sich der Bereich GVT mit der Wasserstoff-Verfahrenstechnik – sowohl für den Fall konventioneller als auch für alternative Verfahren der Wasserstoffherzeugung. Neben Erdgas wird dabei ebenso Biogas als Einsatzstoff betrachtet. In einem Kooperationsprojekt gemeinsam mit der TU Bergakademie wird eine Anlage für die dezentrale Wasserstoffherzeugung entwickelt. Darüber hinaus werden erfolgreich Entwicklungen für den Bereich Power-to-Chemicals vorangetrieben – mit der Zielstellung, chemische Grundstoffe wie Methanol, Dimethylether u. a. aus regenerativem Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid kosteneffizient herzustellen. Das Fachgebiet beteiligt sich daran mit Grundlagenuntersuchungen bis hin zur Technologieentwicklung. Im Technikum Freiberg wurde dazu eigens ein Labor zur Erforschung und Entwicklung von Brennstoffzellenkomponenten sowie zur Untersuchung von katalytischen Systemen eingerichtet (Abb. 2).

Im Rahmen der HYPOS-Initiative beteiligt sich das Fachgebiet an der Entwicklung einer Hausenergieversorgung mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellensystemen. Diese Arbeiten sind eingebettet in die Forschungsplattform für die öffentliche Versorgung mit Wasserstoff im Territorium Wolfen-Bitterfeld.

Gaschemie und Gasaufbereitung

Für dieses Fachgebiet hat das DBI-GTI in Leipzig ein Entwicklungslabor zur Gas-aufbereitung. Forschungsschwerpunkt sind gegenwärtig Membrantrennungsvor-fahren auf der Basis keramischer Materia-lien. Diese dienen einerseits der Reinigung von Erdgasen in der Förderung und im Transport, dabei auch zur Abtrennung in-teressanter Spuren von Begleitgasen wie Propan und Butan oder Wasserstoff und Helium vom Methan. Die Entwicklungen sind sowohl auf die Untersuchung neuer Membranmaterialien als auch auf die Verfahrenstechnik der Gasaufbereitung gerichtet. Die Arbeiten sind eng verbunden mit der Untergrundgasspeicherung von Erdgas und Wasserstoff. Darüber hinaus betreibt die DBI GUT ein akkreditiertes gaschemisches Labor, das in seiner Funk-tion weit über die einer Querschnittsabtei-lung hinausgeht. Dazu werden deutsch-land- und europaweit alle routinemäßigen Qualitätsanalysen für Erdgas, aber auch für technische Gase der Hersteller Linde und Air Liquid durchgeführt. Dazu gehö-ren: Standardanalysen zur Gaszusammensetzung und zu den Spurenkomponenten, die Überwachung der Odorierung, die fachliche Begleitung bei der Umstellung von Odormitteln und vieles mehr. Ferner berät die Abteilung Gasversorger in Fragen der Einspeisung von Biogas und Wasserstoff in Pipelinenetze.

Energieversorgungssysteme/ Erneuerbare Energien

Die Energieversorgung hat sich in den letzten 100 Jahren stark verändert und muss sich zukünftig einer Reihe von technologischen, ökologischen und gesellschaftlichen Fragen und eben auch Herausforderungen stellen. Das Fachgebiet beteiligt sich aktiv an diesem Prozess, u. a. zu den Themen: Analyse und Optimierung von Energieversorgungssystemen, wirtschaftliche Integration von Erneuerbaren Energien in diese Systeme sowie Wärmebedarfs- und Systemanalysen. Dazu verfügt das DBI-GTI über eine einzigartige GIS-Datenbank, in der nahezu sämtliche deutschen regenerativen Energieerzeuger (Wind, PV, Biogas, Wasser) verzeichnet sind, annähernd der gesamte deutsche Gebäudebestand mit seinen wesentlichen Energieverbrauchsparametern sowie das Gasversorgungsnetz. Diese Datenbank ist die Grundlage für zahlreiche Forschungsprojekte zur Weiterentwicklung der Energieversorgung – ob dezentral oder zentral – auf Basis regenerativer Energieträger.



Abb. 3: Einige unserer Studenten im DBI Studentenbüro: Jenny Etzold, Katja Perlet, Daria Klein und Oscar Mauró Flores sammeln Praxiserfahrung für ihr Studium (v.l.n.r.)

Des Weiteren verfügt das DBI über mehre-re kleintechnische Versuchsanlagen zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus konventionellen und nichtkonventionellen Substraten. Diese Anlagen gehen in ihrer Auslegung deutlich über den Labormaßstab hinaus (Fermentervolumen ca. 3 m³). Neben Fragen der Prozessstabilität und der Effizienzsteigerung werden Projek-te zur Vermeidung bzw. Entfernung von kritischen Spurenkomponenten (O₂, H₂S, Si-Verbindungen) bei der Einspeisung von Biogas in die öffentlichen Versorgungs-netze bearbeitet. Über die DBI GUT über-nimmt das Fachgebiet die Wartung von Klär- und Biogasanlagen. Damit ist die DBI-Gruppe in ein sehr großes Netzwerk von Biogaserzeugern eingebunden, für die ebenfalls Fragen der Anlagenentwicklung bearbeitet werden.

DVGW-Prüflaboratorium Energie

Für Gasgeräte, Feuerstätten und Ar-maturen gelten strenge Auflagen, um einen langen und sicheren Lebenszyklus zu ermöglichen. Das akkreditierte DVGW-Prüflaboratorium Energie ist in-ternational anerkannt und verfügt über umfassende Kompetenzen, kraft derer es Baumusterprüfungen gemäß den gel-tenden nationalen und internationalen Standards durchzuführen autorisiert ist:

- Prüfung von Gas- und Ölgeräten
- Prüfung von Gas- und Wasserarmaturen
- Prüfung von Wärmeerzeugern für feste Brennstoffe, insbesondere regenerati-ver Art, wie Holz, Pellets, Stroh u.a.

Freiberger DVGW-Trainingszentrum Erdgas

Wissen vermitteln, Kompetenzen wei-tergeben: Ausbildung findet ebenfalls

ihren Platz im An-Institut DBI-GTI. Seit langem unterstützt das Unternehmen den DVGW e. V. bei der berufsbegleitenden Weiterbildung. Die Freiberger Gastech-nik-Studenten werden in diese Ausbildung einbezogen. Die DBI-GTI fühlt sich aber auch verpflichtet, neue Erkenntnisse aus der eigenen Forschung zu verbreiten. So wurden vor mittlerweile mehr als acht Jahren die DBI-Fachforen ins Leben geru-fen. Durch die hohe Kompetenz des DBI auf all den genannten Gebieten seiner F&E-Tätigkeit – zu auch sensiblen The-men – findet dieses Format großen An-klang. Eine Vertiefung einzelner Themen wird in speziellen Seminaren für kleinere Teilnehmerkreise zusätzlich angeboten.

Enge Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg

Die vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen der TU Bergakademie Freiberg und dem An-Institut DBI-GTI ist in vieler Hinsicht fruchtbar. U. a. unterstützt das DBI-GTI jährlich ca. 30 Studenten wäh-rend ihrer Ausbildung durch die Betreu-ung von Abschlussarbeiten und durch betriebliche Praktika (Abb. 3). Des Wei-teren findet durch die Kooperation mit der Universität und weiteren Hochschulen ein enger fachlicher Austausch statt – etwa in Form der Unterstützung der Lehre durch unsere wissenschaftlichen Mitarbeiter. Neben regelmäßigen Fachvorlesungen werden auch Praxisseminare im DVGW-Demonstrationszentrum Gastechologie der DBI-GTI durchgeführt, u. a. zu Themen der Gerätetechnik, wie etwa zu Stirling- und Gasmotoren oder zu Brennstoffzellen für das Institut Wärmetechnik und Ther-modynamik, insbesondere in Kooperation mit dem Lehrstuhl Gas- und Wärmetechnische Anlagen.

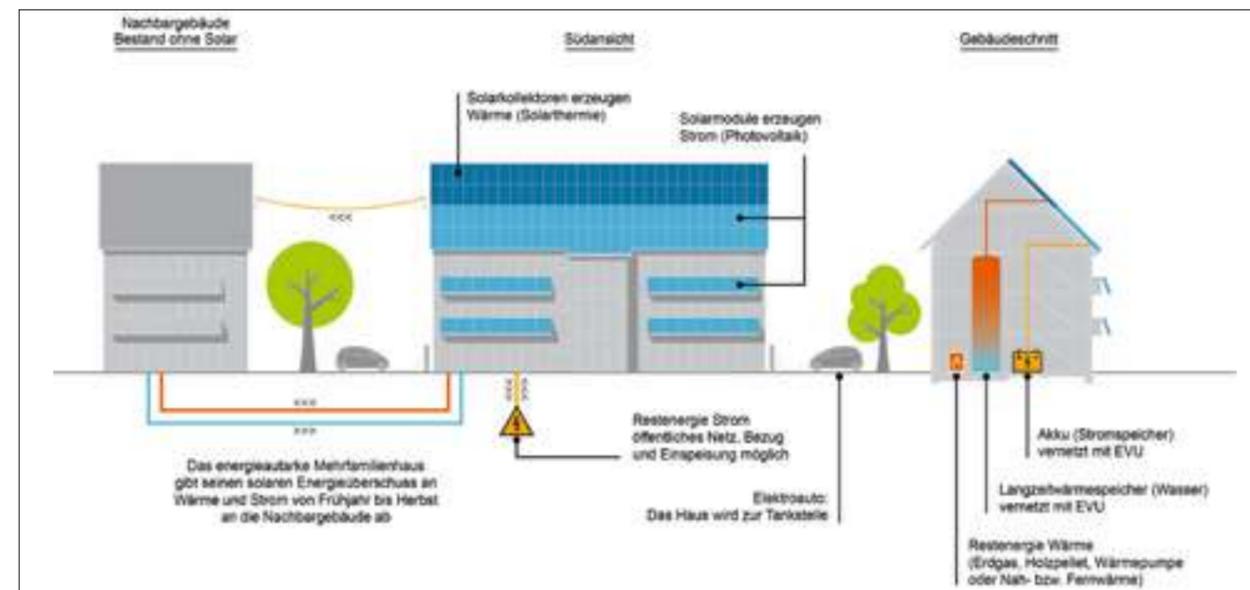


Abb. 1: Prinzipschaltbild für ein vernetztes energieautarkes Mehrfamilienhaus

Vernetzte Energieautarkie

Timo Leukefeld¹

Mit einem Mietshaus im herkömmlichen Sinne hat ein energieautarkes Mehrfami-lienhaus nur wenig gemein: Bei diesem teilen sich Photovoltaikmodule und Solar-thermiekollektoren geeignete Dachflächen und Balkonbrüstungen und, was von au-ßen gesehen am augenfälligsten ist: Jeder Parkplatz ist mit einer Elektro-Tankstelle versehen. Langzeitspeicher für Wärme und Strom halten Energie für die Bewoh-ner vor, so dass diese Häuser bis zu 60 oder 80 Prozent energieautark sind. Innovative Lösungen vernetzen diese Gebäude – nicht um Energie zu beziehen, sondern um die Energiespeicher des Gebäudes den regi-onalen Energieversorgern zur Lagerung von Energieüberschüssen zur Verfügung zu stellen und damit die öffentlichen Net-ze zu entlasten. So spektakulär wie ihr Äußeres sind auch die „inneren Werte“ solcher Gebäude: Zum einen können die Bewohner eines energieautarken Mehr-familienhauses mit langfristig stabilen und damit kalkulierbaren Pauschalmieten rechnen – mit einer Energie-Flatrate, die neben Wärme und Strom auch E-Mobilität umfasst. Zum anderen bietet dieses Ge-bäudekonzept neuartige, interessante und lukrative Geschäftsmodelle für die Wohnungswirtschaft, für Energieversor-gungsunternehmen und für Banken.

¹ Dozent für energieautarke Gebäude am Insti-tut für Wärmetechnik und Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg

Das Modell macht bereits Schule: In diesem Jahr entstehen die ersten beiden energieautarken Mehrfamilienhäuser in Cottbus; zehn weitere sind in Deutschland und Österreich geplant.

Ohne Solarthermie keine Energieautarkie

Dreh- und Angelpunkt der Energieaut-arkie solcher Gebäude ist das Bau- und Heizkonzept des sogenannte „Sonnenhaus autark“², ihr Herzstück – ein Langzeit-wärmespeicher. Dieser lagert die über die Kollektorfläche gewonnene Wärme über mehrere Wochen ein. In den son-nenärmsten Monaten liefert dann bspw. eine Gasheizung die restliche Wärme.

In Freiberg entstanden zwei energieaut-arke Einfamilienhäuser in unmittelbarer Nachbarschaft in Zusammenarbeit mit ei-ner Projektgruppe der Helma Eigenheim-bau AG. Im Rahmen eines wissenschaft-lichen Monitorings erfassen Dr. Thomas Storch und Prof. Ulrich Gross vom Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik der TU Bergakademie Freiberg seit nun-mehr vier Jahren über rund 190 Sensoren pro Haus eine große Zahl energetisch re-levanter Daten. Dabei wurden interessan-te Details untersucht und die Ergebnisse der Öffentlichkeit vorgestellt. Beispielhaft

² <http://www.sonnenhaus-institut.de/das-sonnenhaus/solarmodul-komponenten.html>

bestätigen die Messungen fast punktge-nau die ursprünglichen, rechnerischen Simulationen zur Hauskonzeptplanung.

Eine Solarthermie-Anlage deckt bei den beiden Einfamilienhäusern 65 bis 70 Prozent des Jahreswärmebedarfs für Heizung und Warmwasser direkt aus der Sonneneinstrahlung – ohne vorherige Umwandlung in Strom. Da Strom aus dem Netz im Winter zum Verheizen bekanntlich zu kostbar ist, verzichtet man bei diesem Gebäudekonzept konsequent darauf, wertvollen Strom in Wärme zu verwandeln. In den Wintermonaten gleicht eine Holzvergaserheizung die Fehlmenge an Sonnenenergie aus; so bleibt der Strombedarf in den Häusern – über das Jahr hin gesehen – annähernd gleich und ist mit etwa 5-6 kWh/d selbst im Winter sehr gering. Insgesamt gelingt es mit diesem Konzept, den Gesamtverbrauch an Elek-troenergie für eine fünfköpfige Familie ohne jede Einschränkung von rund 5.000 auf unter 2.200 kWh zu senken.

Die direkte Nutzung von Sonnenwärme und ein generell geringer Stromverbrauch sind essenzielle Prämissen für die Pro-jektierung der Eigenstromversorgung eines solchen Hauses. Eine Photovoltaik-Anlage kann rund 70 Prozent des von seinen Bewohnern benötigten Stroms er-zeugen. Um den selbst gewonnenen Strom flexibel nutzen zu können, wird dieser in einem entsprechend dimensionierten Energiespeicher (Akku) zwischengelagert. Dadurch kann bspw. ein Elektromobil auch noch am Abend, d. h. wenn die Sonne gerade nicht scheint, mit „eigenem“ Strom geladen werden. Der Akku ermöglicht es

dem Haus, sich autark zu versorgen. Selbst bei Stromausfall können sämtliche Komponenten der Hausanlage über ihn versorgt werden. In einem nächsten Schritt wurde das Energieautarkiekonzept für Mehrfamilienhäuser adaptiert. Auch diese kann man so auslegen, dass sie sich weitgehend selbst mit Wärme und Sonnenstrom versorgen und darüber hinaus noch Energie für die Elektromobilität bereitstellen: Die „Tankstelle“ befindet sich im Carport vor dem Haus!

Die Autarkievision gemäß diesem Konzept geht jedoch weit über das Ziel der energetischen Unabhängigkeit der Bewohner solcher Gebäude hinaus. Neuartige Lösungen teilen langfristig den Nutzen des Einzelnen mit dem der Allgemeinheit. Mit dem öffentlichen Versorgungsnetz verbunden, stellen sie ihre Energiespeicherkapazität (Elektroenergie- sowie Langzeitwärmespeicher) den regionalen Energieversorgern für die Zwischenlagerung von Energieüberschüssen zur Verfügung. Zudem kann das Gebäude im Sommerhalbjahr über ein Nahwärmenetz auch Nachbargebäude mit aus Sonnenenergie gewonnener Überschusswärme versorgen.

Energieversorger: Moderner Dienstleister statt „Stoff“-Verkäufer

Das in Rede stehende Modell trägt zum einen zur Netzstabilisierung bei und erschließt zum anderen den beteiligten EV-Unternehmen neue Ertragsquellen. Dies gereicht der Allgemeinheit zum Nutzen – in zweierlei Hinsicht: Die Häuser speisen den erzeugten Strom nicht einfach ins öffentliche Netz ein und verlagern damit etwa das Problem der Bewältigung von unregelmäßig anfallenden Mengen auf die Seite der Netzbetreiber, wie dies häufig bei Häusern mit Photovoltaikanlagen der Fall ist. Energieautarke Häuser sind im Gegenteil netzdienlich, indem sie die Energiespeicher der Gebäude den Versorgungsunternehmen zur Zwischenspeicherung von Energieüberschüssen zur Verfügung stellen.

Energieüberschüsse treten immer dann auf, wenn fluktuierende alternative Stromerzeuger, wie z. B. Windkraft- oder Photovoltaikanlagen, zeitweilig zu viel Strom erzeugen. In solchen Fällen bleiben den Versorgungsunternehmen häufig

nur zwei Möglichkeiten: zum einen, die Anlagen abzuschalten – mit der Folge, dennoch die Einspeisevergütung zahlen zu müssen, obwohl sie den dann ja nicht erzeugten Strom nicht an ihre Kunden verkaufen können; zum anderen aber bei eventueller Abgabe des Überschussstroms in ein ausländisches Netz noch draufzahlen zu sollen (negativer Börsenpreis). Für die Versorger bedeutet dies in jedem Fall „doppelte“ Kosten, ohne jeden Nutzen.

Sobald an der Strombörse Angebot und Nachfrage keinen kostendeckenden Absatz von Strom zulassen, öffnen unserem Konzept angepasste einfache Steuereinheiten die „Tore“ zu den Spei-



Abb. 2: Energieautarkes Haus in Freiberg

chern der energieautarken Gebäude. So können die Energieversorger ihre Stromüberschüsse – ähnlich wie in den viel größeren Speichern für den Primärregelenergiemarkt – kostengünstig einlagern. Die Vorteile, die darin liegen, Überschüsse dezentral in nach dem in Rede stehenden Konzept ausgestatteten Gebäuden zwischenspeichern, liegen auf der Hand. Das Konzept gibt den EV-Unternehmen die Möglichkeit, ihre Windkraftanlagen gleichmäßiger zu betreiben und damit den Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieaufkommen zu erhöhen. Darüber hinaus können sie die Energie so zu einem definierten Abgabepreis verkaufen, der für die Abnehmer sogar günstiger ist, als bspw. der für konventionell erzeugte Fernwärme, die am Haus ggf. anliegt.

Dieses Geschäftsmodell macht den Energieversorger zum „Contractor“. Als Dienstleister für Planung, Installation und Betrieb eines „Rundum-Sorglos-Pakets“ liefert er die gesamte Energietechnik für das energieautarke Mehrfamilienhaus und stellt zudem noch Elektromobilität zur Verfügung. Mit dem Vermieter vereinbart er eine Energiepauschale. Darin

ist der kalkulatorische Anteil derjenigen Energiemenge festgeschrieben, die zugekauft werden muss: Bspw. deckt das Haus 70 Prozent seines Wärme- und Strombedarfs selbst, aus der Sonne. Die fehlenden 30 Prozent deckt es per Bezug aus dem Strom- oder Gasnetz des Energieversorgers. Durch günstige Eigenproduktion von Energie und geschickte Nutzung der erwähnten dezentralen Speicher kann der Energieversorger den Aufwand minimieren und seinen Gewinn erhöhen. Dieses Modell ist eindeutig „smarter“ als der sog. „smart grid“, da auf diese Weise größere Mengen an Strom zur rechten Zeit zur richtigen „Adresse“ hin rangiert (*shunted*) werden.

Aufgrund ihrer Infrastruktur ist es den Energieversorgern dann darüber hinaus möglich, die vom Mehrfamilienhaus produzierten Überschüsse an Sonnenwärme und -strom – bspw. im Sommer – an die Nachbarhäuser gewinnbringend zu verkaufen. Die ersten regionalen EV-Unternehmen investieren bereits in eigene, vernetzte energieautarke Mehrfamilienhäuser, um sich neue Arbeitsfelder zu erschließen

und eine zukunftsfähige Vermarktung der Energiemengen zu etablieren.

Pauschalieten und Energie-Flatrate: ein Wohnungsmodell mit Zukunft

Um ein Mehrfamilienhaus zu einem energieautarken Gebäude zu gestalten, beläuft sich die Mehrinvestition für das Autarkiepaket im Falle von bspw. sechs Wohneinheiten auf etwa 380 Euro brutto pro Quadratmeter – ohne Berücksichtigung eventueller staatlicher Fördermittel. Damit liegen die spezifischen Zusatzkosten der Energieautarkie pro Wohneinheit um 60 Prozent unter denen für Einfamilienhäuser. Werden die zukünftigen Betriebskosten in die Betrachtung der Investitionskosten einbezogen, entstehen völlig neuartige Vermietungsmodelle: Vermieter können ihren Mietern feste Pauschalieten für die Dauer von bspw. bis zu zehn Jahren anbieten, die neben dem Entgelt für das Wohnen eine Energie-Flatrate für Wärme, Strom und E-Mobilität enthalten. Die Attraktivität dieses Modells kann also durch die Einbeziehung eines oder mehrerer Elektromobile in die Kalkulation noch erhöht werden.

Das Modell löst viele der sonst kaum vermeidbaren Konflikte zwischen Mieter und Vermieter. Einerseits sind die Mieter über einen langen Zeitraum vor ständig wachsenden Nebenkostenforderungen geschützt. Auf der anderen Seite sparen die Vermieter neben dem erheblichen Verwaltungsaufwand für die alljährlich fälligen Betriebskostenabrechnungen auch das Prozessrisiko etwaiger aus diesen resultierender Streitigkeiten, noch dazu um häufig relativ geringe Beträge.

Weitere Vorteile liegen auf der Hand: Die stabilen, langfristigen vertraglichen Bindungen können zu längeren Verweildauern der Mieter in den Wohnungen führen. Häufiger Mieterwechsel wie auch der damit verbundene Verwaltungsaufwand werden dadurch vermieden. Die Situation ist ja die, dass man es selbst in Regionen ohne geradezu eklatante Wohnungsknappheit mit manchmal rund 80 Bewerbern pro Wohneinheit zu tun bekommt. Vermietern gibt dieses Modell einen größeren Spielraum für die Kalkulation des Mietpreises an die Hand. In einer deutschen Kleinstadt bspw. steht der nach unserem Modell er-

rechneten Energiepauschalmiete von 11,43 Euro/qm die höchste ortsübliche Kaltmiete in Höhe von 10,50 Euro gegenüber, die sich mit den Nebenkosten für Wärme, Strom und Benzin auf rund 12,50 Euro erhöht.

Über das elementare Interesse an der Grundversorgung mit Wärme, Strom und Mobilität hinaus ergeben sich auch für die Mieter eines so konzipierten Hauses weitere Vorteile: Das Modell kommt namentlich älteren Menschen entgegen, die im Hinblick auf ihre kaum steigerbaren Renten nach Kostensicherheit streben – wie auch jüngeren Menschen mit Familie. Permanentes Vergleichen komplizierter Kostengefüge von Stromanbietern entfällt ebenso wie der bange Blick auf die Tankuhr – wie auch „böse“ Überraschung im Zusammenhang mit der Nebenkostenabrechnung.

Finanzinstitute setzen auf ökologische Geldanlage und steuerfreie Altersvorsorge

Für Banken sind die so konzipierten Gebäude eine attraktive Investition mit sicherer Rendite. Ein Beispiel für ein solches Engagement realisiert zzt. die VR Bank Altenburger Land eG, die als erstes

Finanzinstitut Deutschlands in der Stadt Schmöln ein energieautarkes Einfamilienhaus baut. Sie will dieses nicht verkaufen, sondern selbst nutzen. Das hier entwickelte Geschäftsmodell ermöglicht es nämlich den Banken, über zehn Jahre hinweg ihren Anlegern eine feste, attraktive Rendite zu versprechen. Die speziell genannte Bank will mit diesen Bauprojekten wichtige Erfahrungen sammeln – zu der Frage, wie man moderne energetische Konzepte für Wohnimmobilien in wirtschaftlich vorteilhafter Weise optimal umsetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Weiterentwicklung des Konzepts der energieautarken Immobilien ein: Die



Abb. 3: Zwei energieautarke Mehrfamilienhäuser, die in Cottbus 2017 gebaut werden

gegenseitige Vernetzung und der Energieaustausch zwischen den Immobilien gestalten die Energieautarkie in Zukunft noch effizienter, versorgungssicherer und preiswerter.

Für Eigentümer und Selbstnutzer ist die Investition in ein energieautarkes Gebäude ein solider Baustein der Altersvorsorge und damit der Absicherung eines komfortablen Lebensabends. Anders als bei Investitionen mit nachfolgenden zu versteuernden Einnahmen ermöglicht es dieses Modell, die Energiekosten auf einem niedrigen Niveau zu halten. Ein typisches Einfamilienhaus spart auf die hier dargestellte Weise etwa 3.000 bis 3.500 Euro pro Jahr. Steuerfreie Einsparungen wirken sich zwei- bis dreifach rentabler auf die Kaufkraft aus – verglichen mit zu versteuernden Einnahmen, die im Rahmen der Einspeisevergütung oder aus einer Kapitalversicherung erzielt werden.

Fazit

War das Haus gestern noch ausschließlich Energieverbraucher – mit der Konsequenz, dass Wärme und Strom von außerhalb eingebracht werden mussten,

so kann es heute seinen Energiebedarf selbst decken. Es erzeugt Energie unter Nutzung des krisenfesten Angebots der Sonne, speichert sie und sichert so die Eigenversorgung mit Wärme und Strom. Zusätzlich kann es mit einem Teil des selbst erzeugten Solarstroms ein Elektroauto betanken.

Die Zukunft unserer Häuser liegt in der Selbstversorgung und in einer tatsächlichen energetischen Unabhängigkeit auf Basis einer für die Gesellschaft gewinnbringenden Vernetzung. Neue, innovative Lösungen teilen langfristig den Nutzen der individuellen energetischen Unabhängigkeit mit dem für die Allgemeinheit:

Bauherren stellen regionalen Energieversorgern die Speicher ihres Hauses zur Verfügung. So werden Energieüberschüsse nutzbar und bauwillige Bürger haben die Möglichkeit, sich jenseits staatlicher Subventionen aktiv in das allgemeine Versorgungssystem einzuklinken.

Bezahlbare, energieautarke Häuser machen die Menschen ein Stück weiter unabhängig. Die Bewohner solcher Domizile können es sich leisten, „intelligentverschwendend“ zu leben:

Ihre Wohnungen sind angenehm warm, sie dürfen das Licht auch mal brennen lassen und guten Gewissens viele Kilometer Auto fahren, ohne ihren Geldbeutel und die Umwelt übermäßig zu belasten.

Im Mehrfamilienhaus bietet dieses Gebäudekonzept den Bewohnern langfristig stabile und damit zuverlässig kalkulierbare Pauschalieten, ergänzt um eine Energie-Flatrate, die neben dem „normalen“ Wärme- und Stromverbrauch auch noch den durch aktive E-Mobilität verursachten Energieverbrauch abdeckt. Für Wohnungswirtschaft, Banken und Energieversorger werden damit interessante und lukrative Geschäftsmodelle möglich.

Literaturhinweise:

- T. Storch, T. Leukefeld, T. Fieback, U. Gross: Living Houses with an energy-autonomy – Results of Monitoring. Energy Procedia, Vol. 91, S. 876-886, Juni 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.254.
- T. Storch, T. Leukefeld, U. Gross: Autonomes Hauskonzept – Ergebnisse aus 2 Jahren Realität. Proc. Gleisdorf Solar 2016 – 12. Int. Konferenz für solares Heizen und Kühlen, Gleisdorf, Österreich, S. 243-255.
- <http://www.enob.info/de/software-und-tools/projekt/details/einfamilienhaeuser-mit-regenerativer-strom-und-waermeversorgung/>

Das Virtuelle Kraftwerk (Energy Lab 4.0) der TU Bergakademie Freiberg

Andreas Rehkopf, Sebastian Schwarz¹

Die TU Bergakademie Freiberg hat eine lange Tradition in der Forschung über Energiesysteme. Hier haben insbesondere die Institute für Energieverfahrenstechnik sowie für Wärmetechnik und Thermodynamik (IWT) Bedeutendes zur Reputation unserer Universität beigetragen. Der Fokus lag und liegt dabei auf Verfahren der Kohlevergasung, auf Kohlekraftwerken wie auch auf gastechischen Anlagen, also primär bei wärmetechnischen Anwendungen. Speziell auf dem Gebiet der Gastechik steht die Bergakademie Freiberg in traditionell enger Verbindung mit dem bislang größten ostdeutschen Unternehmen, der Verbundnetz Gas AG (VNG). Der vorliegende Beitrag stellt eine besondere Anlage, das „Virtuelle Kraftwerk“, und die mit ihm verbundenen Forschungen am Institut für Automatisierungstechnik (IAT) vor, die ganz wesentlich durch zwei Chefs der VNG gefördert und unterstützt wurden: zum ersten durch Prof. Dr. Klaus-Ewald Holst, der das Basisprojekt (IAT-VNG) 2008 persönlich initiierte, und zweitens durch seinen Nachfolger, Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, mit dessen maßgeblicher Unterstützung 2011 die Förderung seitens des „Projektträgers Jülich“ (PTJ) möglich wurde [1]. Besonders erwähnt werden muss in diesem Kontext die Zusammenarbeit mit dem seinerzeitigen Forschungsleiter der VNG, Dr.-Ing. Jörg Hartan, der die Forschungsarbeiten von Anfang an mit seinen Impulsen und mit seiner ansteckenden Begeisterung bis zu seinem leider viel zu frühen Tod 2015 prägte, und dem dieser Beitrag posthum gewidmet ist.

Beim virtuellen Kraftwerk (VK) handelt es sich um ein hybrides, dezentrales Energiesystem auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Letztere ist hier wesentlich durch zwei gasbetriebene Mikro-Blockheizkraftwerke (MBHKW) realisiert, wie sie typischerweise in Ein-/Mehrfamilienhäusern als „intelligenter“ Ersatz für konventionelle Heizungsanlagen zum Einsatz kommen können („Mikro“ kennzeichnet dabei die Leistungsklasse von bis zu 15 kW elektrisch).

Unter einem hybriden Energiesystem (HES) kann man einen Verbund verschiedenartiger Anlagen in unterschiedlichen Mengengerüsten, wie BHKW/MBHKW, Photovoltaik(PV)-, Windenergie- und Solarthermie-Anlagen verstehen, die Strom und Wärme aus verschiedenen Primärenergiequellen erzeugen und diese Gebrauchsenergieformen ggf. auch ineinander umwandeln können (u. a. mit Heizpatronen). Neben den Erzeugern und Verbrauchern müssen noch Speicherelemente – wie Akkumulatoren und thermische Pufferspeicher – in das System integriert werden, sodass der Verbrauch von elektrischer und thermischer Energie von deren Erzeugung zeitlich entkoppelt werden kann.

Das hybride Energiesystem ist der Grundbaustein eines Virtuellen Kraftwerks (VK), das auf einer Zusammenschaltung solcher Systeme basiert. Aufgabe der Automatisierungstechnik ist die zeitlich „richtige“ Ansteuerung aller Teilnehmer mit den entsprechenden Automatisierungs- und Regelungskomponenten, insbesondere in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Mit einem solchen Verbund können unterschiedliche Ziele, wie

- optimale Einordnung in ein (vor)gegebenes energievorsorgungstechnisches Umfeld

- Verbesserung / Optimierung der Gesamtenergie-Effizienz
 - Minimierung der laufenden Kosten der Teilnehmer, auch unter dem Aspekt der Wartung und Instandhaltung
 - Teilnahme am Regelenergie- oder Strombörsenmarkt in Hinblick auf bestmöglichen Ertrag
- verfolgt und mit entsprechenden Berechnungsalgorithmen erreicht werden (dazu später im Kapitel „Fahrplanstrategien“). Der eingangs erwähnte dezentrale Aspekt kommt zum Tragen, wenn die Komponenten des VK – insbesondere die (M)BHKW – in entsprechender Anzahl in einem gewissen räumlichen Abstand positioniert sind. Bei dem erwähnten mit Unterstützung der VNG realisierten Basisprojekt bestand das Virtuelle Kraftwerk aus etwa 150 räumlich verteilten MBHKW des gleichen Typs (u. a. in Einfamilienhäusern in Chemnitz, Leipzig, Dresden und Berlin; hiermit wird auch die Bezeichnung „virtuelles Kraftwerk“ verständlich). Schaltet man eine entsprechende Anzahl solcher Kleinenergieerzeuger zusammen (vorrangig hier die Stromerzeugung in das Netz), so entsprechen sie im Verbund einem einzigen (virtuellen) Kraftwerk. Wollte man die Äquivalentleistung nur eines einzelnen AKW mit typischerweise 1 GW erhalten, müsste man über 60.000 solcher MBHKW zusammenschalten!

Um intelligente Steuerregime für das Zusammenschalten solcher MBHKW mit einem gegenseitigen Abstand von teilweise über 200 km zu ermöglichen, wurde am IAT eigens eine Internet-basierte, sichere Java-Datenkommunikation mit DES-/RSA-Verschlüsselung entwickelt, die sich bereits im Basisprojekt bestens bewährte [2]. Allein schon die Anwendung dieser Kommunikationstechnologie ist ganz im Sinne des derzeitigen „Digitalisierungs“- bzw. „Vier-Punkt-Null“-Hypes, weswegen das VK auch als „Energy Lab 4.0“ bezeichnet wird.

Das erste Virtuelle Kraftwerk des Instituts für Automatisierungstechnik

Die erste Anlage wurde von 2010 bis 2014 im damaligen Domizil des IAT in der Lessingstraße 45, aufgebaut. Sie bestand aus zwei von der VNG AG gesponserten Prototypen-MBHKW des Herstellers „Kirsch“ (auch „Hartan-BHKW“ genannt, da sie in ihrer Ur-Konzeption von Dr. Hartan erfunden wurden), ergänzt um zwei thermische Pufferspeicher (isolierte Heißwassertanks) mit jeweils 500 Litern Fassungsvermögen sowie einer „SolarWorld“-PV-Anlage, montiert auf einem Carport vor dem VK-Laborraum des IAT, freundlicherweise gesponsert von der „SolarWorld-Innovations“. Hierzu wurde ein intelligenter Batteriespeicher vom IAT selbst entwickelt und aufgebaut (zwei Studienarbeiten und eine Diplomarbeit). Zu erwähnen ist, dass der eingesetzte Typ von MBHKW nur in einer diskret-getakteten Fahrweise betrieben werden konnte (ein/aus); ein variabel vorgebarer Betriebspunkt war konzeptionell nicht vorgesehen. Um dies letztlich doch zu ermöglichen, wurde – auch zur weiteren Verbesserung der MBHKW-Technologie – ein Motor-Generator-Prüfstand aufgebaut, der gewissermaßen als drittes MBHKW fungieren konnte (Diplomarbeit). Die *Abbildungen 1 und 2* mögen den Lesern den gefälligen Eindruck von dieser



Abb. 1: Die beiden roten „Kirsch“-MBHKW mit zwei 500L-Pufferspeichern auf der unteren Raumebene des VK-Labors, dahinter der Motorprüfstand (ehemaliger Heizungsraum im Nordflügel des Gebäudes Lessingstraße 42). Blick auf die obere Raumebene des Labors mit Prozessleitstand und Batteriespeicher (blau oben links)

Abb. 2: Die PV-Anlage auf dem Carport vor dem VK-Labor



vollkommen in Eigenregie aufgebauten Anlage vermitteln, wie ihn die Doktoranden und Studenten am IAT empfunden haben und wie er ihnen in leicht nostalgischer Erinnerung bleibt. Denn das alte Domizil musste aufgrund des Institutszugs in das neu hergerichtete „Haus Formgebung“ im März 2014 mit seiner gesamten Anlagentechnik abgebaut und geräumt werden. Für das VK-Labor wurde dann in der im Zentrum des Campus liegenden TMV²-Halle ein neues Quartier gefunden, das den Vorteil hat, dass die Anlagentechnik nunmehr großzügig auf zwei Ebenen platziert ist, wobei alle Außenanlagen auf der Dachebene installiert sind – zweckmäßigerweise direkt über dem Gebäudetrakt mit den Innenanlagen.

Das neue Virtuelle Kraftwerk

Die Neuanlage sollte – um zusätzliche Komponenten erweitert – wiedererrichtet werden. Aufgrund bautechnischer Schwierigkeiten in der TMV-Halle verzögerte sich der Beginn des Wiederaufbaus bis Mitte 2015. Da der Hersteller Kirsch das MBHKW zwischenzeitlich aus dem Programm genommen hatte und keine Ersatzteilverorgung mehr gesichert war, wurde die Beschaffung einer neuen Anlagentechnik in Erwägung gezogen. Hier ist es ganz besonders der persönlichen Unterstützung der Herren Dipl.-Ing. Jens Then und Dipl.-Ing. Ingolf Köhler von Dezernat 1 zu verdanken, dass dieses Vorhaben dann auch verwirklicht werden konnte: Die neue Anlage besteht nunmehr

² Technikum für Maschinen- und Verfahrensentwicklung, 09599 Freiberg, Lampadiusstraße 7



Abb. 3: Die beiden „Viessmann“-MBHKW, im Hintergrund die beiden 1000L-Pufferspeicher



Abb. 4: Die Dachebene der TMV-Halle mit Windgenerator (Vordergrund), dahinter die PV-Anlage, hinten links die Solarthermieanlage (ganz im Hintergrund ist das DBI-Gebäude zu sehen)

aus zwei MBHKW des Typs „Viessmann“ Vitobloc 6/15, die mit variablem Betriebspunkt angesteuert werden können, ferner aus zwei neuen 1000 Liter großen Pufferspeichern, einem neuen, größeren Akkuspeicher mit hochmoderner Umrichter-technik sowie einer erweiterten PV-Anlage, einer eigenentwickelten Solarthermieanlage und einem eigenentwickelten Windgenerator (die drei letztgenannten Komponenten sind auf der Dachebene installiert und wurden im Rahmen jeweils einer Master-/Diplomarbeit realisiert). An dieser Stelle sei der Firma „Viessmann“ gedankt, die dem IAT – im Sinne einer gedeihlichen wissenschaftlichen Zusammenarbeit – eines der MBHKW gesponsert hat.

¹ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Automatisierungstechnik

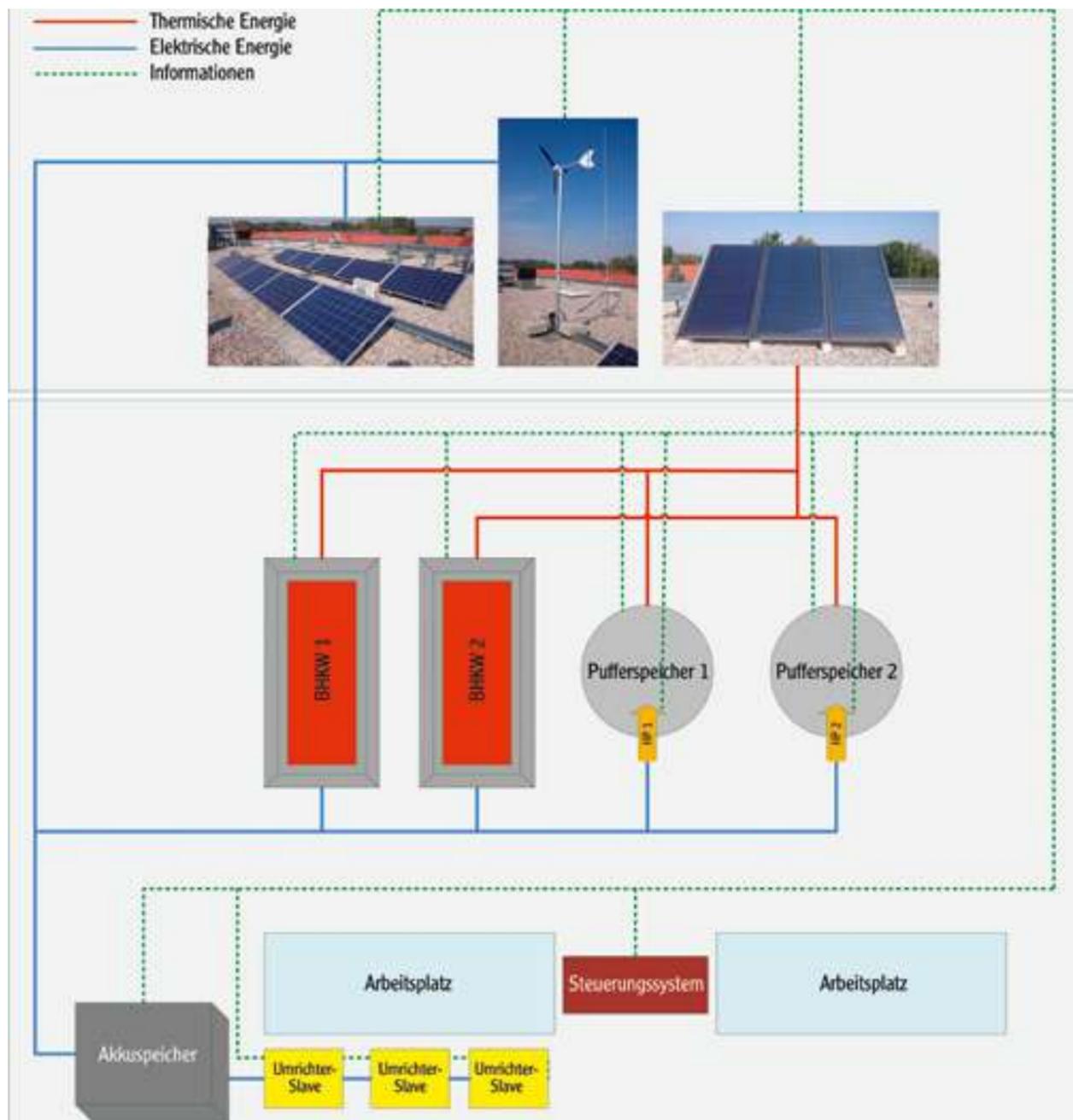


Abb. 5: Skizze zur Verschaltung der Anlagentechnik mit Kennzeichnung der Energie- und der Informationsflüsse (Powerlink-Netzwerk)

Das Prinzipschema der Verschaltung der Anlagentechnik zeigt *Abbildung 5*. Der Bedienstand ist mit einem APROL-Leitsystem (Hersteller B&R) und einer MATLAB-Simulink-Komponente (Visualisierung einschließlich Fahrplan-Berechnung) ausgestattet [3]. Dort werden die Energieeinträge als Zeitreihen-Vektoren dargestellt und die Simulationsergebnisse für den Export an das Leitsystem (*Abb. 6*) bereitgestellt. Hierzu ist anzumerken, dass das ganze System als Simulationsmodell ausgeführt ist. Bis hierhin wurde vorerst nur die „sichtbare“, reale Anlagentechnik einer einzelnen „Anlagenzelle“ beschrieben. Dahinter stehen in der Perspektive virtuelle, simulativ erstellbare Anlagenkonfigurationen beliebiger Skalierungen und Mengengerüste und damit die Vernetzung einer größeren Anzahl von solchen Zellen. Es können auch Komponenten deutlich höherer Leistungsklassen in das System integriert und das Ganze dann modelliert werden.



Abb. 6: Bedienplatz-System

Eine Beschränkung für die Simulation ergibt sich einzig aus der NP-Problematik (Klasse der NP-harten Probleme).

Grafik: I. Skaff

Foto: I. Skaff

```

if ((SOC < (0.3 * SOC_max)) AND ((EC < (0.4 * EC_max)) AND (NOT(CHP_state))))
    P_chpc = true;
elseif ((CHP_state) AND ((EC > 0.99 * EC_max) OR ((Pel_pvc + Pel_we >= 3000) AND (Pth_sol >= 3000))))
    P_chpc = false;
End

if EC < EC_max
    Pth_solc = Pth_sol;
else
    Pth_solc = 0;
end

if ((SOC > (0.9 * SOC_max)) AND (EC < (0.35 * EC_max)) OR ((SOC > (0.8 * SOC_max)) AND (Pel_pvc + Pel_we >= 2000) AND (EC < (0.3 * EC_max))))
    Pth_hcc = Pth_hcc_max;
else
    Pth_hcc = 0;
end
    
```

SOC: State of charge (Akkuladezustand)
 EC: Energy capacity (Pufferspeicherladezustand)
 CHP_state: Combined heat and power state (BHKW-Zustand)
 Pel_pvc: aktuelle PV-Leistung
 Pel_we: aktuelle WG-Leistung
 Pth_sol: aktuelle Solarthermie-Leistung
 Pth_solc: Solarthermie-Leistung in HES
 Pth_hcc: Heizpatrone-Leistung in HES

Abb. 7: Steueralgorithmus für das studentische Praktikum im Wintersemester 2016/17

© I. Skaff

Fahrplanstrategien

Aufgrund der eben erwähnten NP-Problematik erscheint es sinnvoll, einen unteren und einen oberen Berechnungs-Benchmark festzulegen. Den unteren Level bilden einfache Fahrplan-Heuristiken (A), die auch große Mengengerüste ausreichend schnell berechnen, aber bestenfalls nur suboptimale Ergebnisse liefern können.

Als oberer Benchmark wurde das Verfahren des Bilevel Programming (B) aus dem Bereich der Diskreten Optimierung ins Auge gefasst [4], womit der diskreten Fahrweise der ursprünglichen „Kirsch“-MBHKW gut Rechnung getragen und auch ein Anwendungsfeld für den Lehrstuhl Diskrete Optimierung (Prof. Dr. Stephan Dempe) geschaffen werden konnte, mit dem das IAT auch in Bezug auf andere Anwendungen schon seit 14 Jahren in Verbindung steht.

Ein ganz neuartiger Ansatz aus dem Bereich der dynamischen Optimierung bzw. der Regelungstheorie (C) wird seit einigen Monaten am IAT sehr vielversprechend verfolgt:

A.) Fahrplan-Heuristiken

Diese sehr elementaren Berechnungsmethodiken orientieren sich zunächst an einer „wärmegeführten Betriebsweise“ mit priorisierten MBHKW, was vorrangig für die Nutzung in Privathaushalten steht, wie schon eingangs erwähnt. Es wurden vier Ansteuerreihenfolgen auf Basis der Pufferspeicher-Temperaturen

für unterschiedliche Szenarien untersucht (zwei Masterarbeiten), womit bereits befriedigende Ergebnisse erzielt werden konnten:

- **Temperaturverhältnis:** aufsteigende Prioritätenliste aus $\vartheta_i/\vartheta_i^{max}$
- **Gleiche prozentuale Auslastung:** erzeugt gleichlange Laufzeiten
- **Verfügbare Zeit:** berechnet Δt_i , bis ϑ_i^{max} erreicht ist. $arg, max \{ \Delta t_i \}$ wird zuerst auf Volllast gefahren
- **Thermisch prädiktiv:** Ansteuerreihenfolge, die $P_{th,gef,i}(t)$ berücksichtigt. Prioritätenliste wird aus aufsteigendem $P_{th,gef,i}(t+\Delta t) - P_{th,gef,i}(t)$ erstellt.

Anlagenkonfigurationen mit bis zu 1000 MBHKW waren in der Simulation auf diese Weise problemlos zu berechnen [5].

Von I. Skaff wurde am IAT speziell für das studentische Praktikum im WS 2016/17 mit der nunmehr neuen VK-Anlage ein sehr einfacher, aber effektiver Steueralgorithmus, der auf einer elementaren Bedingungsstruktur basiert, entwickelt (*Abb. 7*) [3]:

B.) Bilevel Programming (BLP)

Die Konzeption einer Zwei-Ebenen-Modellierung für das VK wurde in [6] ausführlich vorgestellt und soll hier nur skizzenhaft rekapituliert sein:

Die untere BLP-Ebene:

$$\min_u \left\{ \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} c_i(p_{i,max}, u_{i,t_j}, t_j) + \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} S_{i,t_j}(u_{i,t_j}) - \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} b_{i,t_j}(p_{i,max} u_{i,t_j} - z_{i,t_j}) \right\}$$

$p_{i,max}$ erzeugbare elektrische Leistung von Anlage i
 u_{i,t_j} Betriebszustand (an/aus) von Anlage i
 $c_i(p_{i,max}, u_{i,t_j}, t_j)$ Brennstoffkosten von Anlage i
 $S_{i,t_j}(u_{i,t_j})$ Anfahrkosten von Anlage i
 b_{i,t_j} Stromeinkaufs- oder verkaufspreis von Anlage i
 z_{i,t_j} Strombedarf von Anlage i

Nebenbedingungen der unteren Ebene:

- Diskrete elektrische Leistungsabgabe bestimmter Anlagen
- Randbedingungen der BHKW: max. fünf Startvorgänge/Tag, Laufzeit mindestens 90 min, Stillstand mindestens 3 h, Abfahrzeiten
- Technische Randbedingungen, z.B. Speichertemperaturen, Akkuladezustand, Emissionswerte

Die obere BLP-Ebene:

$$\min_{\mu} \left\{ \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} \mu_{i,t_j} (u_{i,t_j} - 1) + \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} (b_{m1,t_j} - b_{m2,t_j} - b_{i,t_j}) (p_{i,max} u_{i,t_j} - z_{i,t_j}) \right\}$$

- μ_{i,t_j} Bonuszahlung an Anlage i
- b_{m1,t_j} Verkaufspreis für Strom an der Börse
- b_{m2,t_j} Einkaufspreis für Strom an der Börse
- b_{i,t_j} Stromein- oder -verkaufspreis für Anlage i
- iii
- $\mu_{i,t_j} \geq 0, b_{m1,t_j} \geq 0, b_{m2,t_j} \geq 0, \sum_{t_j \in T} \sum_{i \in I} \mu_{i,t_j} \leq M$

Kopplung beider Ebenen:

- über Bonuszahlungen und Reaktionen $u_{i,t_j} (\mu_{i,t_j})$
- zusätzliche Nebenbedingungen für die untere Ebene: $\mu_{i,t_j} \geq S_{i,t_j}(u_{i,t_j})$ und $\mu_{i,t_j} + b_{i,t_j} \geq C_i(p_{i,max}, u_{i,t_j}, t_j)$
- Gesucht ist eine beste Lösung μ_{i,t_j} , sodass die Optimallösung $u_{i,t_j}(\mu_{i,t_j})$ der unteren Ebene die Nebenbedingungen der oberen Ebene erfüllt und dort einen maximalen Ziel-funktionswert liefert => NP-vollständiges, sehr rechen-intensives Problem

Die programmtechnische Umsetzung dieses mathematisch anspruchsvollen Benchmarks hat jedoch noch keine befriedigenden Ergebnisse liefern können, so dass in diesem Bereich noch erheblicher Forschungsbedarf besteht.

C.) Modellbasierte prädiktive Regelung

Das im RVK-Labor realisierte hybride Energiesystem (HES) stellt mit der Verknüpfung des Einsatzes von regenerativen und konventionellen Energieträgern eine Herausforderung für das Lösen der Regelungsaufgabe dar. Die Regelung muss imstande sein, sowohl die un stetige Leistungsproduktion der erneuerbaren Energieträger als auch verschiedene technische Nebenbedingungen zu berücksichtigen. Ein solcher regelungstechnischer Ansatz, der diese Möglichkeit bietet, ist die sog. *Modellbasierte prädiktive Regelung* (MPC), zu der am IAT in anderen Anwendungen schon langjährige Erfahrungen bestehen (zwei Promotions). Grundlage bildet die Beschreibung des HES in Form eines mathematischen Modells, des sog. *Zustandsraummodells* [7].

Werden die Ladung der Batterie (SOC) und der Speicherstand des Pufferspeichers bzw. des Heißwassertanks (EC) als die für die Modellierung relevanten Zustände des Systems definiert, kann damit der Zustandsvektor $\vec{x}_m = (SOC, EC)^T$ angegeben werden. Der Eingangsvektor \vec{u} beinhaltet alle Steuersignale in Form von Ausgangsleistungsvorgaben für die einzelnen Komponenten. Damit ergibt sich die Systemgleichung

$$\vec{x}_m(k+1) = A_m \vec{x}_m(k) + B_m \vec{u}(k)$$

Den Ausgang des Modells bildet eine gewichtete Version des Eingangsvektors, womit es sich – regelungstechnisch gesehen – um ein sprungfähiges System handelt (Durchgangsmatrix $D \neq 0$). Damit kann die Ausgangsgleichung

$$\vec{y}(k) = C_m \vec{x}_m(k) + D_m \vec{u}(k)$$

angegeben werden. Systemgleichung und Ausgangsgleichung bilden zusammen das Zustandsraummodell.

Für die MPC ist es nun notwendig, das Zustandsraummodell in ein erweitertes Modell zu überführen. Dieses ergibt sich in einer analogen Form zu

$$\begin{aligned} \vec{x}(k+1) &= A\vec{x}(k) + B\Delta\vec{u}(k) \\ \vec{y}(k) &= C\vec{x}(k) \end{aligned}$$

Der Grundgedanke der MPC ist es, mit Hilfe dieses Modells das Systemverhalten für ein festes Zeitfenster vorherzusagen. Dazu werden die jeweils nächsten N_c -Steuereingriffe vorgegeben. Diese überführen das System gemäß der Systemgleichung in aufeinanderfolgende Zustände. Die Abfolge dieser Zustände bedingt eine Trajektorie von N_p -Ausgangsvektoren. Ziel ist es, die Steuereingriffe so vorzugeben, dass das System für die nächsten Ausgangsvektoren ein gewünschtes, vorhergesagtes Ausgangsverhalten aufweist.

Durch eine rekursive Berechnung wird eine Ausgangsvektor-Trajektorie

$$\vec{Y}(\vec{x}(k), \Delta\vec{U}(k)) = \vec{Y}(k)$$

mit Hilfe der nächsten N_c -Steuersignale in der Form

$$\Delta\vec{U}(k) = [\Delta\vec{u}(k) \ \Delta\vec{u}(k+1) \ \dots \ \Delta\vec{u}(k+N_c-1)]^T$$

definiert. Die Bewertung der Ausgangsvektor-Trajektorie erfolgt über die quadratische Abweichung von einer vorgegebenen Referenz-Trajektorie, mit E und H als spezifische Bewertungsmatrizen [7]:

$$\begin{aligned} J(k) &= (\vec{Y}(k) - R_S)^T (\vec{Y}(k) - R_S) \\ &= E\Delta\vec{U}(k) + \Delta\vec{U}(k)^T H\Delta\vec{U}(k) \end{aligned}$$

Diese Abweichung gilt es zu minimieren. Dabei können Nebenbedingungen für das so auftretende Optimierungsproblem gestellt werden. Da es sich um ein quadratisches Optimierungsproblem handelt, kann dieses mit Hilfe verschiedener Routinen gelöst werden. Zum Einsatz kommt hier die in MATLAB implementierte *quadprog*-Routine, die u. a. die Angabe von Nebenbedingungen in der Form

$$M\Delta\vec{U}(k) \leq \mu$$

erlaubt. Dabei sind die technischen Grenzen der einzelnen Komponenten zu beachten. Da $\vec{U}(k)$ die Leistung der Komponenten vorgibt, resultiert daraus die Notwendigkeit von Nebenbedingungen in der Form

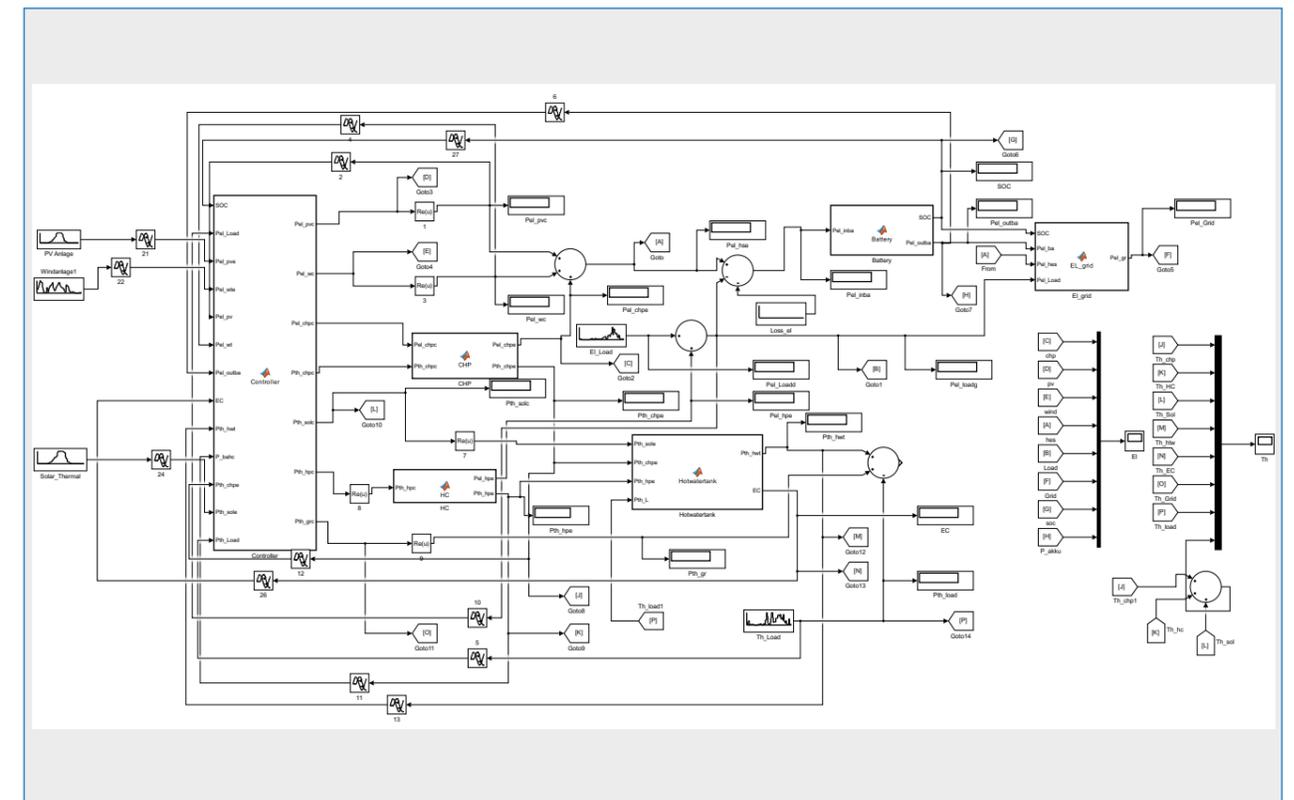


Abb. 8: Simulink Modell des RVK-Labors

$$P_{min} \leq P(k) + \Delta u_j(k) \leq P_{max}$$

($\Delta u_j(k)$ ist der j-te Eintrag der Änderung, jede Komponente des HES wird durch einen solchen Eintrag repräsentiert).

Die Änderung innerhalb der Speichermedien kann durch den Steuereingriff beschrieben werden. Da auch die Speichermedien technische Grenzen aufweisen (etwa, um eine Tiefenentladung der Batterie zu vermeiden), können ähnliche Nebenbedingungen für die Leistung definiert werden:

$$SOC_{min} \leq SOC(k) + \Delta SOC(\Delta u(k)) \leq SOC_{max}$$

$$EC_{min} \leq EC(k) + \Delta EC(\Delta u(k)) \leq EC_{max}$$

Diesen Nebenbedingungen schließen sich noch weitere, verbraucher-spezifische Nebenbedingungen an. Sie resultieren aus der Überlegung, dass das HES immer so viel Leistung zur Verfügung stellen soll, dass entweder die vollständige Last oder der Teil der Last bedient wird, der möglich ist. Wird die mögliche zu bedienende Last als Systemlast aufgefasst, so gilt:

$$\begin{aligned} P_{Systemlast}(k) &\leq P_{HES}(\Delta u(k)) \\ \text{mit } P_{Systemlast}(k) &\leq P_{Last}(k) \end{aligned}$$

Alle diese mathematischen Beziehungen für die Nebenbedingungen müssen nun noch umgeformt und in die bereits skizzierte Matrixschreibweise überführt werden.

Die MPC konnte bei der Dimensionierung des neuen VK-Labors im Rahmen von Simulationen (Abb. 8) bereits erfolgversprechende Ergebnisse liefern [7].

Eine weitere Verfeinerung der Systemmodellierung (z. B. die Einbeziehung von Emissionsgrenzwerten) wie auch die Erhöhung der Mengenkomplexität ist nunmehr Forschungsgegenstand, wobei das IAT hier eng mit dem IWTT (Prof. Dr. H. Krause) zusammenarbeiten wird.

Denkbar ist die Erweiterung des VK um Geothermie-Projekte (Prof. Dr. T. Fieback), auch eine Kopplung mit der Elektromobilität (IET, Prof. Dr. J. Kertzscher) könnte reizvoll sein. Ebenso können neue, intelligente Sensormaterialien (Prof. Dr. Y. Joseph) den Gedanken „4.0 => 4.1“ ins Spiel bringen, also konsequenterweise zum „EnergyLab 4.1“ führen.

Literatur

- 1 Projekt „Simulation und automatisierungstechnische Optimierung eines virtuellen Kraftwerks auf Basis der KWK-Technologie“, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie/PTI, Förderkennzeichen 03ET1042C, Laufzeit 11/2011 bis 05/2018. Projektverantwortlich: Prof. Dr.-Ing. Andreas Rehkopf, TU BAF IAT.
- 2 I. Skaif; Ch. Müller; A. Rehkopf: Prozessführung und Ansteuerung eines cyber-physikalischen Energiesystems. atp edition – Automatisierungstechnische Praxis 12/2015, Deutscher Industrieverlag.
- 3 I. Skaif: Lehrunterlagen für das Praktikum zur LV „Energienetze und Netzoptimierung“ am IAT der TU BAF, WS 2016/17.
- 4 St. Dempe: Foundations of Bilevel Programming. Springer 2002.
- 5 Ch. Müller; I. Skaif; A. Rehkopf: Simulation und automatisierungstechnische Optimierung eines virtuellen Kraftwerks auf Basis der KWK-Technologie, Vortrag beim PTJ am 24.05.2015 in Jülich, Foliensatz im EnEff-Forum.
- 6 Ch. Müller; A. Rehkopf: Optimale Betriebsführung eines virtuellen Kraftwerks auf Basis von gasbetriebenen Mikro-Blockheizkraftwerken. at Automatisierungstechnik 03/2011, Oldenbourg.
- 7 S. Schwarz: Simulation verteilter Netze von hybriden Energiesystemen mittels MATLAB. Diplomarbeit am IAT 07/2017.

Das Biohydrometallurgische Zentrum Freiberg der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung

Unterwegs zur Gewinnung und Rückgewinnung von Indium in der Region und weltweit

Michael Schlömann und Gero Frisch unter Mitarbeit aller Mitglieder des BHMZ

In Industrieländern wie Deutschland hergestellte High-Tech-Produkte werden nicht nur bezüglich ihres technischen Designs, sondern auch im Hinblick auf ihre chemische Zusammensetzung immer komplexer. Die Leistungsfähigkeit moderner Materialien wird oft durch Elemente bestimmt, die in ihnen zwar nur in kleinen Konzentrationen enthalten, für die Materialeigenschaften aber unverzichtbar sind. Zu diesen wirtschaftsstrategisch wichtigen Elementen zählen z.B. Gallium, die sog. Seltenerdmetalle, Niob und Antimon, aber auch das Indium und das Germanium. Indium und Germanium kommen im Erzgebirge vor und wurden von Wissenschaftlern der Bergakademie Freiberg entdeckt. Beide sind für High-Tech-Produkte von zentraler Bedeutung: das Indium vor allem in Form des Indium-Zinn-Oxids (ITO) für Flachbildschirme und Touchscreens sowie in Verbindungshalbleitern für diverse elektronische Bauteile wie Transistoren oder Dünnschicht-Solarzellen; und das Germanium z. B. für Infrarot-Optik und Hochfrequenztechnik-Bausteine sowie für Katalysatoren. Gemäß einer Studie der EU¹ liegen diese beiden Elemente bezüglich der bis 2030 zu erwartenden Nachfragesteigerung auf den Stellen zwei und drei hinter dem Gallium, und vor den Seltenerdmetallen. Von beiden Elementen stammen mehr als 50% der weltweiten Produktion aus einem einzigen Land – China. Daraus resultiert eine starke wirtschaftliche Abhängigkeit der Hersteller von High-Tech-Produkten vom Anbieter China, die von der EU als Versorgungsrisiko betrachtet wird.

Bezüglich der Bereitstellung dieser und anderer Elemente sieht sich der Bergbau immer größeren Herausforderungen ausgesetzt: Die zu gewinnenden Erze liegen in immer größerer Teufe. Ihre Metallgehalte

werden immer geringer und/oder die Erze sind komplexer zusammengesetzt, was in beiden Fällen die Aufbereitung aufwändiger werden lässt. Zudem muss der Energiebedarf minimiert und so gestaltet werden, dass er nach Möglichkeit aus regenerativen Energiequellen befriedigt werden kann. Darüber hinaus sind von den Bergbaubetrieben und der metallurgischen Industrie glücklicherweise immer höhere Umweltstandards einzuhalten.

Nicht nur der Bergbau, auch die Recycling-Industrie sieht sich mit immer größeren Herausforderungen konfrontiert. So ist insbesondere die Rückgewinnung von nur in Spuren vorkommenden, aber doch zentral wichtigen Elementen extrem aufwändig, so dass sich ein Recycling-Prozess mit den bisher verfügbaren Verfahren oft nicht lohnt. Auch für das Indium und das Germanium sind die Recyclingquoten aus End-of-life-Geräten derzeit noch sehr gering.

Prinzipien und Anwendungsgebiete der Biolaugung

Die Biolaugung von Erzen gilt als probate Methode, um gerade auch aus armen Erzen kostengünstig und umweltverträglich Metalle zu gewinnen. Bei der Biolaugung werden durch die Aktivität von Mikroorganismen Metallionen, die in schwerlöslichen Mineralen gebunden sind, in wasserlösliche Verbindungen überführt. Sie können deshalb nach der Laugung aus der wässrigen Phase isoliert werden, wodurch der ansonsten übliche Schritt der Verhüttung des Erzes entfällt. Im Fall oxidischer Erze, beim Kupfer bspw. in Form von Chrysokoll ($\text{Cu}_4\text{H}_2[(\text{OH})_8 | \text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$), Malachit ($\text{Cu}_2[(\text{OH})_2 | \text{CO}_3]$) oder Atacamit ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$), reicht schon deren Umsetzung mit Schwefelsäure, um die Minerale aufzulösen und die Metallionen in die wässrige Lösung zu überführen, woraus schließlich die Metalle über organische Chelatbildner (Solventextraktion)

KRÜGER-STIFTUNG

FREIBERGER
BIOHYDROMETALLURGISCHES
ZENTRUM

Kontakt:

Prof. Michael Schlömann
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Biowissenschaften
Leipziger Str. 29, 09599 Freiberg
Michael.Schloemann@ioez.tu-freiberg.de

und nachfolgende Redoxprozesse (bspw. Elektrolyse) gewonnen werden können. Man fasst dieses prinzipielle Prozedere der Metallgewinnung unter dem Begriff hydrometallurgische Gewinnung zusammen. Oxidische Erze liegen jedoch überwiegend an der Erdoberfläche vor. Da der Mensch wegen seines großen Rohstoffhungers mit dem Bergbau zwangsläufig in immer größere Teufen vordringen muss, trifft er dort zunehmend auf sulfidische Erze, in denen die Metalle an Schwefel gebunden sind. Die meisten Metallsulfide sind schwerlöslich und lassen sich nur auf pyrometallurgischem Weg aus Konzentraten heraus verarbeiten. Durch Schwefelsäure lassen sie sich nicht im für die Metallgewinnung notwendigen Ausmaß auflösen. Dies gelingt aber mit Hilfe von Mikroorganismen, die Metallsulfide mit Sauerstoff zu Metallsulfaten oxidieren. Zum Beispiel läuft bei Sphalerit (ZnS) die Bruttoreaktion $\text{ZnS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ ab.

In vielen sulfidischen Lagerstätten liegt in größerer Menge das Mineral Pyrit (FeS_2) vor. Bei seiner Oxidation entsteht Schwefelsäure, die wiederum das zur Auflösung notwendige saure Milieu schafft: $\text{FeS}_2 + 3,5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$

Für die vollständige Oxidation der Schwefelverbindungen zum Sulfat (SO_4^{2-}) ist die Anwesenheit von Schwefel oxidierenden Mikroorganismen notwendig. In manchen Fällen geschieht dies direkt. Besonders wichtig für den Prozess der Biolaugung ist aber die zusätzliche Anwesenheit von Eisen(II)-Ionen (Fe^{2+}) oxidierenden Mikroorganismen, da die Mikroorganismen die sulfidischen Minerale indirekt angreifen: Die Mikroorganismen oxidieren Fe^{2+} - zu Fe^{3+} -Ionen. Das Fe^{3+} -Ion oxidiert schließlich die Minerale und wird dadurch wieder zum Fe^{2+} -Ion reduziert. Aufgabe dieser Eisenoxidierer ist es also, immer wieder das Fe^{3+} -Ion zur Fortsetzung der Mineralauflösung bereitzustellen. Dies tun sie gerne, denn die Eisenoxidierer gewinnen daraus Energie, so wie

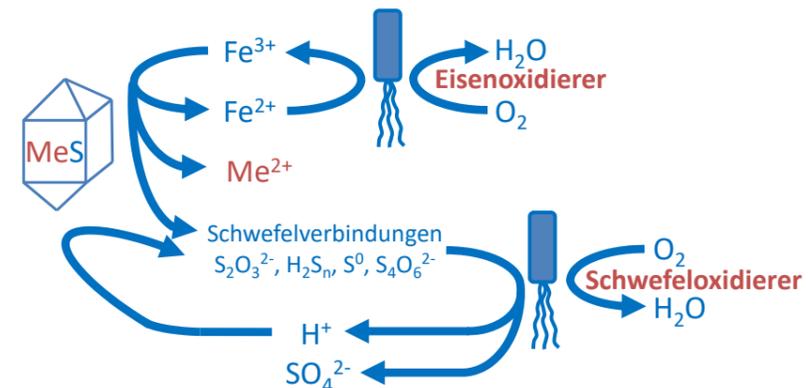


Abb. 1: Schemazeichnung zur Biolaugung

wir Menschen davon leben, bspw. Stärke und Fette zu CO_2 zu oxidieren.

Besonders etabliert ist die Biolaugung für die Kupfergewinnung. Es wird geschätzt, dass aktuell ca. 15% des weltweit gewonnenen Kupfers aus der Biolaugung stammen. Die Biolaugung ist auch für die Gewinnung von Kobalt im Produktionsmaßstab etabliert, für die von Zink wurden ebenfalls großskalige Prozesse entwickelt. Eine größere Rolle spielt die Mikrobiologie auch bei der Goldgewinnung: Allerdings geht das Gold nicht direkt durch die mikrobielle Aktivität in Lösung. Vielmehr geht es darum, die das Gold im Erz umgebenden Minerale wie Pyrit (FeS_2) und Arsenopyrit (FeAsS) zu entfernen und dadurch das Gold für den Gewinnungsprozess besser zugänglich zu machen.

Ausgehend von der hier skizzierten Ausgangslage reichte im Jahr 2012 eine Gruppe von Professoren auf eine Ausschreibung der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung hin einen Vorschlag zum Aufbau des Freiburger Biohydrometallurgischen Zentrums (BHMZ) als Promotionskolleg ein. Es gelang, das Rektorat und den Vorstand der Stiftung davon zu überzeugen, dass die Biohydrometallurgie strategisch relevant für die TU Bergakademie und deshalb förderungswürdig ist. Nachdem die ersten Doktoranden zum 1. Mai 2013 ihre Arbeit aufgenommen hatten, fand am 8. Mai im Beisein des Botschafters der Republik Chile die feierliche Eröffnung des BHMZ statt (Abb. 2). In den 13 das BHMZ tragenden Arbeitsgruppen wurden und werden (z. T. auch durch Teilung und Co-Finanzierung von Stellen) 16 Doktoranden und eine Biotechnikerin beschäftigt. Zudem gibt es an unserer Universität eine Reihe von assoziierten Doktoranden und Arbeitsgruppen², die eine fruchtbare

2 Detailliert dazu: ACAMONTA 2014, S. 140-146

Anknüpfung der Forschung im BHMZ an andere, themenverwandte Arbeiten ermöglicht. Die Förderung mit insgesamt ca. 6 Mio. € über fünf Jahre ermöglichte auch eine Reihe von wichtigen Investitionen, bspw. in die Geräteausstattung der beteiligten Arbeitsgruppen.

Im Rahmen dieses Artikels ist es selbstverständlich nicht möglich, über all die Aktivitäten des Kollegs und die bisherigen Ergebnisse aller Doktoranden zu berichten. Deshalb beschränken wir uns auf einen Überblick über die Kollegaktivitäten und fassen die Forschungsaktivitäten in vier Blöcken zusammen.

Das BHMZ als Promotionskolleg

Auf der Basis der großzügigen Förderung von Seiten der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung wurde es möglich, die Forschungsaktivitäten der Doktoranden im Kolleg durch ein interdisziplinäres Vortrags-, Exkursions- und Kursprogramm zu intensivieren.



Abb. 3: Rio Tinto in Spanien, ein Fluss mit starker mikrobieller Eisenoxidation und sehr niedrigem pH-Wert. Die rotbraune Farbe entsteht durch Eisen(III)-Ionen.



Abb. 2: Eröffnung des Freiburger Biohydrometallurgischen Zentrums am 8. Mai 2013 durch Frau Dr. Erika Krüger

Dieses soll gewährleisten, dass die Doktoranden Einblicke in Nachbardisziplinen erhalten und die Einordnung ihrer Arbeiten in den Gesamtprozess verstehen. Der gegenseitige Austausch von Perspektivplänen und Ideen erwies sich an vielen Stellen als sehr fruchtbar. Die Abstimmung der eigenen Aktivitäten mit denen anderer Gruppen gewährleistet außerdem ein effektives Zusammenwirken. Exkursionen führten zu Hütten (Nickelhütte Aue, Befesa Freiberg) und Bergwerken (Niederschlag, Pöhla) in der Region, zu Aurubis nach Hamburg, zu einem früheren Kupferschiefer-Bergwerk (Röhrichtschacht, Sangerhausen) und zum Iberischen Pyritgürtel in Spanien. Dort wurden u. a. Bergwerke, chemische Laugungsanlagen und der Rio Tinto (Abb. 3) besucht. Im Rahmen des Kollegs werden monatliche Workshops im Krügerhaus durchgeführt, bei denen durch Vorträge und Diskussionen ein reger wissenschaftlicher Austausch

gefördert wird. Zusätzlich finden während der Vorlesungszeit monatliche Vorträge von geladenen Gästen statt. Darunter waren zahlreiche Wissenschaftler aus dem Ausland, u.a. aus Chile, Kanada, Großbritannien, Südafrika, China, Japan und Polen. Hinzu kamen regelmäßige Diskussionen mit Partnern aus Firmen und Forschungsinstitutionen.

Zur Intensivierung der Kooperation im Rahmen des BHMZ wurden vier ein- bis zweiwöchige Laborkurse mit den folgenden Schwerpunkten durchgeführt: Mineralogie, geochemische Analytik, wässrige Chemie von Indium und Germanium (März 2015), Mikrobiologie der Laugung, In-situ-Laugung (August 2015) (Abb. 4), Gewinnung von Indium und Germanium aus wässrigen Lösungen, Komplexbildung (März 2016), bildgebende Verfahren (August/September 2016) am ProVIS-Zentrum des Umweltforschungszentrums Leipzig. Zudem wurde in den Jahren 2015 und 2016 im Rahmen des Berg- und Hüttenmännischen Tages ein Kolloquium des BHMZ veranstaltet. Im August 2016 wurde eine internationale Summer School zum Biomining zusammen mit dem Projekt SysMetEx (*Systems biology of acidophile biofilms for efficient metal extraction*) durchgeführt. Schließlich fand vom 24. bis 27. September 2017 das International Biohydrometallurgy Symposium, die wichtigste Tagung auf dem Gebiet weltweit, in Freiberg statt. Auf diesen wissenschaftlichen Veranstaltungen traten die Doktorandinnen und Doktoranden sowie ihre Betreuer mit zahlreichen Experten auf mehreren Gebieten der Biohydrometallurgie in persönlichen Kontakt. Sie erhielten so aktuelle Informationen zum Stand der Forschung und Technik und zugleich in umfangreichem Maße die Gelegenheit, ihre Ergebnisse auf Tagungen vorzustellen.

Neues zu Indium in regionalen Lagerstätten

Der aktuelle Stand des Basiswissens zum Vorkommen von Indium in erzgebirgischen Lagerstätten weicht deutlich von jenem am Projektbeginn ab. Untersuchungen von Matthias Bauer (AG Seifert) und Maria Ussath (AG Drebenstedt/Hoth) in Zusammenarbeit mit der Fa. Saxore zeigten, dass in Zonen der Teil-Lagerstätten Hämmerlein und Tellerhäuser der Komplex-Lagerstätte Westerzgebirge bei Schwarzenberg hohe Konzentrationen von Indium vorkommen – höhere als im universitätseigenen Forschungs- und



Abb. 4: Doktoranden auf den Gebieten Chemie, Geo- und Ingenieurwissenschaften lernen das Arbeiten mit Bakterien von ihren Kollegen am Institut für Biowissenschaften

Lehrbergwerk Reiche Zeche. Indium ist hier primär Bestandteil im Sphalerit (ZnS) und auch in Chalkopyrit (CuFeS₂). Chalkopyrit selbst ist zwar kein guter Träger von Indium, er umschließt aber oft kleine indiumhaltige Sphalerit-Körner, so dass es bei geringer Auflösung der Analyse so scheint, als sei das Indium an Chalkopyrit gebunden. Zur Entwicklung der Indium-Mineralisation in der Teil-Lagerstätte Hämmerlein wurde ein Modell entwickelt: In³⁺-Ionen wandern nachträglich zusammen mit Cu²⁺-Ionen in den Sphalerit ein und ersetzen hierin das Zn²⁺ (Abb. 5). Ein

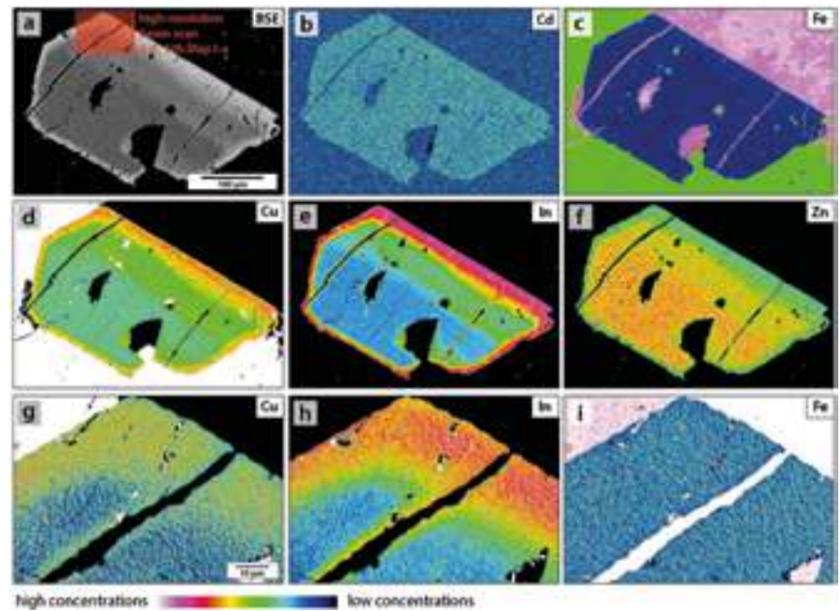


Abb. 5: Untersuchung später Austausch-Prozesse mittels Elektronenstrahlmikrosonde an Sphalerit, umschlossen von Chalkopyrit und Eisenoxiden: Cu⁺ und In³⁺ haben Zn²⁺ in den äußeren Bereichen des Sphalerits ersetzt.

besseres Verständnis der Entstehung von Lagerstätten ist hilfreich, um auch an anderen Orten neue entsprechende Lagerstätten zu finden.

Im Rahmen des BHMZ wurden die Analysemethoden für komplexe Erze weiterentwickelt. Anhand eines Referenzmaterials aus einer Erzprobe der Reichen Zeche wurde ein internationaler Ringversuch unternommen, bei dem das Freiburger Labor (Christine Pilz, Stephanie Uhlig, AG Matschullat) hervorragend abschnitt. Von Interesse für die Indium-Analytik mittels Ionenchromatografie ist auch die Beobachtung von Charlotte Ashworth (AG Frisch), dass die normalerweise co-eluierenden In³⁺- und Cu²⁺-Ionen durch Temperaturerhöhung getrennt werden können. Von Corinne Wendler (AG Drebenstedt/Hoth) wurden Wässer als Quelle für Wertelemente untersucht.

Laugung von Indium enthaltendem Sphalerit und Chalkopyrit

Kurz nach dem Start des BHMZ wurde von Nadja Eisen (AG Schlömann) im Labormaßstab gezeigt, dass aus regionalem indiumhaltigen Zinkerz nicht nur das Zink, sondern auch das Indium gelaugt werden kann und dass dieser Prozess durch Mikroorganismen beschleunigt wird. Hierzu wurden Kulturen eingesetzt, die aus sauren Bergbauwässern der Region Freiberg stammen. Ausgangspunkt dieser Entscheidung war, dass Bakterien aus lokalen Wässern sich an die hierin herrschenden Lebensbedingungen, bspw.



Abb. 6: Bioreaktoren für die Erzaugung

bezüglich der Konzentrationen an toxischen Elementen, anpassen. Der pH-Wert des Milieus wurde im Hinblick auf die Lebensbedingungen der Mikroorganismen und die Löslichkeit des Eisens optimiert.

Im Hinblick auf eine technische Anwendung wurden Laugungsversuche mit unterschiedlichen Feststoff-Beladungen durchgeführt. Zudem wurden spezielle Bioreaktoren (Abb. 6) beschafft, die es ermöglichen, die Proben durch Regulation des Sauerstoff-Gehalts der Zuluft bei konstantem Redoxpotenzial zu laugen. Diese Bedingung ist insbesondere für die Auflösung von Chalkopyrit relevant, da dieser bei unpassender Einstellung des Redoxpotenzials passiviert wird. Auch die praktische Möglichkeit, die CO₂-Versorgung regulieren zu können, ist von Interesse, da die meisten Laugungsbakterien autotroph leben, sich also (wie die grünen Pflanzen) von CO₂ als Kohlenstoffquelle ernähren. Die Gewährleistung eines stabilen Betriebs der Bioreaktoren erwies sich als nicht einfach. So zeigte sich, dass die Redoxelektroden zur Kontrolle der Prozessbedingungen, insb. des Redoxpotenzials und der O₂-Konzentration, keine stabilen Messwerte lieferten. Deshalb wurde über eine Optodentechnik, die auf einem durch Sauerstoff gequenchten Fluoreszenzfarbstoff basiert, eine neue Möglichkeit zur Messung der Sauerstoffkonzentration in Laugungsreaktoren eingeführt. Derzeitige Versuche zielen u. a. darauf ab, moderat thermophile Bakterien einzusetzen, um die Laugungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

Zum Studium des Indiumeinflusses auf die Laugbarkeit von Sphalerit wurde von Judith Heinrich (AG Heide) ein Verfahren zur Synthese von hochreinem Sphalerit mit gezielter Indium-Dotierung entwickelt. In diesem Verfahren wird eine Chance gesehen, auch andere für das BHMZ-Projekt relevante Referenzmaterialien mit definierten Dotierungen herzustellen.

Versuche von Dieu Huynh (AG Schlömann) zur Isolierung und Verwendung acidophiler, Chlorid tolerierender Eisenoxidierer könnten es ermöglichen, die den Laugungsprozess beschleunigende Wirkung von Chlorid-Ionen mit dem Einsatz von Bakterien zu kombinieren. Der Einsatz von Salzsäure anstelle von Schwefelsäure würde auch verhindern, dass beim Auflösen der in Erzen häufig vorkommenden Carbonate der schwerlösliche Gips (CaSO₄ · 2H₂O) ausfällt. Parallel zu den mikrobiologischen Versuchen führte Ninett Frenzel (AG Frisch) elektrochemische Versuche zum Effekt von Chlorid auf die Effektivität des Laugungsprozesses von Chalkopyrit durch. Aus diesen Versuchen ist zu folgern, dass in chloridhaltiger Lösung die unter Mitwirkung der Bakterien bereitgestellten Fe³⁺-Ionen primär Cu⁺ zu Cu²⁺ oxidieren. Die Cu²⁺-Ionen greifen schließlich den Chalkopyrit oxidativ an. Diese Kette könnte eine Ursache für die schnellere Laugung und geringere Passivierung von Chalkopyrit in Gegenwart von Chlorid sein.

Technische Laugungsprozesse in Bioreaktoren – bspw. in der Gold-, Kobalt- oder Kupfergewinnung – laufen immer kontinuierlich und mehrstufig ab. Hierbei wird ständig Erzsuspension in den ersten Reaktor hineingepumpt, während sich das Erz von Stufe zu Stufe immer weiter auflöst. Im BHMZ werden die Reaktoren bisher im einfacheren, nicht-kontinuierlichen Batch-Verfahren betrieben. Ein kontinuierliches Reaktorsystem im Labormaßstab wird derzeit aufgebaut. Zudem wurde ein Reaktor mit einer Vorrichtung zur elektrochemischen Eisen(III)-Reduktion entwickelt, der es erlaubt, schnell und einfach Laugungsbakterien bis zu hohen Zellkonzentrationen zu kultivieren. Nach den noch ausstehenden Optimierungsschritten sollen solche Laugungssysteme Firmen in der Region zur Verfügung gestellt und gemeinsam weiterentwickelt werden, um bspw. Indium führende sulfidische Konzentrate aus dem Raum Pöhl zu laugen. Hierdurch könnten – zusätzlich zum dort primär zu fördernden Zinn – auch Indium, Zink und Kupfer gewonnen werden.

In-situ-Laugung in der Reichen Zeche

Um den ökologischen Fußabdruck des Bergbaus zu minimieren, sollte es grundsätzlich vermieden werden, große Mengen Erz plus taubes Gestein nach über Tage zu fördern und Reststoffe auf Halden abzulagern. Ökologisch sinnvoller wäre es, nur die eigentlichen Zielprodukte des Bergbaus herauszuholen, im vorliegenden Fall also die relevanten Metalle. Diesem Ziel könnte man prinzipiell durch Extraktion der Metallionen unter Nutzung mikrobieller Aktivitäten näherkommen: Im Idealfall wäre nur eine Lösung mit den Zielmetallen aus dem Bohrloch zu pumpen. Über Tage könnten die relevanten Metallionen dann bspw. mittels Solventextraktion aus der wässrigen Lösung extrahiert und die Lösung erneut zur Laugung verwendet werden. Diese minimalinvasive Art des Bergbaus käme, so die Vision, im Wesentlichen mit einer Reihe von Bohrlöchern aus, über die Lösungen in den Berg hinein- oder aus ihm herausgepumpt werden können.

Selbstverständlich ist ein solches Laugungssystem komplexer als ein Laugungsprozess im Bioreaktor. Zusätzlich zu den Wechselwirkungen zwischen den Bakterien, den Mineralen und der Lösung mit ihren Bestandteilen, spielen noch weitere Aspekte eine Rolle: Wie wird die Zugänglichkeit der Minerale für die Bakterien oder die von ihnen produzierten Fe³⁺-Ionen gewährleistet? Ist eine Stimulierung des Erzkörpers notwendig, wenn ja, in welcher Form ist diese am wirksamsten? Wie wirken sich Carbonate bzw. andere puffernde Substanzen aus? Entfalten sie ihre Pufferwirkung vollständig oder passivieren sie sich selbst und stören letztlich wenig? Wie wird eine Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen am besten gewährleistet: durch Umpumpen einer sauerstoffreichen Lösung oder durch Begasung im Bohrloch? Welche Bakterien sind angesichts der Temperaturen im Berg bzw. der vorkommenden Minerale am besten geeignet? Wie beeinflusst der Prozess unter Druck- und pH-Wert-Wechsel die Aktivität der Mikroorganismen? Wie kann die mikrobielle Aktivität im Berg analytisch verfolgt werden? Welche Ausbeuten können erzielt werden? Was sind Ursachen für eine möglicherweise ausbleibende Laugung? Ist mit Verblockungen durch Sekundärmineralbildung zu rechnen? Wie und in welchem Umfang lassen sich die Laugungslösungen im Berg so aufbereiten, dass möglichst wenig Lösung nach über Tage gepumpt werden muss?

Wie lässt sich sicher gewährleisten, dass mit Metallen befrachtete saure Lösungen nicht unkontrolliert versickern und ggf. ins Grundwasser gelangen?

Für die Klärung solcher Fragen bietet der inzwischen installierte Versuchsstand des BHMZ zur In-situ-Laugung im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche ideale und zumindest europaweit einmalige Voraussetzungen. In Vorbereitung der Eröffnung des Versuchsstands wurden durch Ralf Schlüter (AG Mischo) entsprechende Planungen vorgenommen und bergrechtliche Genehmigungen eingeholt. Zudem wurden geeignete Bohrgeräte beschafft, mit denen die Bohrlöcher angelegt und gleichzeitig Kerne für weitere Untersuchungen erbohrt werden konnten. Mit geophysikalischen Methoden wurde die Lage des Erzes im ausgewählten Block ermittelt. Auf mikrobiologischer Seite wurde mit molekularen Methoden die mikrobielle Lebensgemeinschaft in Wässern der Reichen Zeche charakterisiert. Mit diesen Kulturen wurden Experimente zur Anheftung der Mikroorganismen an die vorkommenden Minerale durchgeführt. Die Kultivierung der Mikroorganismen und die Laugungsqualität bei 11 °C – der Gesteinstemperatur in der Reichen Zeche – wurden überprüft und eine Kultivierung im 50-L-Maßstab etabliert. Am 30. November 2016 wurde der Versuchsstand schließlich durch Frau Dr. Krüger eröffnet (Abb. 7). Inzwischen ist geklärt, dass mit hydraulischer Stimulierung eine hinreichende Lauge-Durchlässigkeit des Gesteins erreicht wird und dass die Lösung nicht versickert, sondern in der Empfangsbohrung komplett aufgefangen werden kann. Derzeit werden Sensoren für die Kontrolle des Prozesses sowie Anlagen für die Aufkonzentrierung der Laugungslösungen installiert. Ziel ist die Etablierung eines „Freiberger Verfahrens“ der In-situ-Laugung, das in adaptierter Form auch auf andere Erze und Zielmetalle angewendet werden kann.

Gewinnung von Indium aus der wässrigen Phase

Bei der Auflösung eines sulfidischen Erzes unter Mitwirkung mikrobieller Aktivität gehen die sulfidisch gebundenen Elemente (außer Blei, das als $PbSO_4$ ausfällt) unspezifisch in Lösung. Im Fall solcher komplexer Erze, wie sie im Erzgebirge anzutreffen sind, ist auch die Laugungslösung komplex zusammengesetzt. Um zu den gewünschten reinen Metallen zu kommen, sind entsprechende Trennungsschritte



Abb. 7: Beschickung der Aufgäbebohrung am BHMZ-Versuchsstand zur In-situ-Laugung in der Reichen Zeche mit Bakterien durch Frau Dr. Krüger am 30. November 2016

erforderlich. Diese werden aber dadurch erschwert, dass bestimmte Werteelemente wie das Indium oft nur in geringen Konzentrationen vor einem großen Hintergrund an anderen Elementen in einer insgesamt stark verdünnten Lösung anfallen. Deshalb war im BHMZ von Beginn an etwa die Hälfte der Arbeiten auf die Weiterverarbeitung der Laugungslösungen zu verwertbaren Produkten konzentriert. Im Fokus standen dabei u. a. das Design von selektiven Chelatbildnern für Indium und Germanium durch Balajanga-manahalli Kasinathan Ramamoorthi und Dominik Wondrousch (AG Schüürmann), die Synthese solcher Chelatbildner durch Mathias Schulze (AG Mazik), die Option einer selektiven Membrantrennung durch Arite Werner (AG Repke/Haseneder), Fragen der Löslichkeit verschiedener Metallkomplexe in Abhängigkeit von den in der Lösung befindlichen Ionen durch Charlotte Ashworth (AG Frisch), die Optimierung der Elektrolyse zur Abscheidung von Indium aus der Lösung durch die Auswahl geeigneter Zusatzstoffe zur Erreichung einer gleichmäßigen Indium-Abscheidung ohne Wasserstoff-Bildung (Simon Sperlich, AG Stelter) und schließlich der Einbau von Germanium anstelle von Silicium in anorganisch-organische Materialien mittels Biomineralisation (Sabine Kaiser, AG Ehrlich).

Hervorzuheben ist ein von Radek Vostal und Martin Reiber (AG Bertau) entwickeltes und inzwischen durch mehrere Patentanmeldungen geschütztes Verfahren (Abb. 8), bei dem hochreines Indium

durch eine zweistufige Solventextraktion an fester Phase mit nachfolgender Gewinnungselektrolyse gewonnen wird. Durch die geschickte Wahl der Extraktionsmittel, wie Cyanex 923 (Abb. 9) sowie eines in der Elektrolysetechnik bis dato unbekanntes Additivs können Rohproduktreinheiten von 99,99 % (4N) erhalten werden. Zum Vergleich: Nach Stand der Technik beträgt die Indium-Rohproduktreinheit nur 95 %, weswegen noch eine nachgeschaltete Raffinationselektrolyse benötigt wird. Das Verfahren funktioniert bereits bei einer Indium-Konzentration ab 1 ppm in der Ausgangslösung und toleriert mehr als das 10.000-fache an Eisen und Zink, die als Koppelprodukte sogar in Reinform mitgewonnen werden. Besonders elegant an dem Verfahren ist der wertstoffchemische Ansatz,³ so dass nicht nur Lösungen aus der mikrobiellen Erzlaugung, sondern auch jene aus dem Recycling indiumhaltiger Elektronikschrotte, Legierungen, Touchscreens (ITO) u.ä. im selben Prozessstrang verarbeitet werden. In diesem Zusammenhang wurde eine enge Kooperation mit einer in Freiberg ansässigen Firma aufgebaut. Es ist geplant, das Verfahren zur Indiumgewinnung aus dem BHMZ auszugründen.

Fazit

Auf der Basis einer großzügigen Förderung durch die Dr.-Erich-Krüger-Stiftung ist an der TU Bergakademie die (Bio)hydrometallurgie gestärkt und als ein

³ Vgl. Beitrag von Fröhlich et al. in diesem Heft

markantes interdisziplinäres Forschungsgebiet – getragen von der Kooperation mehrerer Institute – etabliert worden. Dieses an der TU Bergakademie neue Forschungsfeld hat auch international eine erhebliche Sichtbarkeit erlangt. Im Erzgebirge gibt es Lagerstätten, die reich an Indium sind, und dieses indiumreiche Erz ist mikrobiell laugbar. Durch die weitere Intensivierung der vom BHMZ ausgehenden Forschungsarbeiten und ein Scale-Up sollte es möglich sein, Firmen wirkungsvoll dabei zu unterstützen, Indium über Laugung im Bioreaktor im Erzgebirge zu gewinnen. Für die In-situ-Laugung wird ein „Freiberger Verfahren“ entwickelt, das perspektivisch auch auf

andere Erze und Metalle angewendet werden kann. Schließlich soll, ausgehend davon, dass es gelingt, hochreines Indium aus verdünnten Lösungen zu gewinnen, eine Firma ausgegründet werden. Wir sind zuversichtlich, dass das Ziel der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung, über die Förderung anwendungsorientierter Forschung zur wirtschaftlichen Entwicklung der Region Freiberg beizutragen, im Rahmen des BHMZ realisiert werden kann.

Danksagung: Die Autoren und die übrigen Mitglieder des BHMZ bedanken sich bei der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung für die überaus großzügige Unterstützung.



Foto: TU Bergakademie Freiberg/R. Vostal

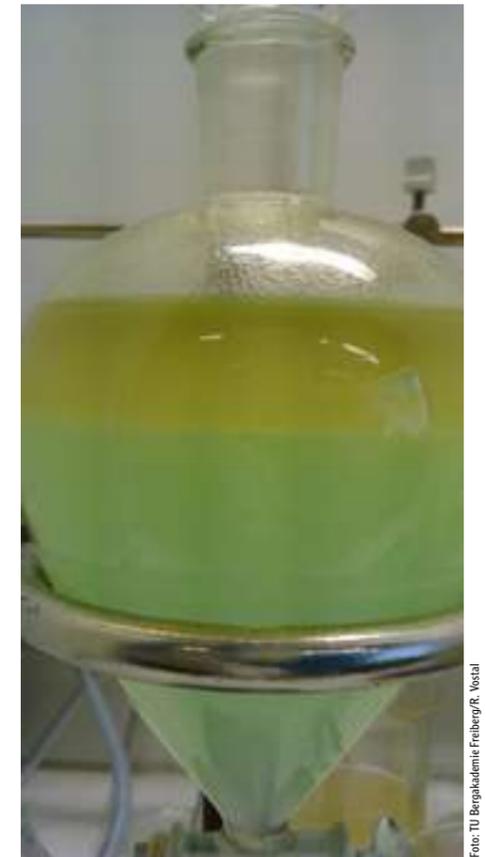


Foto: TU Bergakademie Freiberg/R. Vostal

Abb. 9: Indiumextraktion mit Cyanex 923

Abb. 8 (links): Mixer-Settler-Anlage



Foto: Corinne Wendler

Abb. 10: Mitglieder des BHMZ und des BHMZ-Beirates bei einer Klausurtagung in Holzgau 2016

Wertstoffchemie – ein in Freiberg geprägter Begriff revolutioniert die Rohstoffgewinnung

Peter Fröhlich¹, Jürgen Eschment¹, Martin Bertau¹

Aktueller Stand

Nicht erst seitdem China im August 2010 die Ausfuhr Seltener Erden beschränkte, ist die Sicherung der Rohstoffbasis ein zentrales Thema im produzierenden Gewerbe, allen voran die Chemische Industrie und die Metallurgie. Die beschränkte Verfügbarkeit der Seltenerdmetalle machte damals ein weiteres Mal deutlich, wie sehr die Industrienationen auf Rohstoffimporte angewiesen sind – mehr noch, wie sehr sie in bestimmten Fällen von einzelnen Lieferländern abhängig sind. Die Seltenen Erden sind seither zum synonymen Begriff für den Themenkomplex „Sicherung der Rohstoffbasis“ geworden. Mit dieser Entwicklung einherging eine wachsende Sensibilisierung der Öffentlichkeit für dieses Thema.

Die mediale Aufmerksamkeit für die Rohstoffproblematik verschaffte außer ganz allgemeinen Fragestellungen auch Begriffen wie „kritischer Rohstoff“ oder „strategisches Element“ bis hin zu „Rohstoffverfügbarkeit“ und „Ressourceneffizienz“ allgemeine Bekanntheit. In der Folge rückten Fragen der Rohstoffgewinnung – sowohl über den Bergbau als auch durch das Recycling – immer stärker in den Fokus des Interesses. Dabei wurde deutlich, dass sich zwischenzeitlich zwei Parallelindustrien entwickelt hatten, die de facto keine gemeinsamen Schnittstellen aufweisen. Dessen ungeachtet war die gesteigerte Aufmerksamkeit für die Problematik der Rohstoffgewinnung bzw. -beschaffung ein Glücksfall, denn sie führte vor Augen, dass Rohstoffe noch immer herkunftabhängig – auf fast separat nebeneinander herlaufenden Wegen – produziert werden.

Stand der Technik

Die in diesem Sinne herkunftabhängige Rohstoffgewinnung ist dadurch charakterisiert, dass primäre Rohstoffe (Bergbau) typischerweise einen anderen Aufbereitungsweg durchlaufen als Sekundärrohstoffe (Recycling). Die Folge sind getrennte Produktionswege. Dies ist zum einen volkswirtschaftlich fragwürdig, weil Produktions- und Anlagenkapazitäten

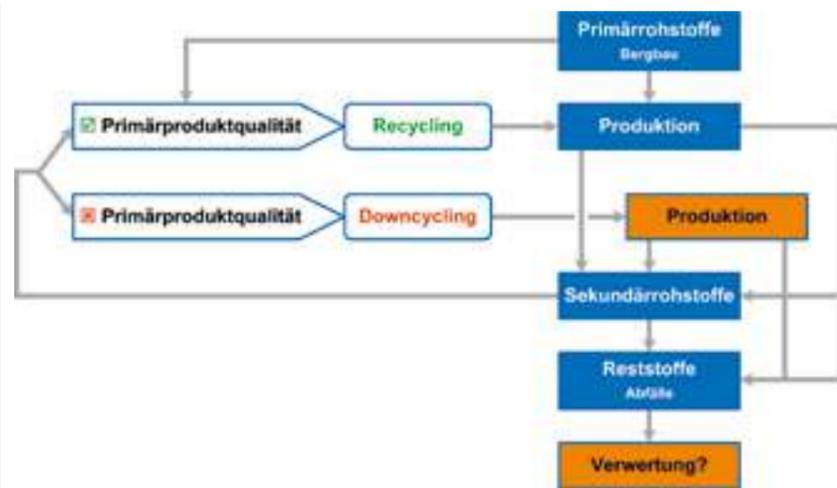


Abb. 1: Wandlung der Sekundärrohstoffe zu Stoffen mit Primärproduktqualität, aus denen marktetaillierte Produkte erzeugt werden

mindestens doppelt vorgehalten werden, sich alle aber über den Ertrag refinanzieren müssen. Schwererwiegend ist jedoch, dass man nur dann von einem Recycling im eigentlichen Wortsinn reden kann, wenn die Qualität des Recyclingprodukts Primärproduktqualität besitzt, mithin also von einem bergbaulicher Tätigkeit entstammenden Rohstoff nicht zu unterscheiden ist. Alles andere ist Downcycling (Abb. 1).

Ein echtes Recycling wird bspw. bei Edelmetallen bereits realisiert, auch bei Kupfer; aber schon bei Aluminium oder Stahl werden die Grenzen des Recyclings deutlich, denn dessen Produkte entsprechen in ihrer Zusammensetzung und in ihren Eigenschaften in der Regel nicht dem Primäraluminium bzw. dem Rohstahl.

Dies macht deutlich, dass die in der Industrie beschrittenen Wege der (scheinbar mit Vorsatz sauberlich getrennten) herkunftabhängigen Rohstoffgewinnung miteinander nicht kompatibel sind. Die Folge sind sich parallel entwickelnde Märkte für Rohstoffe in Primär- und daneben für solche in Sekundärproduktqualität. Mag das beim Stahl mit Blick auf die erfolgreich produzierten Edeltähle noch gut funktionieren, wirft bereits das Aluminiumrecycling schwerwiegende Probleme auf, da Aluminium häufig mit Si, Li, Mg, Sc oder Zn legiert ist und sich die verschiedenen Legierungen aufgrund

von Nichtmischbarkeiten der jeweiligen Schmelzen entweder nur begrenzt oder nur unter Beimischung von Primäraluminium recyceln lassen. Bei Massenprodukten wie Stahl oder Aluminium fällt so etwas besonders ins Gewicht. Industrien, die auf Rohstoffe in Primärproduktqualität angewiesen sind, steht der benötigte Rohstoff schlichtweg nicht in ausreichender Menge zur Verfügung.

Bergbau und Recycling – ein Widerspruch?

Heutzutage wird das Recycling oft als dem Bergbau gegenüber zu bevorzugender Gegenentwurf dargestellt. Motivation dazu sind ethische Implikationen wie Kinderarbeit in einigen Rohstoffexport-Ländern der Welt, der Begriff „Blutrohstoffe“, Umweltschutz u.v.a.m. Tatsächlich kommt dem Recycling inzwischen ein wesentlich höherer Stellenwert zu, und es genießt zunehmend öffentliche Akzeptanz. Die Kehrseite dieser Entwicklung ist eine überhöhte Wahrnehmung der Möglichkeiten des Recyclings – bis hin zu einem Recycling um seiner selbst willen. Für die Rohstoffversorgung einer Volkswirtschaft ist das keine gute Entwicklung.

Tatsächlich befinden wir uns in einem Spannungsfeld, das zu großen Teilen von den Gegenpolen Konsumentenverhalten und Konsumgüterproduktion dominiert wird. Der Verbraucher schätzt die

Verfügbarkeit hochkomplexer, immer wieder neuer Konsumgüter zu Preisen, die den diesen Produkten innewohnenden wirklichen Wert nur selten nachvollziehen lassen. Jeder kennt die Angebotsvielfalt z. B. eines Elektronikmarkts. Dazu argumentiert der Hersteller mit der Offenbar ja regen Nachfrage auf der Konsumentenseite.

Die Diskussion um klassische Mobiltelefone vs. Smartphones ist hier ein Beispiel. Es handelt sich hier um ein klassisches Henne-Ei-Problem – mit der Folge jedoch, dass „kritische“ Rohstoffe geradezu hemmungslos mit dem Effekt ihrer letztendlich maximalen Verdünnung (Dissipation) für die Herstellung von Konsumgütern eingesetzt werden. Dadurch lässt sich die Angespanntheit der Versorgungslage bei solchen Rohstoffen der Bevölkerung kaum vermitteln, denn die Produkte sind ja jederzeit und fast überall zu niedrigen Preisen erhältlich. Dies wiederum führt zu einem Nachfragezuwachs bei Bedarfsgegenständen, die nicht zur unmittelbaren Sicherung des Lebensstandards beitragen, d. h. zu verstärkter Nachfrage nach Luxusgütern. Dabei entziehen gerade solche Produkte aufgrund ihrer hochkomplexen Zusammensetzung viele der in punkto Verfügbarkeit als kritisch einzustufenden Metalle einem wirkungsvollen Recycling, so dass der Rohstoffbedarf allein aus dem Recycling heraus nicht befriedigt werden kann. Hinzu kommen unzureichende Recyclingkapazitäten sowie angesichts der aktuellen Lage nicht mehr ausreichend leistungsfähige Recyclingtechnologien. Beide Faktoren erfordern und fördern eine Verstärkung der Primärrohstoffproduktion.

Es ist an dieser Stelle aber auch anzumerken, dass eine unkritisch-pauschal ablehnende Haltung gegenüber dem Bergbau für die Gesellschaft nicht zielführend ist. Dazu mögen nur zwei Punkte genannt sein:

1. Exportorientierte Nationen können aus der Natur der Sache heraus ihren Rohstoffbedarf nicht ausschließlich aus dem Aufkommen an innerhalb ihrer jeweiligen Volkswirtschaft zirkulierenden Reststoffen decken.

2. Der weltweit wachsende Rohstoffhunger ist ganz elementar auch Resultat des Anwachsens der Weltbevölkerung und Ausdruck des Strebens nach einer (Vorwärts-)Angleichung der Lebensbedingungen für alle Menschen dieser Welt, die jemandem zu versagen ethisch fragwürdig wäre.

Zukunftstechnologie

Wenn also die herkunftabhängige Rohstoffgewinnung nicht geeignet ist, gegenwärtig schon anstehende Problematiken zufriedenstellend zu lösen, werden Alternativen benötigt, die diese zwar historisch gewachsenen, dennoch aber als überholt anzusehenden Produktionsansätze substituieren können.

Ein zielführender Weg in diese Richtung ist die herkunftsunabhängige Gewinnung der Rohstoffe. Hier liegt der Fokus auf dem zu erzeugenden Produkt – und nicht auf der Art des einzusetzenden Rohmaterials. Ziel ist die Sicherstellung einer einheitlichen Produktqualität – ganz unabhängig von der Provenienz des eingesetzten Rohstoffs. Für die Industrie hätte dies den unschätzbaren Vorteil, dass die benötigten Rohstoffe in spezifikationskonformer Qualität in dann eher ausreichender Menge zur Verfügung stünden.

Warum ist das so wichtig? Deutschland ist als Industrienation bekanntlich stark exportorientiert. Ein Großteil der eingeführten Rohstoffe wird zu Produkten veredelt, die ausgeführt und auf den Weltmärkten erfolgreich gehandelt werden. Primärrohstoffe wie z. B. Indium, Germanium, Seltenerdmetalle oder auch Phosphat, für die eine Importabhängigkeit von einzelnen oder nur wenigen Lieferländern besteht, sind mitunter einem hohen Versorgungsrisiko unterworfen. Das heißt nichts anderes, als dass man alles daran setzen muss, solche Versorgungsrisiken durch ein Zunutzemachen heimischer Sekundärrohstoffe einzugrenzen oder sogar zu eliminieren.

Für eine stark exportorientierte Wirtschaft ist es naturgemäß so gut wie unmöglich, den Rohstoffbedarf allein aus Recyclingmaterial zu decken, weswegen grundsätzlich immer eine Importabhängigkeit gegeben sein wird! Daher ist es gerade mit Blick auf eine Strategie der Rohstoffversorgung, die die Kriterien der Nachhaltigkeit erfüllt, unverzichtbar, einheitliche (Ziel-)Produktqualitäten gleichermaßen aus Primär- wie auch auf der Basis von Sekundärrohstoffen zu generieren.

Reststoffverwertung

Um den Nachhaltigkeitsgedanken vollumfänglich umzusetzen, fehlt noch ein gewichtiger Baustein. Gemeinhin wird Erzen im Zuge der mechanischen Aufarbeitung die Gangart entzogen. Sie wird zu großen Teilen als Versatz in den Berg zurückgeführt, signifikante Mengen verbleiben jedoch übertage und müssen

auf Halden verbracht werden. Zugleich fallen bei Recyclingprozessen erhebliche Mengen an anorganischen Reststoffen an, die üblicherweise ebenfalls der Deponierung zugeführt oder in Zementwerken verwertet werden. Diese Reststoffe sind zumeist silicium- und aluminiumreich, so dass sich eine Reststoffverwertung, bspw. in Richtung alkalisch aktivierter Bindemittel anbietet. Von dieser Möglichkeit, Reststoffe wirtschaftlich gewinnbringend zu verwerten, wird indes faktisch kaum Gebrauch gemacht. Auch hier beherrscht traditionelles Denken das Handeln. Dabei bieten alkalisch aktivierte Bindemittel – im Idealfall kann man von Geopolymeren sprechen – die Option, das Zero-Waste-Prinzip weitgehend zu verwirklichen. Auch wenn die absolut abfallfreie Produktion eine Illusion ist, bietet doch schon die abfallarme Produktion wirtschaftliche Anreize. Immerhin wurden ja auch die als „Reststoffe“ bezeichneten Wertstoffe einst mit finanziellem Aufwand (mit-)gefördert, separiert und/oder modifiziert. Diese althergebrachte Herangehensweise vergeudet schlichtweg auch finanzielle Ressourcen.

Wie weit eine Reststoffverwertung nach dem hier vorgestellten Prinzip führen kann, mag folgendes Denkbeispiel illustrieren: Im Erzbergbau verbleibt oft ein Teil des Erzkörpers aus gebirgsmechanischen Gründen als Sicherheitspfeiler und kann daher nicht verwertet werden. Würden nun die ausgeerzten Grubenbaue mit Versatz verfüllt, aber nicht mit Beton abgebunden, sondern mit Geopolymer, so erhielte man einen gebirgsmechanisch hinreichend tragfesten Versatz, der anders als im Falle von Calciumsilicathydrat-basierten Bindemitteln (Zement) sogar eine Säurestabilität aufweist, die es erlauben würde, den stehengebliebenen Erzkörper ebenfalls abzubauen. Damit erhöhte sich die Erzausbeute im Idealfall um bis zu 100 %. Gleichzeitig könnte auf Spülhalden weitestgehend verzichtet werden, und die bergbaulich bedingten übertägigen Eingriffe in die Natur würden so minimiert.

Wertstoffchemie – ein an der TU Bergakademie Freiberg geprägter Begriff

Die Wertstoffchemie greift dieses Konzept auf. Definitionsgemäß ist sie die Gesamtheit der herkunftsunabhängigen Verfahren und Methodiken zur Erzeugung chemischer Grundstoffe. Sie hebt die Grenzen zwischen Primärrohstoffen (Bergbau), Sekundärrohstoffen (Recycling)

Abb. 2: Die Wertstoffchemie macht keine Unterschiede zwischen den Einsatzstoffen – weder nach deren Herkunft noch nach der Technologie ihrer Verarbeitung im Sinne einer verfahrensunabhängigen Erzeugung chemischer Grundstoffe

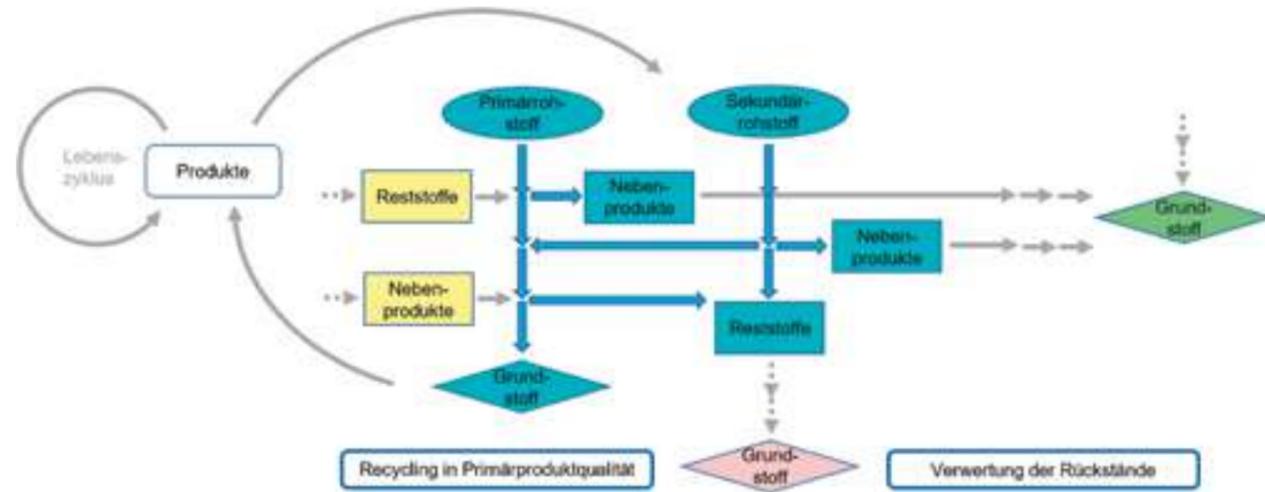
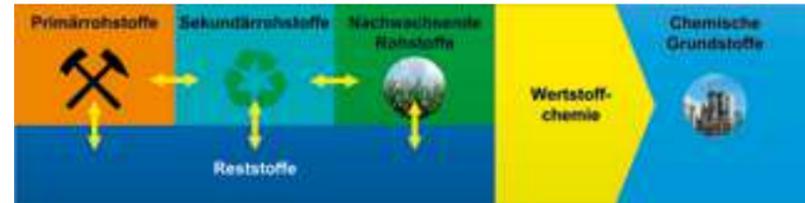


Abb. 3: Zusammenführung unterschiedlicher Einsatzstoffe in einen gemeinsamen Produktionsprozess, der einen möglichst geschlossenen Stoffkreislauf anstrebt

und nachwachsenden Rohstoffen (Biomasse) auf. Durch ganzheitlich ausgelegte Produktionstechniken verschieben sich die Grenzen der Ressourcenverfügbarkeit, da dann nicht mehr zwischen Rohstoffen und Reststoffen unterschieden wird (Abb. 2).

Die Wertstoffchemie ist eine konsequente Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgedankens. Sie ist die komplexe, ganzheitliche Vernetzung und Verzahnung von Produktionsschritten zu einem ganzheitlichen Prozess (Abb. 3).

Kennzeichnend dafür ist, dass Wertstoffe, die bereits einen oder mehrere Produktzyklen durchlebt haben, auf das

Niveau von Primärproduktqualität hin regeneriert werden, da die Rohstoffproduktion entlang eines einzigen, in sich integrierten Technologiestrangs erfolgt. Lediglich die Einspeisepunkte für die unterschiedlichen Quellen entstammenden Stoffströme können bzw. werden sich unterscheiden. In der Konsequenz setzt die Wertstoffchemie das Zero-Waste-Prinzip weitestgehend um.

Beispiel für ein erfolgreiches wertstoffchemisches Verfahren

Anhand des COOL-Prozesses (CO₂-Laugung) zur Gewinnung von Lithium-

carbonat (Li₂CO₃) soll exemplarisch aufgezeigt werden, wie sich das Konzept der Wertstoffchemie wirtschaftlich erfolgreich umsetzen lässt. Wie aus dem Li-Beispiel hervorgehen wird, spielt die Chemie in modernen und zukunftsorientierten Rohstoffgewinnungsverfahren eine immer wichtigere Rolle. Sie erlaubt es, Nachhaltigkeit und Umweltschutz sowie Rohstoffgewinnung und industrielle Produktion vorteilhaft miteinander zu verknüpfen.

Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, bestreiten gegenwärtig drei Länder – Australien, Chile und Argentinien – 85 % der weltweiten Lithiumproduktion. Davon

Abb. 4: Lithiumproduktion und -verwendung (2015)

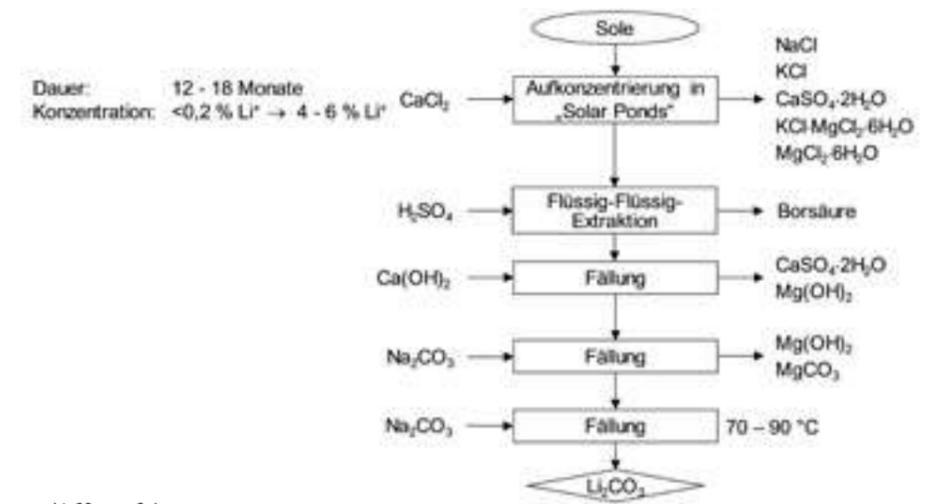
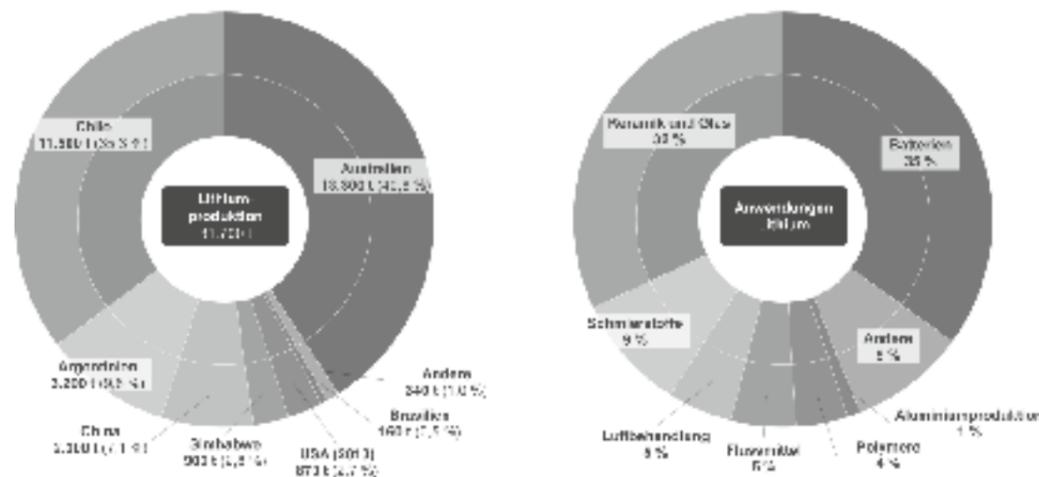


Abb. 5: Gewinnung von Li₂CO₃ aus Salaren

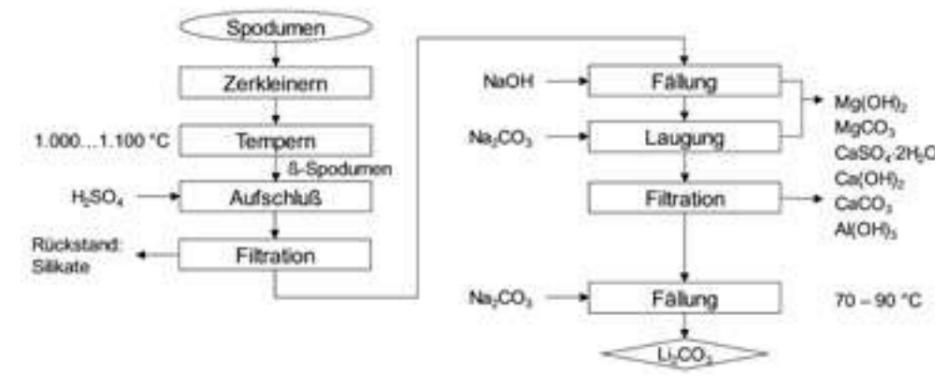


Abb. 6: Gewinnung von Li₂CO₃ aus Spodumen

gehen derzeit 35 % in den Batteriesektor, während der Bereich Glas und Keramik fast ähnlich stark ins Gewicht fällt. Für beide Hauptnutzersegmente gibt es für die nächsten fünf Jahre eine (von deren Standpunkt aus gesehen) „optimistische“, nahezu gleichlautende Wachstumsprognose, so dass der wachsende Lithiumbedarf nur durch neue Rohstoffquellen gedeckt werden kann.

Mit Reserven von 14 Mio. t Li beträgt deren statische Reichweite ca. 435 a, womit die Situation bei Lithium an sich nicht kritisch ist. Auf der Liste der kritischen Elemente befindet sich das Lithium dennoch, weil es zum einen die o. g. Länderkonzentration gibt und andererseits die bekannten Lagerstätten in nicht ausreichender Menge Lithium liefern können, wie gegenwärtig benötigt. Gleichzeitig spielt das Lithiumrecycling eine bislang unbedeutende Rolle. Diese Entwicklung kulminierte kürzlich in einem regelrechten Preissprung – von 5.500 USD/t Li₂CO₃ im Oktober 2015 auf 13.800 USD/t Li₂CO₃ im Frühjahr 2017. Auf dem chinesischen Spotmarkt wird Li₂CO₃, die Handelsform für Lithium, für

ca. 25.000 USD/t gehandelt.

Betrachtet man die gegenwärtig bekannten Gewinnungsverfahren (Abb. 5 und 6), wird vor allem deutlich, dass es für die Lithiumgewinnung aus Salzseen (Salaren) wie auch die aus dem Silikat Spodumen erheblicher Mengen an Chemikalien bedarf und zu ebenso erheblichen Mengen an zu entsorgenden Abfällen führt. Diese Fakten sind starke Argumente für ein Recycling. Allein – im Falle des Lithiums gibt es keinen nennenswerten Sekundärrohstoffmarkt, ja es gibt noch nicht einmal ein flächendeckendes Lithiumbatterierücknahme- und sammelsystem, jedenfalls nicht in Deutschland. Um der wachsenden Lithiumnachfrage angesichts steigender Preise gerecht werden zu können, liegt es nahe, sich anbietende und bereits weitgehend erkundete heimische Rohstoffvorkommen abzubauen. Deutschland verfügt in Form des Lagerstättenkomplexes Zinnwald/Cínovec entlang der deutsch-tschechischen Grenze über ein bedeutendes Lithiumvorkommen. Der gesamte Erzkörper ist nach aktuellen Erhebungen mit einem

Inhalt von ~347.000 t Li₂O (~162.000 t Li) die weltweit zweitgrößte silikatische Lithiumlagerstätte. Zu zwei Dritteln liegt das Lithium allerdings auf tschechischer Seite, in Cínovec.

Der dort vorkommende, 1845 von Wilhelm Haidinger im Raum Zinnwald entdeckte Lithiumglimmer Zinnwaldit, der seinen Namen dem der Ortschaft Zinnwald verdankt, ist das eigentliche Lithiumerz. Er hat die Zusammensetzung K(Li,Fe,Al)(AlSi₂)₁₀(OH,F)₂ und kann als eisenreicher Lepidolith aufgefasst werden.

Allerdings sind diese beiden bekannten Verfahren nicht auf Zinnwaldit anwendbar. Probleme ergeben sich insbesondere beim Säureaufschluss mit H₂SO₄ infolge der zu erwartenden Freisetzung von giftigem Fluorwasserstoff sowie durch einen schon prohibitiv hohen Säurebedarf. Dieser wiederum bedingt zur Neutralisation ebenso große Mengen an Natronlauge. Noch schwerer wiegt, dass im Zuge der Neutralisierung Eisen-Aluminium-Mischhydroxide ausfallen, die einen Teil des gelösten Lithiums mitreißen. Ferner bildet sich beim pH > 3 schwerlösliches

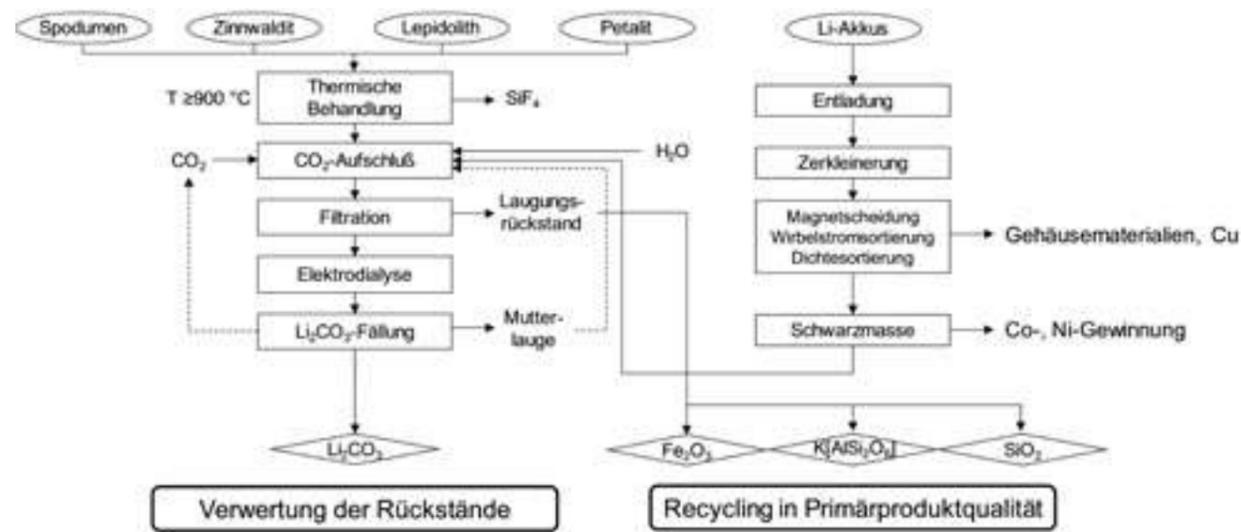


Abb. 7: COOL-Verfahren (CO₂-Laugung)

Lithiumfluorid, das im Zuge der Hydroxidfällung ebenfalls mitgerissen wird. In summa gehen so ca. 65% des im vorlaufenden Haufwerk enthaltenen Lithiums verloren. Es verbleibt Natriumsulfat als Abfallprodukt, für das es keinen hinreichend großen Markt gibt. Erschwert wird die Situation durch den geringen Lithiumgehalt im Glimmer von nur 1,4% (Spodumen: ~6%), so dass nennenswerte Verluste prozessökonomisch nicht toleriert werden können.

Dies war der Ausgangspunkt für die Entwicklung eines wertstoffchemischen Ansatzes zur Lithiumgewinnung. Einerseits sollen die Abfallmengen gering gehalten, andererseits die Reststoffmassen weitgehend verwertet werden. Zwar gibt es für Lithium bis dato kein praktikables Recycling, eine Neukonzipierung des bisher versuchsweise exzertierten Verfahrens würde es aber ermöglichen, ein solches zu entwickeln, das unabhängig von der Herkunft des vorlaufenden Materials von vornherein in der Lage ist, sowohl Zinnwaldit als auch Lithiumbatterien gemeinsam in einem Verfahrensstrang auf Li₂CO₃ hin zu verarbeiten. Dies gelang bereits mit der Laugung von thermisch vorbehandeltem Zinnwaldit mit CO₂, dem sog. COOL-Prozess (Abb. 7). Aufgrund der Kombination der Verfahrensschritte thermische Vorbehandlung und Laugung mit CO₂ wurde schnell deutlich, dass sich dieser Prozess auch für die Aufarbeitung aller anderen silikatischen Lithiumerze eignet. Bislang werden Lithiumerze separat aufgearbeitet; diese Notwendigkeit entfällt nun. Das im Zinnwaldit enthaltene Fluor wird dabei in Form von SiF₄

ausgetragen, als Hexafluorkieselsäure gewonnen und im Rahmen der Fluorchemie weiterverwertet, z. B. für die Herstellung von Antibiotika und anderer Pharmaka. Es handelt sich somit um ein Verfahren mit hoher Einsatzstoffvariabilität, das sowohl ein Lithiumrecycling ermöglicht als auch Verwertungsmöglichkeiten für die dabei anfallenden Begleitkomponenten erschließt. Mehr noch, der wertstoffchemische Ansatz verbraucht keine Chemikalien, produziert nur geringe Abfallmengen, und er generiert kein CO₂ für die Herstellung von Li₂CO₃ – ganz im Gegenteil: Er verwertet CO₂.

Zusammenfassung

Das Neudenken etablierter, traditioneller Produktionsprozesse im Hinblick auf eine ganzheitliche Verwertung des Rohmaterials, für dessen Bereitstellung finanzielle Aufwendungen getätigt wurden, mobilisiert nicht nur ökonomisch einen Großteil des gebundenen Kapitals. Das Konzept der Wertstoffchemie löst sich von überholten Verfahrensweisen und mobilisiert dadurch einen Großteil der im Rohmaterial enthaltenen Wertstoffe. Neben ökonomischen Vorteilen wird eine größtmögliche Ressourceneffizienz bei einer größtmöglichen Schonung der natürlichen Ressourcen erreicht. Die Vorteile sind:

1. Bergbau und Recycling sind miteinander vereinbar
2. Recyclingprodukte werden in Primärproduktqualität erhalten
3. Die Zukunft liegt in der gemeinsamen Verarbeitung von Primär- und Sekundärrohstoffen

4. Es ergeben sich Lösungen für komplexe polymetallische Gemische sowie für das Problem der Verdünnung (Dissipation)
5. Wertstoffchemische Ansätze erlauben eine Primärrohstoffverarbeitung mit nur geringem Einfluss auf die Umwelt – unter hocheffizienter Nutzung von Energie und Rohstoffen.

Literatur

– P. Fröhlich, B. Brett, T. Lorenz, G. Martin, M. Bertau (2017) Wertmetalle – Gewinnungsverfahren, aktuelle Trends und Recyclingstrategien. Angew. Chem. 129, 2586–2624.
 – Martin Bertau, Armin Müller, Peter Fröhlich, Michael Katzberg, Industrielle Anorganische Chemie, 4. vollst. überarbeitete Aufl., 2013, Wiley-VCH.
 – P. Fröhlich, J. Eschment, M. Bertau (2017) Wertstoffchemie – Die Rohstoffbasis sichern. Nachr. Chem. 65, in Druck.
 – M. Bertau, W. Voigt, A. Schneider, G. Martin (2017) Lithium Recovery from Challenging Deposits: Zinnwaldite and Magnesium-Rich Salt Lake Brines. Chem. Bioeng. Rev. in Druck.
 – A. Schneider, H. Schmidt, M. Meven, E. Brendler, J. Kirchner, G. Martin, M. Bertau, W. Voigt (2017) Lithium extraction from the mineral zinnwaldite. Part I: Effect of thermal treatment on properties and structure of zinnwaldite. Min. Eng. 111, 55–67.
 – G. Martin, A. Schneider, W. Voigt, M. Bertau (2017) Lithium extraction from the mineral zinnwaldite. Part II: Lithium carbonate recovery by direct carbonation of sintered zinnwaldite concentrate. Min. Eng. 110, 75–81.
 – G. Martin, C. Pätzold, M. Bertau (2017) Integrated Process for Lithium Recovery from Zinnwaldite. Int. J. Min. Process. 160, 8–15.
 – G. Martin, L. Rentsch, M. Höck, M. Bertau (2017) Lithium Market Research – Globally Supply, Future Demand and Price Development. Energy Stor. Mat. 6, 171–179.

Chancen und Grenzen der Circular Economy: Wie recycelbar sind Mobiltelefone?

Markus Reuter, Anja Weigl¹

Um Ressourcen verantwortungsvoll und effizient zu nutzen, ist eine fortschrittliche Circular Economy (CE – Kreislaufwirtschaft), in der Recycling ein Kernelement ist, der vielversprechendste Ansatz. Auf der politischen Agenda Europas ist die CE ganz oben angekommen. Circular Economy und Recycling sollten, so fordert zum Beispiel der französische Präsident, Emmanuel Macron, eine wichtige Säule bei der Rohstoffsicherung für die heimische Industrie bilden [1]. Auch verhandeln derzeit die EU-Mitgliedstaaten über ein europäisches Kreislaufwirtschaftspaket [2]. Wieviel Recycling ist aber angesichts von immer komplexeren elektronischen Geräten und anderen Hochtechnologieanwendungen derzeit überhaupt möglich? Eine aktuelle Recyclingstudie zeigt am Beispiel eines Mobiltelefons die Chancen und Grenzen der Circular Economy auf.

Komplexe Geräte

Mobiltelefone sind, wie andere moderne elektronische Geräte auch, äußerst komplex aufgebaut. Sie können 40 verschiedene Elemente und Materialien oder mehr enthalten – von diversen Metallen bis hin zu Kunststoffen. Für das Recycling sind Elektronikprodukte eine große Herausforderung. Es ist offensichtlich, dass sich Geräte umso einfacher wiederverwerten lassen, je weniger Arten von Stoffen sie enthalten. Um Elektronikgeräte zu recyceln, sind viele Schritte nötig, darunter Zerlegen, Größenreduktion (Schreddern), physikalisches Sortieren und weitere metallurgische oder andere Prozesse. Zahlreiche Faktoren beeinflussen also den Erfolg bzw. die Effizienz des Recyclingprozesses insgesamt. Dass auf jeder Etappe Material verloren geht, ist unvermeidbar.

Die Recyclingstudie

Das „Fairphone 2“ des gleichnamigen niederländischen Unternehmens mit Sitz in Amsterdam ist das erste Mobiltelefon, dessen Recycelbarkeit mithilfe eines prozesstechnisch kalibrierten, metallurgischen Prozesssimulators untersucht

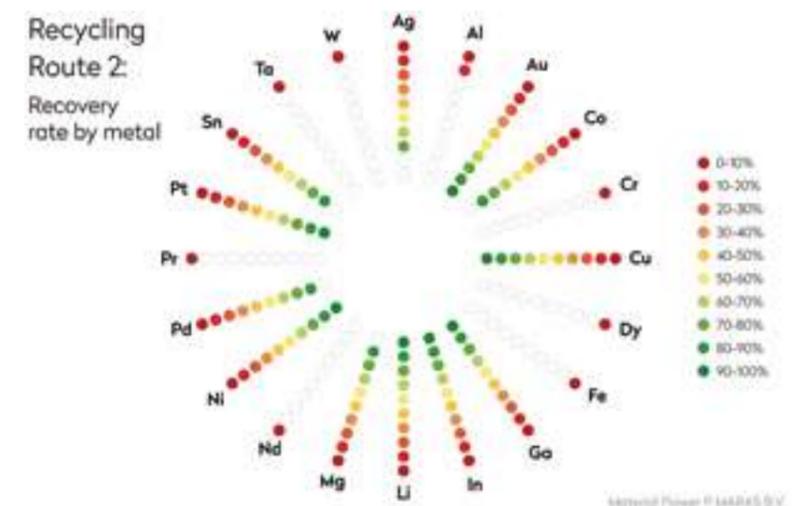


Abb. 1: Die Materialblume veranschaulicht das Spektrum an recycelbaren Elementen. Dieses ist für das Fairphone 2 bei Recyclingweg 2 – Zerlegen in Module – am größten.

wurde [3].² Das Gerät zeichnet sich insbesondere durch seinen modularen Aufbau aus. In den vergangenen Jahren wurde es mehrfach prämiert, z. B. mit dem Deutschen Umweltpreis 2016 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt [4].

„We want to understand how the Fairphone 2 should be recycled to recover the greatest percentage of materials. [...] Specifically, we [want] to know [...] if modularity can be of any influence in improving recovery“ [5] – so beschreibt das Unternehmen in einem Blogbeitrag das Ziel der Recyclingstudie. Darin wurde auch der ökologische Fußabdruck bestimmt, um so den Energieaufwand für das Recycling und damit die Umweltfolgen mit einzubeziehen [6].

Recycelbarkeit visualisieren: Materialblume und Recyclingindex

Beim Recycling komplexer Produkte gilt es, zwischen Massenmetallen und wertvollen Nebenelementen abzuwägen. Häufig muss ein Stoff „geopfert“ werden, um einen anderen zu gewinnen. Mithilfe einer „Materialblume“ lässt sich dieses Problem gut veranschaulichen [7]. Die Materialblume zeigt für einen bestimmten Recyclingweg das Spektrum der rückgewinnbaren Elemente und berücksichtigt dabei auch die in geringen Mengen vorkommenden, aber

besonders wertvollen Hochtechnologieelemente in einem nicht mehr verwendungsfähigen Produkt. Für die Beurteilung der Qualität eines Recyclingverfahrens ist die Vielfalt an rückgewinnbaren Elementen ein wichtiger Indikator. Hinzu kommen die als recycelbar geltenden Anteile bei den jeweiligen Elementen. Massenmetalle fallen zunächst natürlicherweise mehr ins Gewicht als kritische oder seltene Elemente, die ja nur in kleineren Mengen verwendet werden.

Abbildung 1 zeigt die Rückgewinnungsraten für die 20 wichtigsten Elemente des in der Studie ermittelten, optimalen Recyclingwegs. Die Elemente wurden durch Fairphone selbst ausgewählt. Ausschlaggebend dafür waren Faktoren, die ein Recycling dieser Rohstoffe besonders dringend machen: erstens das Verhältnis zwischen dem Rückgang und der noch verfügbaren Menge der natürlichen Reserven und, zweitens, die sozialen und die Umweltfolgen, die entstehen, wenn die Metalle abgebaut werden oder ihr Lebensende erreichen und nicht weiter genutzt werden können. Insgesamt wurden in der Studie 46 Elemente sowie auf ihnen basierende funktionale Materialien, Legierungen, Werkstoffe usw. betrachtet [3]. Grundlage dafür waren die jeweilige „Bill of Materials – BOM“ und die „Full Material Declaration – FMD“.

Während die Materialblume als

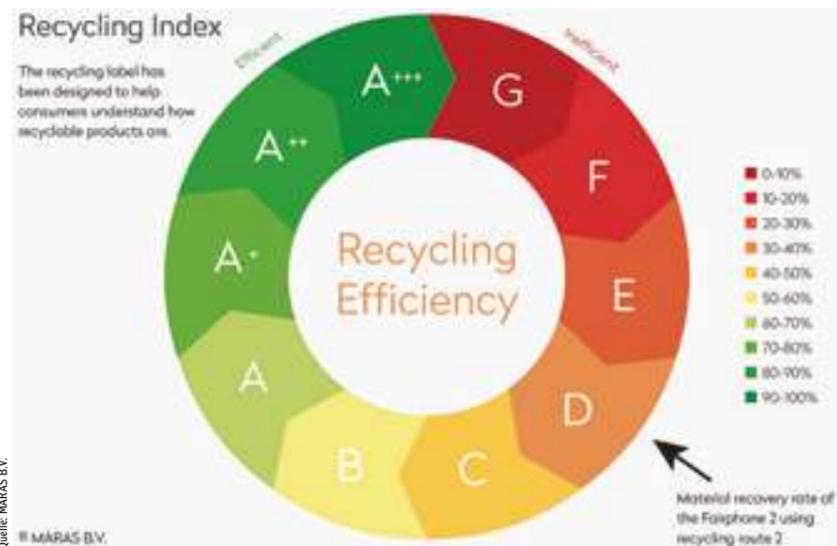


Abb. 2: Der Recyclingindex macht für Konsumenten die Recyclbarkeit eines Produkts transparent – hier für das Fairphone 2.

Werkzeug für die Industrie für Zwecke der Wahl eines Recyclingwegs entwickelt wurde, macht der in *Abbildung 2* gezeigte Recyclingindex [7] dagegen für den Konsumenten die Recyclbarkeit eines Produktes transparent.

Metallurgische Prozesse simulieren

Der optimale Recyclingweg für ein Produkt lässt sich u. a. mithilfe von Simulationsmodellen bestimmen. Dabei kommt die Software HSC Sim 9 [8] zum Einsatz, die metallurgische und physikalische

Trennprozesse simuliert und für das Prozessdesign benutzt wird. Verschiedene mögliche Recyclingwege lassen sich so identifizieren und analysieren. Die Modelle zeigen, wie sich die einzelnen Elemente, Legierungen, Kunststoffe und Materialcompounds in einem Produkt während des Recyclingprozesses, dem man sie unterwirft, verhalten. Auch Materialverluste lassen sich mit dieser Software für jede Etappe des Recyclings veranschaulichen. Auf der Grundlage eines Vergleichs der besten heute verfügbaren Technologien

(BAT) wird dabei deutlich, mit welchen dieser Technologien sich die höchsten Recyclingraten erzielen lassen.

Wichtig zu wissen: Recyclingunternehmen sind prinzipiell auf bestimmte Arten von Einsatzstoffen spezialisiert und verfügen nicht über jede mögliche Technologie. Die Unternehmen selbst setzen dem Recycling damit also gewisse Schranken.

Abbildung 3 zeigt das Verfahrensfließbild für die Rückgewinnung von Metallen, Energie und Kunststoffen am Beispiel des Fairphone 2. Modelliert sind der metallurgische Prozess – für die Trägermetalle Stahl, Edelstahl, Kupfer, Blei, Zinn, Zink, Aluminium und Magnesium, die Energierückgewinnung sowie die Kunststoffverwertung. Alle im Rahmen der Studie simulierten Recyclingwege sind technologisch und wirtschaftlich vertretbar sowie industrienahe kalibriert.

Optimaler Recyclingweg und ökologischer Fußabdruck

Recyclingweg 2 (*Abb. 4 – Zerlegen in Module*) schneidet laut Studie am besten ab. Insgesamt lassen sich zwischen 30 und 40 Gewichtsprozent an den Materialien wie auch an Energie durch Verbrennung zurückgewinnen (*Abb. 2*). Das Spektrum an rückgewinnbaren Stoffen – Wertelemente und Kunststoffe eingeschlossen – ist hier am breitesten. Die anderen beiden modellierten Recyclingwege (*Abb. 5, 6*) führen zu insgesamt schlechteren Ergebnissen [3].

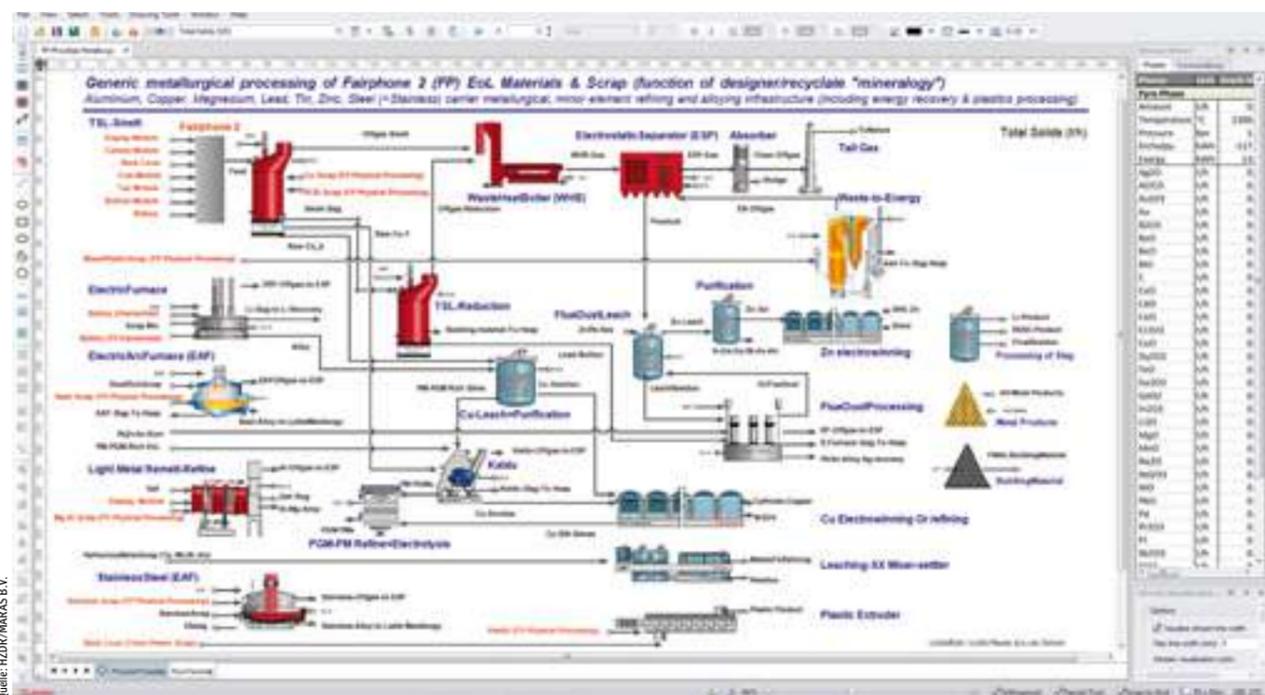


Abb. 3: Fließbild zur Rückgewinnung von Metallen, Energie und Kunststoffen aus einem ausgedienten Produkt. Es veranschaulicht die prinzipiell möglichen Recyclingprozesse für alle verbauten Metalle – einschließlich der Technologiemetalle –, ihrer Legierungen, funktionalen Materialien und der Kunststoffe.

Es ist anzunehmen, dass sich die derzeit erzielbaren Recyclingquoten steigern lassen, wenn es gelingt, die Rückgewinnung auch nur einzelner Elemente weiter zu verbessern. Eine recyclingfreundliche Produktgestaltung, wie ein modularer Aufbau, spielt dabei eine wichtige Rolle. Durch das primäre Zerlegen in Module verbessert sich insbesondere die Rückgewinnungsperspektive für wertvolle Nebenelemente – zusätzlich zu der für die Massemetalle [3]. Im Vergleich zu den beiden anderen hinterlässt dieser Recyclingweg zudem den optimalen ökologischen und energetischen Fußabdruck. Dieser wurde mittels der Software (HSC Sim [8], GaBi [9]) für jeden Recyclingweg berechnet; die entscheidenden Maße sind das Treibhauspotenzial, gemessen in CO₂-Äquivalenten, sowie die *Metal Depletion* [6].

Produktbezogener Ansatz

Im Prinzip können Elemente wie Gold, Kupfer, Silber, Kobalt, Nickel, Palladium, Platin, Gallium, Indium und Zink zu großen Teilen wiedergewonnen werden. Elemente wie Wolfram und Tantal sind aus Elektronikprodukten heraus schwer recycelbar – es sei denn, die Bauteile, in denen sie enthalten sind, werden abgetrennt und dann separat verarbeitet. Die Rückgewinnung von Kunststoff hängt stark davon ab, wie viel Material vor dem Recycling oder dem Sortieren abgetrennt werden kann und wie viel Kunststoff in allzu komplexen Gemischen untergeht und dann nur noch energetisch verwertbar ist [3].

Die Studie verdeutlicht auch die Vorteile des produktbezogenen Ansatzes, dem sie folgt: Dieser macht sichtbar, wie sich alle in einem Produkt verbauten Materialien beim Recycling aufeinander auswirken und das Recyclingergebnis beeinflussen [10]. Im Gegensatz dazu bestimmt ein materialorientierter Ansatz zwar das Ergebnis für einzelne ausgewählte Materialien, vernachlässigt aber oft den Einfluss des Gesamtprozesses auf alle anderen Stoffkomponenten. Durch einen produktbezogenen Ansatz lässt sich die Ressourceneffizienz der Circular Economy bewerten.

Module verbessern das Recycling

Für das Recycling eines komplexen elektronischen Produkts, wie eines Mobiltelefons, hat die Studie eine klare Antwort erbracht. Die Kernfragen lauteten: Sollte man das vollständige Smartphone einschmelzen und das Schmelzprodukt dann recyceln (Recyclingweg 1)? Oder



Abb. 4: Recyclingweg 2 – Zerlegen in Module (einfache Ansicht). Er sieht das Zerlegen des Fairphones in einzelne Module vor, die anschließend einen Prozess zur Rückgewinnung von Metallen oder Kunststoffen durchlaufen. Kamera, Kern, oberes und unteres Modul werden in einem Tauchlängsofen (TSL) verwertet. Durch Aufschmelzen können aus dem Display Magnesium und andere Materialien zurückgewonnen werden. Die Batterie wird via Elektrolichtbogenofen (EAF) recycelt; Elemente wie Lithium und Kobalt sind dann teilweise wiedergewinnbar. Die Rückseite des Smartphones geht zur Kunststoffverwertung in den Kunststoff-Extruder.



Abb. 5: Recyclingweg 1 – Einschmelzen ohne vorheriges Trennen (einfache Ansicht). Er sieht das Einschmelzen der unzerlegten Mobiltelefone in einem Hochtemperaturschmelzofen vor. Auch auf diesem Weg lassen sich Metalle, Legierungen, anorganische Verbindungen sowie Energie zurückgewinnen.

sollte man die/eine optimale Anzahl von Modulen bestimmen und diese anschließend separat den jeweils geeigneten Prozessen zuführen (Recyclingweg 2)? Oder sollte man das Mobiltelefon mittels physikalischer Verfahren in zahllose Partikel auftrennen, wobei es zu erhöhten Verlusten kommen kann, z. B. in Form von Staub oder von Recyclingpartikeln, die in die falschen Rezyklate geraten usw. (Recyclingweg 3)? Es ist offensichtlich am besten, die „Goldene Zahl“ an Modulen zu bestimmen sowie die Entstehung

unnötiger, nicht verwertbarer Partikel durch gewisse Trennprozesse zu vermeiden. Physikalische und chemische Trennverfahren führen immer zu Verlusten, da dabei komplexe Stoffgemische entstehen, die selbst wieder aufgetrennt werden müssen.

Mit seinem modular aufgebauten Mobiltelefon ist das Unternehmen Fairphone im Hinblick auf das Recycling auf dem richtigen Weg: Ist das Produkt schließlich am Ende seines Lebenszyklus' angelangt, ermöglicht der modulare Aufbau eine

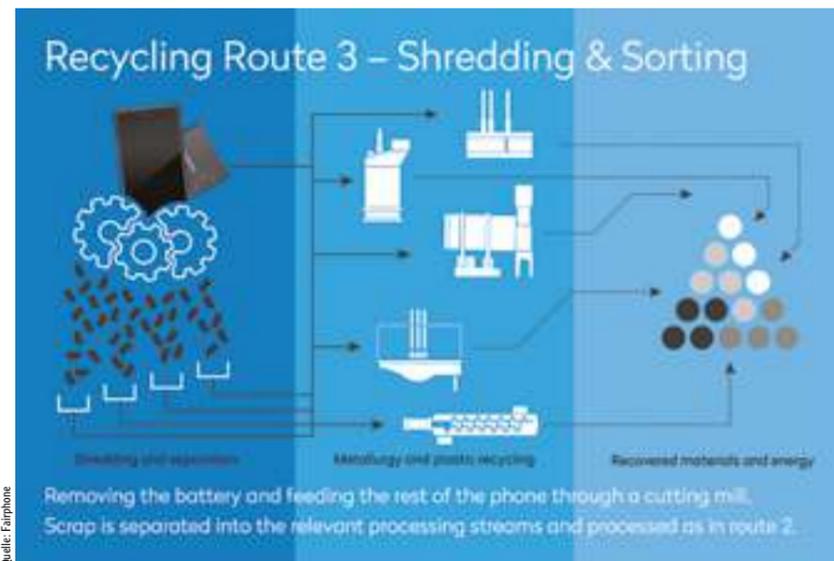


Abb. 6: Recyclingweg 3 – Schreddern und Sortieren (einfache Ansicht). Er sieht vor: die Entfernung der Batterie, das Schreddern des restlichen Telefons mittels einer Schneidmühle sowie die Auftrennung des zerkleinerten Abfalls für den jeweiligen Recyclingprozess.

maximale Rückgewinnung von Material und Energie. Dadurch lassen sich auch die Exergieverluste minimieren, die ebenfalls mit dem HSC Sim 9-Simulator berechnet werden können.

Dank: Wir bedanken uns für die freundliche Unterstützung durch die Unternehmen Fairphone und MARAS B.V., die die Bilder zur Verfügung stellten. Des Weiteren danken Dr. van Schaik und Prof. Reuter Fairphone dafür, dass sie diese Studie durchführen konnten.

Quellen

- 1 E. Macron (2016): Avant-propos. In: Responsabilité & Environnement (82), 3.
- 2 European Commission: Environment – Circular Economy. URL: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm [Stand: 30.08.2017]
- 3 Fairphone: Fairphone's Report on Recyclability, basierend auf einer Studie von M.A. Reuter und A. van Schaik. URL: <http://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2017/02/FairphoneRecyclabilityReport022017.pdf> [Stand: 09.08.2017]
- 4 Fairphone: Über uns. URL: <http://www.fairphone.com/de/uber/uber-uns/> [Stand: 09.08.2017]
- 5 Fairphone: How recyclable is the Fairphone 2? URL: <http://www.fairphone.com/de/2017/02/27/recyclable-fairphone-2/> [Stand: 09.08.2017]
- 6 Fairphone: Examining the environmental footprint of electronics recycling. URL: <https://www.fairphone.com/de/2017/08/07/examining-the-environmental-footprint-of-electronics-recycling/> [Stand: 11.08.2017]
- 7 A. van Schaik, M.A. Reuter (2016): Recycling indices visualizing the performance of the circular economy. In: World of Metallurgy – Erzmetall (69), 5-20.
- 8 Outotec: HSC Sim 9. URL: <http://www.outotec.com/products/digital-solutions/hsc-chemistry/> [Stand: 30.08.2017]
- 9 GaBi Software. URL: <http://www.gabi-software.com/international/index/> [Stand: 30.08.2017]
- 10 M.A. Reuter, A. van Schaik (2015): Product-Centric Simulation-Based Design for Recycling: Case of LED lamp recycling. In: Journal of Sustainable Metallurgy 1(1), 4-28.

PARFORCE – Eine flexible, innovative Technologie zur Phosphorsäuregewinnung und zum Phosphorrecycling

Peter Fröhlich¹, Gunther Martin, Reinhard Lohmeier, Jürgen Eschment, Martin Bertau

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm wurde in Deutschland mit der neuen Klärschlammverordnung gesetzlich beschlossen. Der zurückgewonnene Phosphor soll dem Wirtschaftskreislauf wieder zugeführt werden. Am Institut für Technische Chemie unserer Universität wurde die PARFORCE-Technologie als Lösung zur sicheren Erfüllung dieser Verpflichtung entwickelt und erprobt. Außer Klärschlamm und Klärschlammmasche lassen sich mit der flexiblen Technologie auch phosphathaltige Reststoffe aus der Industrie und ebenso phosphorhaltige Primärrohstoffe aufarbeiten. Das Hauptprodukt ist immer Phosphorsäure – eine Grundchemikalie zur Herstellung zahlreicher anderer Industrieprodukte. Mit öffentlicher Unterstützung aus Bundes- und Landesmitteln wird derzeit eine Demonstrationsanlage im Tonnenmaßstab auf dem Campus der Bergakademie errichtet, um die industrielle Machbarkeit der Technologie nachzuweisen. Die Vermarktung der zum Patent angemeldeten Technologie wird durch eine Ausgründung aus der Universität erfolgen.

Wirtschaftliche Bedeutung von Phosphor

Phosphor kommt in der Natur gebunden als Phosphat vor, dem Hauptbestandteil von Apatit, des wirtschaftlich bedeutendsten einschlägigen Primärrohstoffs. Davon werden weltweit jährlich mehr als 220 Mio. Tonnen gefördert, wovon über 80% zu Mineraldüngern verarbeitet werden. Die wichtigsten Förderländer sind

China, die USA und Marokko. Die Europäische Union verfügt über keine eigenen solchen Ressourcen und ist damit vollständig auf Importe angewiesen. Zu dieser Importabhängigkeit kommt, dass die konventionelle Düngemittelherstellung mit einigen ökologischen Problemen behaftet ist. Für die Düngemittelproduktion werden große Mengen an Phosphorsäure benötigt, die durch Umsetzung von Apatit mit Schwefelsäure zu erzeugen sind. Für die Produktion einer Tonne Phosphorsäure werden fast 10 Tonnen Phosphaterz benötigt. Als Nebenprodukt fallen etwa 22 Tonnen Abfall an – hauptsächlich Phosphorgips, der zudem noch mit Schwermetallen wie Cadmium und verschiedenen Radionukliden des Urans belastet ist. Im Sinne einer nachhaltigen P-Versorgung der EU-Länder ist diese Vorgehensweise fragwürdig, was letztlich auch zur Einstufung von Phosphor als „kritisches Element“ geführt hat. Besonders in Deutschland wurden daher umfassende Studien über die Nutzung heimischer sekundärer Phosphatquellen durchgeführt. Es zeigte sich, dass die größten Phosphatreserven in Wirtschaftsdüngern wie Gülle, Gärresten, Festmist und Jauche liegen, diese jedoch bereits vollständig in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden. Daneben bieten sich kommunale Klärschlämme als bedeutender Stoffstrom an - Substrate, die bisher etwa zur Hälfte landwirtschaftlich genutzt werden und insgesamt ein Potenzial von annähernd 172.000 Tonnen Phosphorpentoxid (P₂O₅) verkörpern. Jedoch nimmt die Belastung der Klärschlämme mit organischen

¹ Ausgründungsprojekt PARFORCE-Technologie, c/o TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg; Korrespondenz: peter.froehlich@chemie.tu-freiberg.de

Verbindungen, wie Hormonen, Antibiotika und einer Vielzahl bisher unbekannter Abbauprodukte zu, was die bodenbezogene Verwertung der Klärschlämme zu Düngezwecken stark einschränkt. Mit der neuen Klärschlammverordnung verbietet der Gesetzgeber bei Kläranlagen mit einer Kapazität von größer als 100.000 Einwohnergleichwerten die Ausbringung solcher Stoffe auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Schätzt man das Potenzial dieses fast kontinuierlich anfallenden Stoffstroms ab, so ließen sich theoretisch bis zu 60% der Mineraldüngemittelimporte Deutschlands damit substituieren (Abb. 1).

Daneben gibt es noch die phosphathaltigen tierischen Nebenprodukte – eine Kategorie, die sämtliche von Tieren stammenden Restabfälle umfasst, die nicht für den menschlichen Verzehr oder als Futtermittel geeignet sind. Jedoch sind diese Stoffe aus gesetzgeberischen Gründen von einer weiteren stofflichen Verwertung und damit auch vom Phosphorrecycling ausgeschlossen.

Technologien zur Phosphorrückgewinnung

Mit der Novellierung der Klärschlammverordnung 2017 unterliegt ein Klärschlamm, dessen Phosphorgehalt 20 g/kg Trockenmasse überschreitet, ab 2029 einer Rückgewinnungsverpflichtung. Dementsprechend wurde intensiv an der Entwicklung von Rückgewinnungsverfahren geforscht. Prinzipiell lassen sich die Verfahren nach ihrem jeweiligen Einsatzstoff, wie Schlammwasser, Klärschlamm oder Klärschlammmasche, und dem jeweiligen Zielprodukt unterscheiden. Eine Übersicht zu den aktuell verfügbaren und über den Labormaßstab hinaus entwickelten Verfahren gibt Abbildung 2.

Daraus ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Verfahren auf die Herstellung von Düngemitteln abzielt. Hauptprodukte sind hierbei Magnesiumammoniumphosphat (Struvit), phosphathaltige Schlacken in Analogie zum Thomasphosphat und ein auf Klärschlammmasche basierender Phosphordünger. Alle diese Verfahren weisen mindestens ein Defizit auf:

- Die erzeugten Phosphate haben zumeist eine unerwünschte Langzeitwirkung, so dass der Phosphor der Pflanze nicht sofort zur Verfügung steht
- unerwünschte organische und anorganische Anhaftungen an den Düngeprodukten
- fehlende Düngemittelzulassung
- keine Standardqualität aufgrund schwankender Zusammensetzung der Eingangsstoffe
- voraussichtlich geringe Marktakzeptanz
- Kosten der Erzeugung höher als der Wert des Produkts

An der TU Bergakademie Freiberg ist man einen anderen Weg gegangen und hat von Anfang an das Verfahren auf die Herstellung von Phosphorsäure ausgelegt. Dies hat zwei wesentliche Vorteile, zum einen ist Phosphorsäure bereits eine nach dem EU-Chemikaliengesetz registrierte, bewertete und zugelassene Chemikalie und besitzt eine entsprechende Standardqualität. Zum anderen gibt es einen stark diversifizierten Phosphorsäuremarkt mit einem breiten Anwendungsspektrum für diese Chemikalie, wie z. B. in der Futtermittelherstellung, in Antikorrosionsbädern für die Automobilindustrie, aber auch im Bereich der Pigment- und der Katalysatorenherstellung. Damit wird eine wesentlich höhere Wertschöpfung im Vergleich zur Düngemittelherstellung erzielt.

Die am Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie entwickelte PARFORCE-Technologie kombiniert industriell etablierte hydrometallurgische mit elektrochemischen Verfahrensschritten. Die Bezeichnung PARFORCE ist ein Akronym und

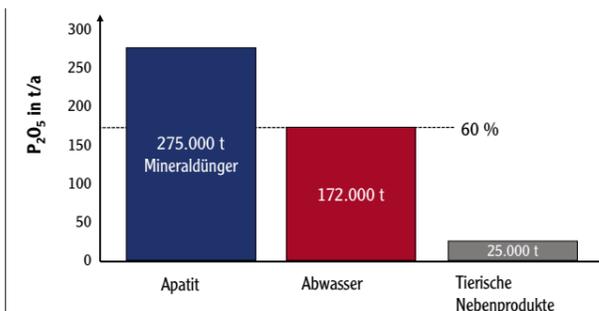


Abb. 1: Aufkommensquellen von Sekundärphosphat in Deutschland

Zielprodukt	Einsatzstoff		
	Schlammwasser	Klärschlamm	KS-Asche
Phosphor			1 Thermphos
P-Säure	1 Phosiedi	PARFORCE TECHNOLOGIE	5 Tetraphos Ecophos
Düngemittel	27 Struvia	19 Extraphos AirPrex Stuttg. Verfahren Pyreg Mephrec	13 Seraplant

Abb. 2: Die bekanntesten Verfahren zur Phosphorrückgewinnung. Die blau eingekreisten Zahlen geben die Anzahl der jeweiligen Verfahren wieder. Das an der TU Bergakademie Freiberg entwickelte PARFORCE-Verfahren ist hinsichtlich der Einsatzstoffe flexibel und gewinnt Phosphorsäure als Zielprodukt.

steht für Phosphoric Acid Recovery From Organic Residues and Chemicals by Electrochemistry. Das Besondere an dem Verfahren ist – neben seiner Flexibilität hinsichtlich der Einsatzstoffe - die modulare Verknüpfung der einzelnen Prozesseinheiten. Das in Abbildung 3 im grünen Kasten dargestellte Kernverfahren „PARFORCE-Core“ eignet sich grundsätzlich für alle phosphathaltigen Rohstoffe.

Der Einsatzstoff wird nasschemisch mit Salzsäure (HCl) aufgeschlossen. Nach der Fest-/Flüssig-Separation verbleiben ein Filtrat, das die Phosphorsäure enthält sowie ein silikatischer Rückstand. Dieser zeigt puzzolanische Eigenschaften und eignet sich als Zuschlagstoff in der Bauindustrie. Außer der Phosphorsäure enthält das Filtrat noch Calcium-/Magnesiumchlorid und nicht umgesetzte Salzsäure. In dem sich anschließenden elektrochemisch getriebenen Membranprozess werden diese Bestandteile aufgrund ihrer unterschiedlichen Ladungszahlen von der Phosphorsäure getrennt. Die so erhaltene Rohphosphorsäure hat eine Konzentration zwischen 15 und 20% und kann anschließend durch Eindampfung zu einer marktfähigen Phosphorsäure mit einem Gehalt zwischen 75-85% aufkonzentriert werden. Je nach Anwendungszweck und kundenseitiger Spezifikationsvorgabe kann mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion eine Feinreinigung der Phosphorsäure erfolgen. Auch hier bietet die

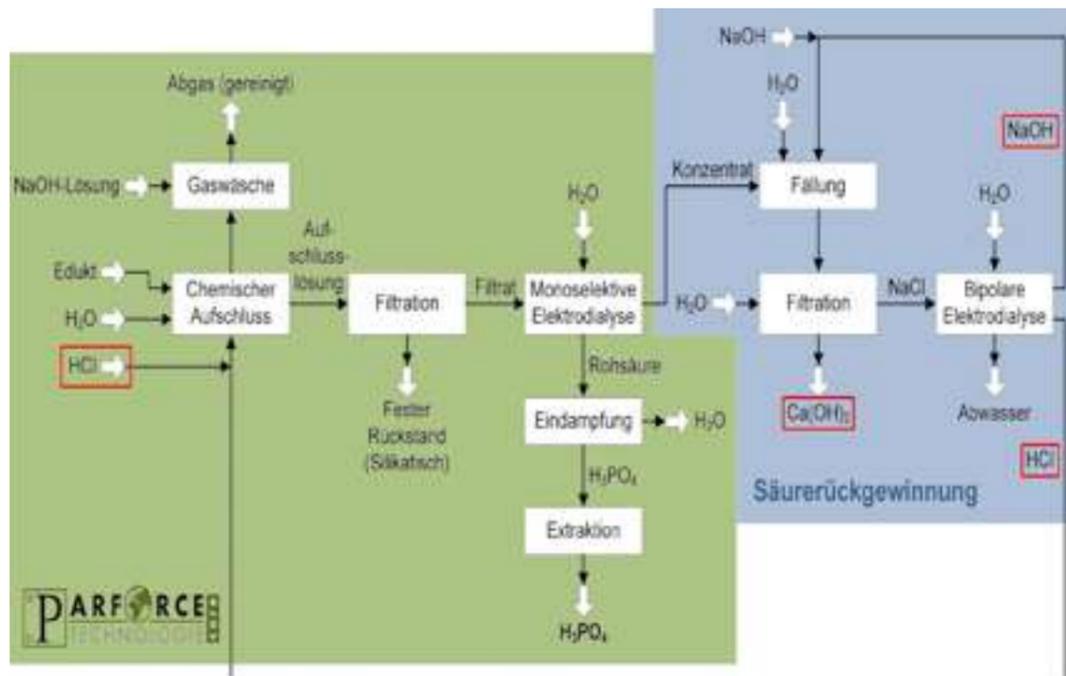


Abb. 3: Schematische Darstellung der PARFORCE-Technologie mit dem Kernprozess PARFORCE-Core (grün) und anschließender Säurerückgewinnung (blau)

PARFORCE-Technologie den Vorteil, auf industriell etablierten Standardprozessen aufzubauen, die modulartig ergänzt werden können.

Je nach Einsatzzweck und -stoff kann das „PARFORCE Core“-Verfahren mit einer oder mehreren zusätzlichen Verfahrenskomponenten erweitert werden. So ermöglicht der Einbau spezieller bipolarer Membranen die Abtrennung der nicht umgesetzten Salzsäure (Abb. 3, blauer Kasten). Als separater Stoffstrom wird diese Säure dem chemischen Aufschluss wieder zugeführt, so dass der Bedarf an Frischsäure deutlich abnimmt. Dadurch werden nicht nur Chemikalienkosten gesenkt, sondern dies ist auch ein Ausdruck von Nachhaltigkeit, da alle anfallenden Nebenprodukte wiederverwertet werden.

Aus der langjährigen Forschung und Entwicklung zum Phosphorrecycling gingen mehrere deutsche und europäische Patentanmeldungen sowohl für das Gesamtverfahren als auch für einzelne seiner Kernkomponenten hervor. Derzeit bereitet das PARFORCE-Team, bestehend aus zwei Chemikern, einem Verfahrenstechniker und einem Betriebswirt, unter wissenschaftlicher Begleitung durch Prof. Martin Bertau die beabsichtigte Unternehmensausgründung und die Erstellung eines Businessplans vor. Parallel zur Errichtung und Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage werden intensive Kundengespräche geführt, um die PARFORCE-Technologie auf einer ersten Pilotanlage zu realisieren. Damit wäre dann der oft aufwändige und risikoreiche Schritt bei der Umsetzung wissenschaftlicher Ergebnisse aus der Hochschule in die Industrie erfolgreich gemeistert!

Weitere Informationen: www.parforce-technologie.de

Fördermittelgeber:



Abb. 4: Das PARFORCE-Ausgründungsteam mit Mentor. V.l.: Dipl.-Ing. R. Lohmeier, Dipl.-Kfm. J. Eschment, Prof. Dr. M. Bertau, Dr. P. Fröhlich, Dipl.-Chem. G. Martin



Abb. 5: Fördermittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie helfen beim Aufbau der Demonstrationsanlage. Bundeswirtschaftsministerin Brigitte Zypries informiert sich am 12. September an unserer Universität über die PARFORCE-Technologie, v.l. Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, MdB Dr. Simone Raatz, Bundeswirtschaftsministerin Brigitte Zypries, Prof. Martin Bertau (TU Freiberg), Dietrich Hoffmann (Projektträger Jülich), Dr. Peter Fröhlich (TU Freiberg)

Spieltheoretische Modellierung globaler Umweltprobleme

Karen Pittel, Dirk Rübhelke, Sebastian Otte¹

Globale Umweltprobleme haben in den vergangenen Jahren sowohl in der Wissenschaft als auch der Politik stark an Bedeutung gewonnen. Maßnahmen zur Bekämpfung solcher Umweltprobleme wie der globalen Erwärmung erstellen sog. öffentliche Güter.² Als öffentliche Güter in Reinform bezeichnen Ökonomen solche Güter, die im Konsum durch Nicht-Rivalität und Nicht-Ausschließbarkeit gekennzeichnet sind. Nicht-Ausschließbarkeit bedeutet, dass niemand vom Konsum des bereitgestellten Gutes ausgeschlossen werden kann. Wenn Australien beispielsweise durch die Verminderung seiner Treibhausgasemissionen Klimaschutz betreibt bzw. der globalen Erwärmung entgegenwirkt, dann profitieren auch andere Länder – wie Deutschland davon, und Australien kann Deutschland eben nicht vom ‚Konsum‘ des von ihm bereitgestellten – global wirkenden – Klimaschutzes ausschließen. Nicht-Rivalität bedeutet, dass Australiens eigener ‚Konsum‘ des Klimaschutzes nicht dadurch beeinträchtigt wird, dass andere ebenfalls in dessen Genuss kommen.

Die Eigenschaft vieler globaler Umweltschutzmaßnahmen, ein öffentliches Gut zu sein, hat zur Konsequenz, dass ein solcher Umweltschutz auf einem ineffizient niedrigen Niveau erfolgen wird. Denn aufgrund ihrer Nicht-Ausschließbarkeit kommen alle Länder in den Genuss der Schutzmaßnahmen, wobei aber nur diejenigen, die die Maßnahmen durchführen, die damit verbundenen Kosten zu tragen haben. Folgerichtig hält man sich bei den eigenen Schutzaktivitäten zurück – in der Hoffnung, dass die anderen Länder die entsprechenden Schutzaktivitäten durchführen. Auf diesem Wege käme man kostenlos in den Genuss des i.d.R. ja global wirkenden Umweltschutzes; man würde also als Frei- bzw. Trittbrettfahrer in dieser Sache agieren. Da es keine globale Instanz gibt, die weltweit effizienten Umweltschutz durchsetzen kann, wird eine Verbesserung der globalen Umweltschutzsituation nur auf freiwilliger Basis der einzelnen Länder erreicht werden können. Internationale Verhandlungen zur Kontrolle globaler Umweltprobleme werden somit als der zentrale

Politikansatz angesehen. Es zeigt sich, dass solche Verhandlungen zu Erfolgen führen können.³ Aber im Klimakontext sind die bisherigen Verhandlungserfolge recht dürftig. So haben die globalen Emissionen ungeachtet des Kyoto-Protokolls kontinuierlich weiter zugenommen. Ob das Pariser Abkommen die geweckten Erwartungen erfüllen kann, wird sich erst im Laufe der kommenden Jahrzehnte zeigen. Zum heutigen Zeitpunkt ist weder sicher, ob die Staaten der Welt die zugesicherten Emissionspfade einhalten werden, noch ob sie ihre Vermeidungsverpflichtungen im Laufe der Zeit nach oben anpassen. Selbst bei Einhaltung der Zusicherungen von Paris würde das gesteckte Ziel von maximal 1,5°C an durchschnittlicher globaler Erwärmung (bis zum Ende dieses Jahrhunderts) bei weitem verfehlt.

Die ökonomische Analyse solcher Verhandlungen verfolgt den Zweck, das Verständnis der Interaktion zwischen den verschiedenen Akteuren zu vertiefen und damit zu einem effektiveren Design der Umweltschutzverhandlungen und -abkommen beizutragen. Ökonomische Anreize sollen auf dieser Basis so implementiert werden, dass sich der globale Umweltschutz seinem Optimum annähert.

Bei der Analyse geht man häufig davon aus, dass die Entscheider der einzelnen Länder nicht-kooperativ handeln, was bedeutet, dass sie nur dann bereit sind, sich bspw. im Rahmen einer internationalen Vereinbarung zu – salopp formuliert – ambitionierten Klimaschutzaktivitäten zu verpflichten, wenn dies zu ihrem eigenen Vorteil ist. Man könnte sagen, dass sie in diesem Fall ‚kooperieren‘ würden. Ansonsten werden sie sich in dieser Hinsicht eher zurückhalten; wir werden ein solches Verhalten mit dem Ausdruck ‚defektieren‘ (engl. *defect*) bezeichnen.

Man verwendet verschiedene Modelle, um diese Situation abzubilden, was dem Umstand geschuldet ist, dass es sich hierbei um eine komplexe und facettenreiche Situation handelt. Die einzelnen Modelle stellen jeweils unterschiedliche Problemfelder und -facetten in den Fokus.

Es gibt also nicht „das richtige“ Modell, sondern es gibt mehrere Modelle, die jeweils für eine bestimmte Betrachtung

angemessen sind. Ziel unseres Aufsatzes ist es, diese Situation anhand eines einfachen Modellierungsverfahrens aus der Spieltheorie beispielhaft zu illustrieren, nämlich anhand sog. Normalformspiele.

Modellierung 1

Die erste Modellierungsweise stellt die grundsätzliche Natur des „Öffentlichen-Guts-Problems“ in den Vordergrund, wobei davon ausgegangen wird, dass das Verhalten der einzelnen jeweils betrachteten (also der eher kleineren) Länder nicht dahingehend ausschlaggebend ist, ob es zu einer Klimakatastrophe kommt. Die einfachste spieltheoretische Darstellung dieser Situation repräsentiert das Gefangenendilemma-Spiel in einer 2 × 2-Matrix (siehe Abb. 1) als One-Shot-Spiel (wenn es also nur einmal gespielt wird). Es werden zwei Länder betrachtet, die sich im globalen Umweltschutz entweder ambitioniert einbringen (kooperieren) oder nicht (defektieren). Die Zahlen vor den Kommas stellen die Auszahlungen dar, die das Land A bei den jeweiligen Entscheidungen der Spieler erhält, die Zahlen hinter den Kommas sind die entsprechenden Auszahlungen für Land B. Die Auszahlungen stehen dabei für die Netto-Wohlfahrtswirkung auf ein Land, die sich aus den Kosten des Umweltschutzes für das betrachtete Land einerseits und dem Nutzen eines moderateren Klimawandels für dieses Land andererseits ergibt.

Betrachten wir für dieses Beispiel eines Gefangenendilemma-Spiels zunächst Land A. Es wird, egal ob Land B defektiert oder kooperiert, immer die höchste Auszahlung bei seiner Wahl ‚defektieren‘ erzielen: Wenn Land B defektiert, würde Land A für eigenes Defektieren eine Auszahlung von 0 erhalten (es müsste keine Kosten für ambitionierten Umweltschutz tragen, aber die globale Umweltqualität bliebe gleichzeitig schlecht); würde Land A hingegen kooperieren, läge dessen Auszahlung bei -3 (es trüge die Kosten des ambitionierten Umweltschutzes, während Land B kostenlos in den Genuss dieses Umweltschutzes käme). Wenn Land B kooperiert, erhielte Land A eine Auszahlung von 6 für die Wahl ‚defektieren‘ (es könnte trittbrettfahren) und eine Auszahlung von 5 für die Wahl ‚kooperieren‘ (es müsste die Kosten einer ambitionierten Umweltpolitik (mit-)tragen, käme aber in

¹ Dr. Karen Pittel: Ifo München und LMU München, Prof. Dirk Rübhelke und Sebastian Otte: TU Bergakademie Freiberg.
² Siehe beispielsweise Kaul 2017.

³ Bspw. die internationalen Verhandlungen mit dem Ziel, die Ozonschicht zu schützen; dazu s. bspw. Barrett 2003.

den Genuss einer deutlich gesteigerten Umweltqualität).

	Land B	defektieren	kooperieren
Land A			
defektieren		0, 0	6, -3
kooperieren		-3, 6	5, 5

Abb. 1: Das Gefangen-Dilemma-Spiel

Eine analoge Betrachtung für Land B zeigt, dass auch dieses Land keinen Anreiz besitzt, sich ambitioniertem Umweltschutz hinzugeben. Land A und Land B würden also beide keinesfalls freiwillig ambitionierten Umweltschutz durchführen. Dies gilt zumindest bei der One-Shot-Version dieses Spiels. Bei Wiederholungen des Spiels kann es hingegen zu einer Evolution von Kooperation kommen.⁴

Modellierung 2

Wenn die betrachteten (eher größeren) Länder durch ihr Verhalten einen großen Einfluss auf das Umweltproblem haben, beispielsweise den Klimawandel, könnte die Situation angemessener mithilfe eines Chicken-Spiels abgebildet werden (siehe Abb. 2). Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn die USA, China und die EU durch das eine Land und der Rest der Welt durch das andere Land repräsentiert würden.

Der entscheidende Unterschied zum Gefangen-Dilemma-Spiel liegt in der Relation der möglichen Auszahlungen bei Defektieren des Gegenspielers. Denn anders als beim Gefangen-Dilemma-Spiel resultiert die niedrigste Auszahlung nun nicht bei der Wahl einseitiger Kooperation, sondern bei der Wahl ‚defektieren‘. Dies liegt darin begründet, dass bei beidseitig ausbleibendem ambitioniertem Umweltschutz eine globale Umweltkatastrophe eintreten würde. Einseitiger ambitionierter Umweltschutz hingegen könnte die Katastrophe abwenden.

	Land B	defektieren	kooperieren
Land A			
defektieren		-6, -6	6, -3
kooperieren		-3, 6	3, 3

Abb. 2: Das Chicken-Spiel

Beim Chicken-Spiel handelt es sich um ein sog. Koordinationsspiel, bei dem die beste Wahl eines Landes jeweils von der Wahl des Gegenspielers abhängt. Würde man davon ausgehen, dass der Gegenspieler „kooperieren“ wählt, würde man seinerseits defektieren. Geht man hingegen da-

4 Siehe Axelrod 1984.

von aus, dass der Gegenspieler defektiert, würde man ‚kooperieren‘ wählen.

Die Darstellungsweise im Rahmen eines Chicken-Spiels ist auch hilfreich bei der Integration von Fairness-Aspekten in die Analyse internationaler Umweltpolitik.⁵ Eine Integration von lokaler Luftverschmutzung in die Analyse von internationalen Klimaschutzanstrengungen im Rahmen einer Chicken-Spiel-Modellierung findet sich in Pittel und Rübhelke (2005).

Modellierung 3

Bei globalen Umweltproblemen kann es auch von großer Bedeutung sein, dass es eine Mindestzahl von Teilnehmern an den ambitionierten Umweltschutzaktivitäten gibt. Im Kyoto-Protokoll wurde deshalb festgelegt, dass es – unter anderem – nur dann in Kraft treten wird, wenn sich mindestens 55 Teilnehmerländer finden. Eine solche Situation lässt sich angemessen mit einem Stag-Hunt-Spiel⁶ darstellen.⁷

	Land B	defektieren	kooperieren
Land A			
defektieren		0, 0	0, -1
kooperieren		-1, 0	3, 3

Abb. 3: Das Stag-Hunt-Spiel

Beim Stag-Hunt-Spiel handelt es sich – wie beim Chicken-Spiel – um ein Koordinationsspiel. Wenn beide Länder ambitionierten Umweltschutz betreiben, ist dies für beide Länder am besten bzw. sie erhalten beide die höchste für sie erreichbare Auszahlung (von 3). Die niedrigste Auszahlung (von -1) erhalten sie bei einseitig kooperativem Verhalten; einseitiger ambitionierter Umweltschutz ist somit nicht effektiv, und es fallen gleichzeitig Kosten für den umweltschützenden Spieler an. Es muss also eine Partizipation von (mindestens) den beiden Ländern geben, damit sich eine erkennbare Umweltqualitätsverbesserung ergibt.

Schlussbemerkungen

Globale Umweltprobleme – wie der Klimawandel – stellen große Herausforderung für die Politik dar. Die ökonomische Disziplin besitzt das Werkzeug, sowohl um

5 Rabin 1993, Camerer und Thaler 2003, Pittel und Rübhelke 2013.
6 Basierend auf der Hirschjagd-Parabel von Jean-Jacques Rousseau 1755.
7 Siehe dazu auch Sandler und Sargent 1995, die den Fokus in ihrem Aufsatz auf solche internationale Umweltabkommen richten, bei denen „efforts must be coordinated among a minimal-sized groups so as to make cooperation worthwhile“.

die Hemmnisse bei der Behebung dieser Probleme zu identifizieren als auch um Maßnahmen zur Überwindung dieser Hemmnisse zu entwickeln.

In diesem Aufsatz haben wir anhand dreier spieltheoretischer Modelle illustriert, wie verschiedene Facetten der Entscheidungssituationen im globalen Umweltschutz dargestellt werden können. Durch das Setzen ökonomischer Anreize zum Umweltschutz streben Ökonomen an, die Entscheidungssituationen so zu modifizieren, dass die Hemmnisse für internationale Schutzanstrengungen abgemildert oder sogar überwunden werden. So generieren beispielsweise sog. Matching-Verfahren⁸ eine gewisse Reziprozität, die Anreize zu verstärkten internationalen Schutzbemühungen generieren.⁹

Literatur

– Althammer, W. und Buchholz, W. (1993): Lindahl-Equilibria as the Outcome of a Non-cooperative Game, *Europ. Journ. of Political Economy* Vol. 9, No. 3, 399–405.
– Axelrod, R. (1984): *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
– Barrett, S. (2003): *Environment and Statecraft – The Strategy of Environmental Treaty-making*. Oxford: Oxford University Press.
– Buchholz, W. und Heindl, P. (2015): *Ökonomische Herausforderungen des Klimawandels, Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, Vol. 16, No. 4, 324–350.
– Camerer, C.F. und Thaler, R.H. (2003): In Honor of Matthew Rabin: Winner of the John Bates Clark Medal, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 17, No. 3, 159–176.
– Guttman, J.M. (1978): *Understanding Collective Action: Matching Behavior*, *American Economic Review*, Vol. 68, No. 2, 251–255.
– Kaul, I. (2017): *Putting Climate Finance into Context: A Global Public Goods Perspective*. In: Markandya, A., Galarraga, I. und Rübhelke, D. (Hrsg.), *Climate Finance – Theory and Practice*. Singapur: World Scientific Publishing.
– Pittel, K./Rübhelke, D. (2005): *Internationale Klimaschutzverhandlungen und sekundäre Nutzen der Klimapolitik, Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, Vol. 6, No. 7, 369–383.
– Pittel, K./Rübhelke, D. (2013): *International Climate Finance and Its Influence on Fairness and Policy*, *World Economy*, Vol. 36, No. 4, 419–436.
– Rabin, M. (1993): *Incorporating Fairness into Game Theory and Economics*, *American Economic Review*, Vol. 83, No. 5, 1281–1302.
– Rousseau, J. (1755): *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes*. Amsterdam: Marc-Michel Rey.
– Rübhelke, D. (2006): *An Analysis of an International Environmental Matching Agreement*, *Environmental Economics and Policy Studies*, Vol. 8, No. 1, 1–31.
– Sandler, T. und Sargent, K. (1995): *Management of Transnational Commons: Coordination, Publicness, and Treaty Formation*, *Land Economics*, Vol. 71, No. 2, 145–162.

8 Guttman 1978, Althammer und Buchholz 1993 und Rübhelke 2006.
9 Zur Bedeutung von Reziprozität für das Zustandekommen erfolgreicher Kooperationsbeziehungen im globalen Klimaschutz, siehe Buchholz und Heindl 2015.

Freihandelsabkommen aus rechtlicher Sicht

Liv Jaeckel¹

Der Freihandel scheint zurzeit eine Phase großer Unbeliebtheit zu erfahren: Das Vereinigte Königreich tritt aus der Europäischen Union aus, US-Präsident Donald Trump, der eine Politik wirtschaftlicher Abschottung verfolgt, zieht sich aus dem schon ausgehandelten transpazifischen Freihandelsabkommen TPP zurück, und in Deutschland gab und gibt es massive Proteste gegen das transatlantische Handelsabkommen TTIP (*Transatlantic Trade and Investment Partnership*), wobei sich Kritiker von Seiten sehr linker oder sehr rechter politischer Positionen mit weiten Teilen der Mittelschicht einig sind.

Freilich sind die o. g. Beispiele differenziert und mit Blick auf ihre jeweiligen Besonderheiten zu betrachten. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf das TTIP-Abkommen, das die Deutschen am stärksten bewegt. Während das Abkommen in Deutschland mehrheitlich abgelehnt wird, zeigt ein Blick in das europäische Ausland, dass nur in insgesamt vier EU-Staaten (Slowenien, Luxemburg, Deutschland und Österreich) die Gegner die Befürworter von TTIP überwiegen, während in allen übrigen 24 EU-Staaten das Freihandelsabkommen mehrheitlich begrüßt wird.² Was also sind die Kernpunkte des Abkommens und inwieweit ist die Kritik rechtlich stichhaltig?

Geplante Inhalte des TTIP-Abkommens Reduzierung von Zöllen

Das Grundanliegen des geplanten Freihandelsabkommens ist die Reduzierung von Zöllen - bis hin zu ihrer vollständigen Abschaffung. Die gegenwärtigen durchschnittlichen Zollsätze liegen im transatlantischen Handel bei etwa 2%; sie können aber für bestimmte Produkte 30–40% (Textilien, Schuhe), in Einzelfällen sogar 130% (Erdnüsse) oder 140% (Molkereiprodukte) betragen,³ was in der ökonomischen Wirkung einem Einfuhrverbot gleichkommt. Im wirtschaftlich wichtigen Autosektor erheben die USA Standardzölle auf importierte Autos von

2,5%; für Kleinlastwagen und Transporter ist der Zoll deutlich höher und beträgt 25%. Die EU erhebt einen einheitlichen Zoll von 10% auf importierte Autos. Ein wichtiges Ziel von TTIP ist es, diese Zölle zu beseitigen oder zumindest abzusenken.

Verbesserter Marktzugang

Ist die Absenkung von Zöllen vergleichsweise einfach umzusetzen und eher wenig umstritten, so erfasst diese doch nur einen kleinen Teil der Hemmnisse im internationalen Handel. Weitaus höhere Barrieren bilden die nicht-tarifären Handelshemmnisse, die zum einen in mengenmäßigen Beschränkungen, vor allem aber auch in der Vielzahl der unterschiedlichen nationalen Regulierungen, der staatlichen Monopole und Subventionen, der verschiedenen Systeme der Maße und Gewichte sowie der technischen Normen (wie etwa unterschiedlicher Farbcodierungen von Stromkabeln oder Steckdosen) bestehen.⁴ Ihr Abbau gestaltet sich sehr viel schwieriger, und eine völlige Beseitigung wird – auch durch ein umfassendes Abkommen wie TTIP – sicher nicht erreicht werden. Prinzipiell sind zur Reduzierung von nicht-tarifären Handelshemmnissen zwei Ansätze denkbar: einerseits das Prinzip der gegenseitigen Anerkennung, andererseits die Harmonisierung der diversen nationalen Regelungen.

Nach dem Prinzip der gegenseitigen Anerkennung wird ein Produkt, dem in der EU die Übereinstimmung mit den Sicherheits- und Umweltauflagen bestätigt wurde, in den USA akzeptiert und umgekehrt, sofern nicht nachgewiesen wird, dass die jeweils andere Regelung unter Sicherheits- oder Umweltschutzgesichtspunkten unzureichend ist. Ein solcher Ansatz erfordert, dass zunächst die grundlegenden Standards miteinander verglichen werden und dann über das Prinzip der gegenseitigen Anerkennung entschieden wird. Diese Herangehensweise wird nur dann gut funktionieren, wenn die jeweiligen Anforderungen sehr ähnlich sind oder wenn es sich um für den Verbraucher- und Umweltschutz unbedeutende Regeln handelt.

1 Prof. Dr. iur. Liv Jaeckel, Professur für Öffentliches Recht, insbesondere Technik- und Umweltrecht
2 Eurobarometer-Umfrage vom Mai 2016, FAZ 1.9.2016.
3 http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2015/july/tradoc_153636.pdf, S. 12.
4 http://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/Projekte/87_Global_Economic_Symposium/STUDIE_Die_Transatlantische_Handels-und_Investitionspartnerschaft_THIP.pdf, S. 9 ff.

Eine Harmonisierung der jeweiligen nationalen Regelungen würde demgegenüber bedeuten, dass gemeinsame Standards neu gesetzt werden. Da es im Rahmen der Freihandelsabkommen (anders als in der EU) aber keine übergeordnete gemeinsame Instanz gibt, die solche Standards setzen könnte, müssen daher alle Einzelheiten zwischen den Staaten ausgehandelt werden – ein höchst umfangreiches Unterfangen.

Das geplante Freihandelsabkommen TTIP wird differenziert mit Blick auf die verschiedenen Industriezweige verhandelt, so dass an die Besonderheiten der jeweiligen Branche angepasste Instrumente und damit verschiedene Grade der Annäherung denkbar sind. Die Regulierungen im Chemikalienbereich etwa sind in der EU und den USA sehr unterschiedlich ausgestaltet, so dass es schwierig sein wird, gemeinsame Standards zu schaffen oder das Prinzip der gegenseitigen Anerkennung zu etablieren.

Dagegen sind die Sicherheits- und Umweltschutzregelungen im Automobilsektor im EU/USA-Vergleich einander sehr ähnlich und genügen auf beiden Seiten des Atlantiks hohen Standards. Unterschiede bestehen in Details, wie etwa der Klappbarkeit des Außenspiegels oder der Farbe des Blinkers, wobei sich Sicherheitsexperten einig sind, dass keine der verwendeten Farben einen Sicherheitsvorsprung hat. Um hier unnötige Kosten zu senken, setzt sich die Autoindustrie auf beiden Seiten des Atlantiks für ein umfassendes Paket im Automobilbereich ein. Ziel ist es, eine so starke Annäherung zu erreichen, dass die jeweiligen Standards als gleichwertig anerkannt werden können. In einigen Bereichen – etwa des Ingenieurwesens, des Maschinenbaus oder der Elektronik – wäre auch eine Kombination dahingehend denkbar, dass zunächst einige Regelungen harmonisiert werden und auf dieser Basis dann das Prinzip der gegenseitigen Anerkennung Anwendung finden kann.

Weitere Inhalte

Weitere Inhalte betreffen Erleichterungen für Dienstleistungen, den Zugang zur Vergabe öffentlicher Aufträge, den Schutz geistigen Eigentums sowie das Verfahren zum Investitionsschutz und zur

Streitbeilegung, wobei auf letzteres, da sich hieran maßgebliche Kritik entzündet hat, noch zurückzukommen sein wird.

Kritikpunkte

Das geplante Abkommen ist vielerlei Kritik ausgesetzt. Im Folgenden sollen zu den Vorwürfen bezüglich der Geheimhaltung, der Absenkung von Verbraucherschutzstandards und zu den Einwänden gegenüber den für den Investitionsschutz und die Streitbeilegung geplanten Regelungen wesentliche Kritikpunkte herausgegriffen und unter rechtlichen Aspekten erörtert werden.

Vorwurf der mangelnden Information

Ein gewichtiger Kritikpunkt war und ist der Vorwurf der Geheimhaltung und der mangelnden Transparenz. Zumindest die Verhandlungsseite der EU hat reagiert und den Verhandlungsstand sowie ihre Verhandlungsvorschläge umfangreich und frei zugänglich ins Internet gestellt.⁵ Dazu gehören auch Berichte über die jeweiligen Verhandlungsrunden.⁶ Allerdings werden die Texte trotz des oft artikulierten Verlangens nach mehr Transparenz eher wenig gelesen.⁷ Die Verhandlungen dauern noch an, so dass zzt. noch nicht feststeht, wie der endgültige Text des Abkommens lauten wird. Die endgültige Fassung soll aber nach Abschluss der Verhandlungen – also weit vor Unterzeichnung und Ratifizierung des Abkommens – veröffentlicht werden. Da es sich aller Voraussicht nach um ein gemischtes, d.h. sowohl die Zuständigkeiten der EU als auch der einzelnen Mitgliedstaaten berührendes Abkommen handeln wird, bedarf dieses dann ohnehin noch der Zustimmung nicht nur der zuständigen Unionsorgane, sondern auch der nationalen Parlamente der Mitgliedstaaten, so dass eine hinreichende demokratische Beteiligung gesichert ist.

Befürchtete Absenkung von Verbraucherschutzstandards

Ein besonders sensibler Punkt betrifft die Sorge um eine Herabsetzung der Verbraucher- und Umweltschutzstandards,

die über viele Jahre in der europäischen Gesundheits- und Ernährungspolitik erreicht wurden. So wird befürchtet, dass durch TTIP nunmehr mit Wachstumshormonen versehene Fleisch oder solches von geklonten Tieren sowie gentechnisch veränderte Lebensmittel auf den europäischen Markt gelangen können. Ein besonderes Symbol dafür ist das Chlorhähnchen geworden, werden doch in den USA Hühner mit Chlor behandelt, um Salmonellen abzutöten. Auch auf der anderen Seite des Atlantiks bestehen Befürchtungen. Zwar gibt es kein dem Chlorhuhn vergleichbares Symbol, Ängste vor bestimmten Produkten „von drüben“ gibt es aber auch in den USA, etwa vor aus Rohmilch hergestellten Lebensmitteln, die gesundheitsschädigende Keime, wie Listerien, beinhalten könnten.

In rechtlicher Hinsicht ist zunächst zu bedenken, dass die Parteien eines möglichen TTIP-Abkommens derzeit schon über das WTO-Recht miteinander verbunden sind. In diesem Rahmen existiert bereits ein eigenes Übereinkommen über gesundheitspolizeiliche und pflanzenschutzrechtliche Maßnahmen: das SPS-Agreement⁸. Dieses Übereinkommen, das den Handel mit tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen zum Gegenstand hat, bestätigt einerseits das Recht der WTO-Mitgliedstaaten, Maßnahmen zum Schutz von Leben und Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen zu treffen. Andererseits verlangt es aber, dass solche Schutzmaßnahmen wissenschaftlich begründet sind und auf einer adäquaten Risikobewertung beruhen. Soweit eine abschließende wissenschaftliche Beurteilung noch nicht möglich ist, können die Staaten – allerdings nur vorübergehend – vorsorgliche Schutzmaßnahmen ergreifen.

Gerade in den naturwissenschaftlich besonders umstrittenen Fragen des hormonbehandelten Fleisches, der gentechnisch veränderten Lebensmittel und der Behandlung von Hühnern mit Chlor gab es bereits rechtlich sehr komplexe Verfahren vor den Streitbeilegungsorganen der WTO. Während das letzte Verfahren noch läuft, wurde in den beiden anderen Fällen ein Verstoß der EU gegen das SPS-Abkommen festgestellt. Die Streitigkeiten wurden letztlich im Verhandlungswege beigelegt, das Konfliktpotenzial aufgrund unterschiedlicher Sichtweisen auf die Themen ist aber geblieben. Vor diesem

8 Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures.

Hintergrund haben sowohl die EU als auch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft erklärt, auch im Rahmen von TTIP am europäischen Schutzniveau hinsichtlich des Verbots von mit Hormonen oder Chlor behandeltem Fleisch sowie den strengen Regelungen im Umgang mit gentechnisch veränderten Lebensmitteln festzuhalten.⁹ Dabei darf nicht übersehen werden, dass die USA in bestimmten Bereichen durchaus über höhere Standards verfügen als die Europäer. Insbesondere bei Medizinprodukten gelten die Tests der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA) als sehr anspruchsvoll. So wurden beispielsweise die in Europa bis 2010 verwendeten problematischen PIP-Brustimplantate in den USA nicht zugelassen; die FDA warnte schon im Jahr 2000 vor diesem Produkt.

Letztlich ist zu erwarten, dass die EU in diesen hochsensiblen Fragen des Verbraucherschutzes an ihren Maßstäben festhalten wird, während die USA umgekehrt in den Bereichen, in denen die dortigen Maßstäbe höher sind, weiterhin auf ihre Standards vertrauen werden.

Investitionsschutz und Streitbeilegungsverfahren

Weitere Kritik entzündet sich an den geplanten Regelungen zum Investitionsschutz und zur Streitbeilegung. Derzeit existieren etwa 1.400 Investitionsschutzabkommen zwischen den EU-Mitgliedstaaten, von denen knapp ein Zehntel durch Deutschland geschlossen wurde. Weltweit sind mehr als 3.400 bilaterale oder multilaterale Abkommen in Kraft, die Bestimmungen über den Investitionsschutz enthalten. Die Abkommen sollen sicherstellen, dass die Investitionen der Unternehmer in einem anderen Staat fair und zu den gleichen Bedingungen wie bei den dort heimischen Unternehmen behandelt werden, was gerade für Deutschland als Exportnation von hoher Bedeutung ist. Klassische Investitionsschutzabkommen beinhalten in der Regel folgende Garantien für ausländische Investoren in der Beziehung zum Gaststaat: Schutz gegen Diskriminierung, gegen nicht gerechtfertigte Enteignungen und gegen ungerechte und unbillige Behandlung sowie eine Garantie für die Möglichkeit des Kapitaltransfers.

9 http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Flyer-Poster/Flyer-TTIP.pdf?__blob=publicationFile; http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2015/july/tradoc_153636.pdf#204156_2015.2067_TTIP_DE.indd:92512:508, S. 22.

Um bei der Beurteilung solcher Fragen nicht von der Justiz der – nicht immer demokratisch strukturierten – Gaststaaten abhängig zu sein, wird zudem regelmäßig eine Streitschlichtung durch ein internationales Streitbeilegungssystem vereinbart, das es dem Investor ermöglicht, direkt vor einem internationalen Gericht gegen die Behörden des Gaststaates zu klagen.

Kritiker befürchten nun, dass durch die Vereinbarung eines internationalen Streitbeilegungssystems im Rahmen von TTIP „Geheimgerichte“ und eine „Hinterzimmerjustiz“ entstehen könnten und dass die Regelungen missbraucht werden könnten, um die Staaten von der Umsetzung legitimer öffentlicher Interessen abzuhalten.

Nicht zuletzt um solcher Kritik zu begegnen, hat die EU ihren Ansatz zur Beilegung von Investitionsstreitigkeiten grundlegend reformiert und modernisiert. In inhaltlicher Hinsicht wurden die Schutzklauseln präziser gefasst, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden. Kernvorschriften wie der Schutz gegen „indirekte Enteignung“ oder die Garantie der „fairen und gerechten Behandlung“ sind nunmehr durch Listen ergänzt, um die exakte Bedeutung und die Reichweite dieser Postulate klarzustellen. Zudem wird das Recht der Staaten, Regulierungen zum Schutz der Gesundheit, der Sicherheit und der Umwelt sowie anderer für

das Allgemeinwohl notwendiger Ziele zu erlassen, ausdrücklich hervorgehoben und bestätigt. In prozessualer Hinsicht sollen Investitionsgerichte mit zuvor öffentlich bestellten Richtern geschaffen werden. Deren Entscheidungen können durch eine Berufungsinstanz überprüft werden. Nicht zuletzt ist wichtig, dass alle Verfahren transparent gestaltet werden: Alle Schriftsätze sollen künftig veröffentlicht werden, die Verhandlungen werden öffentlich sein und direkt betroffene Dritte sollen sich an dem Verfahren beteiligen können. Diese neuen Regelungen wurden im CETA-Abkommen bereits umgesetzt.¹⁰ Angesichts dieses grundlegend überarbeiteten Ansatzes der EU kann der Vorwurf einer „Geheimjustiz“ nicht mehr aufrechterhalten werden.

Ergebnis

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das geplante Freihandelsabkommen TTIP in seiner rechtlichen Ausgestaltung besser ist als sein Ruf. Inzwischen ist – nicht zuletzt auch infolge hartnäckiger Kritik – Transparenz geschaffen worden: Die Verhandlungsvorschläge der EU wie

10 Vgl. den Text des Abkommens http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2016/february/tradoc_154329.pdf, sowie die Zusammenfassung: http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2014/december/tradoc_152982.pdf.

auch die Berichte über die Verhandlungsrunden sind frei zugänglich. Das geplante Streitbeilegungssystem sieht Investitionsgerichte mit zuvor öffentlich bestellten Richtern, einer Berufungsinstanz und einem transparenten Verfahren vor; das Recht der Staaten, Regulierungen zum Schutz der Gesundheit, der Sicherheit und der Umwelt sowie anderer für das Allgemeinwohl notwendiger Ziele zu erlassen, wird ausdrücklich bestätigt. Im besonders sensiblen Bereich des Umgangs mit Lebensmitteln ist angesichts der sehr unterschiedlichen Ansätze der Vertragsparteien zu erwarten, dass jede Seite an ihren Standards festhalten wird.

In diesem Beitrag konnten nur einige besonders wichtige Punkte erörtert werden. Insbesondere ist ein näheres Eingehen auf die wirtschaftlichen Auswirkungen von TTIP angesichts des Umfangs nicht möglich. Insofern mag der Hinweis genügen, dass sich die weltweiten Handelsströme strukturell stärker zu den Partnern von Freihandelsabkommen hin verlagern. Dies bedeutet aber zugleich, dass diejenigen Staaten, die sich vom freien Welthandel abwenden, zurückfallen werden. Gerade Europa sollte sich hierbei darauf besinnen, dass es 60 Jahre Frieden und Wohlstand nicht zuletzt auch seiner Öffnung und wirtschaftlichen Verflechtung verdankt.

E-Leadership – Ergebnisse einer empirischen Analyse

Anne Haufe¹, Jutta Stumpf-Wollersheim¹

Einleitung

Angesichts der voranschreitenden Digitalisierung der Arbeitswelt und der damit einhergehend vermehrten Verwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien am Arbeitsplatz kommt dem Thema „E-Leadership“ eine wachsende Bedeutung zu. Die Anwendung von IK-Technologien verändert die Kommunikation und stellt Führungskräfte vor neue Herausforderungen. „E-Leadership“ bezeichnet den Prozess der Beeinflussung von Menschen über technologische Medien, die eine Veränderung von Einstellungen, Gefühlen, Denkweisen, Verhalten und Leistung von Individuen, Gruppen oder Organisationen bewirken kann.²

1 Professur für Internationales Management und Unternehmensstrategie Prof. Dr. Jutta Stumpf-Wollersheim (Lehrstuhlinhaberin), Anne Haufe, MSc. (Mitarbeiterin)
2 Avolio et al., 2001; 2014.

Bisherige Forschung hat die Entstehung und Entwicklung von E-Leadership sowie die Anwendung von IK-Technologien durch Führungskräfte und Mitarbeiter empirisch untersucht. Dabei hat sich u. a. gezeigt, dass E-Leadership sowohl von Führungskräften als auch von Mitarbeitern initiiert werden kann, dass die physische Distanz zwischen den Beteiligten zu einer geringeren Qualität der Austauschbeziehungen führen und dass die mit Technologien einhergehende Anonymität positive wie auch negative Ergebnisse zur Folge haben kann. Zudem deuten frühere Arbeiten darauf hin, dass der für E-Leadership typische Online-Kontext neue Herausforderungen – wie z. B. eine nur begrenzte Bildung und Ausformung sozio-emotionaler Beziehungen und sozialer Identität – mit sich bringt. Darüber hinaus wurde in empirischen Studien beobachtet, dass Führungskräfte

im Online-Kontext anders als im persönlichen Kontakt agieren und – je nach Führungsstil – die Effektivität der digitalen Interaktion variiert. Demnach müssen Führungskräfte mit ihren Mitarbeitern virtuell stärker agieren als bei persönlicher Kommunikation, um effektiv zu sein.³

Bei näherer Betrachtung der bisherigen Forschung zu E-Leadership fällt auf, dass es bislang noch keine Analysen gibt, in denen Arbeitnehmer zur Unterstützung durch die Führungskraft bei E-Leadership befragt werden. Da Kommunikation über IK-Technologien im Vergleich zu einer persönlichen Kommunikation höhere Kommunikationsbarrieren aufweist, erscheint es sehr relevant, das Führungsverhalten in Kontexten, in denen vergleichsweise stark auf IK-Technologien gesetzt wird, näher zu untersuchen. Führung wird

3 Avolio et al., 2014

grundsätzlich durch das Verhalten einer Führungsperson repräsentiert⁴; allerdings kann es aufgrund der schwierigeren verbalen und nonverbalen Kommunikation bei E-Leadership vergleichsweise schnell und häufig zu Missverständnissen kommen.⁵ Vor diesem Hintergrund führen wir gegenwärtig eine Befragung von Arbeitnehmern mehrerer Branchen in Deutschland durch.

Design des Fragebogens und Beschreibung der Stichprobe

Ziel der Befragung ist es, in Erfahrung zu bringen, inwieweit in Unternehmen mithilfe von IK-Technologien kommuniziert wird, wie sich die Kommunikationsprozesse gestalten und wie diese sich auf das Verhalten von Mitarbeitern auswirken. Der Fragebogen umfasst vier Blöcke: Fragen zu (1) Kommunikationsprozessen, (2) Arbeitsergebnissen, (3) Arbeitsbedingungen und Einflussfaktoren sowie (4) zu demografischen Angaben. In unserer Studie wird über Ergebnisse zu einzelnen dieser Fragen berichtet. Die im Folgenden referierten Ergebnisse beruhen auf den Daten, die vom 24.05. bis 21.07.2017 erhoben wurden. Insgesamt hatten in dieser Zeit 160 Personen aus verschiedenen Branchen (z. B. Dienstleistung, Gesundheits- und Sozialwesen, Handel, Bildung und Forschung, Maschinenbau, Baugewerbe) an der Befragung teilgenommen. Die Teilnehmer, die keine der hier zu analysierenden Fragen beantwortet haben, wurden aus der Stichprobe ausgeschlossen, so dass der Umfang der hier zugrunde liegenden Stichprobe N = 87 beträgt. Die Stichprobe umfasst 39 männliche und 40 weibliche Personen; acht Teilnehmer haben kein Geschlecht angegeben. Die Befragten sind vorwiegend zwischen 20 und 40 Jahren alt (Durchschnitt: 28 Jahre) und arbeiten hauptsächlich in Großunternehmen (57 Prozent); lediglich 26 Prozent sind in mittelständischen und 17 Prozent in Klein- und Kleinstunternehmen tätig.

Ergebnisse der Befragung

Um Genaueres über die Nutzung von IK-Technologien am Arbeitsplatz zu erfahren, haben wir unsere Teilnehmer gebeten, auf einer Skala von 1 (weniger als einmal im Monat) bis 5 (mehrmals am Tag) anzugeben, wie oft sie auf bestimmte IK-Technologien zurückgreifen, um mit ihrem direkten Vorgesetzten zu kommunizieren.

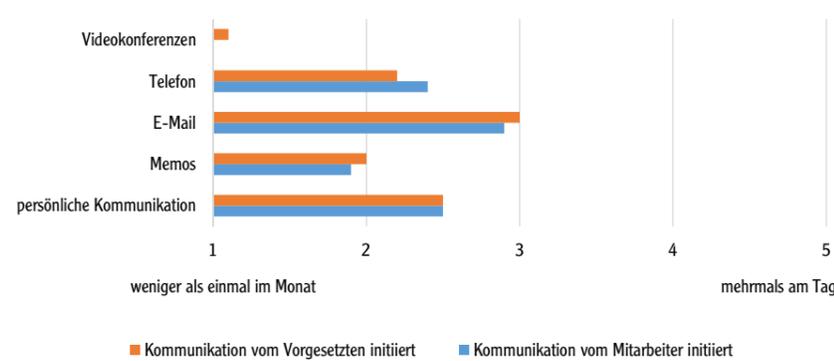


Abb. 1: Häufigkeit der Anwendung verschiedener Kommunikationstools

Dabei waren die in *Abbildung 1* dargestellten Kommunikationsmedien vorgegeben, und es wurde danach differenziert, ob die Kommunikation unter Nutzung der jeweiligen IK-Technologie vom Teilnehmer unserer Umfrage oder vom jeweils direkten Vorgesetzten initiiert wurde.

Insgesamt zeigt sich, dass die Kommunikation am Arbeitsplatz am häufigsten über E-Mail stattfindet, gefolgt von persönlicher Kommunikation, Telefongesprächen, Memos und Videokonferenzen. Dabei werden diese Kommunikationsformen sowohl von Mitarbeitern als auch von Vorgesetzten veranlasst.

Ausgehend von der Annahme, dass Vorgesetzte im Führungsverhältnis zu ihren Mitarbeitern unterstützend wirken, indem sie bspw. Wissen weitergeben oder motivieren, haben wir unsere Studienteilnehmer darüber hinaus gefragt, wie sie das Ausmaß der Unterstützung durch ihren direkten Vorgesetzten auf einer Skala von 1 bis 5 mit Blick auf die in *Abbildung 2* genannten Aspekte einschätzen (Ist-Situation) und bei welchen der Aspekten sie persönlich die Unterstützung ihres Vorgesetzten tatsächlich benötigen (Soll-Situation). Da es Ziel dieser Studie ist, einen tieferen Einblick in E-Leadership zu erlangen, wurde das Item „Wie oft erhalten Sie eine E-Mail von Ihrem direkten Vorgesetzten“ für diese Analyse herangezogen, wobei diejenigen Mitarbeiter ausgeschlossen wurden, die vergleichsweise selten über E-Mail mit ihrem Vorgesetzten kommunizieren (konkret wurden diejenigen ausgeschlossen, die bei dieser Frage einen Wert kleiner drei angekreuzt hatten). Die im Folgenden berichteten Ergebnisse beruhen auf der resultierenden Substichprobe von 53 Teilnehmenden.

Insgesamt zeigt der Vergleich von Soll- und Ist-Situation, dass Vorgesetzte den Unterstützungsbedarf der Mitarbeiter

erfüllen. Eine signifikante Abweichung zwischen Ist- und Soll-Situation ergibt sich mit Blick auf die Auswahl, Koordination, Planung und Organisation von Aufgaben sowie die Wissensweitergabe. Die Vorgesetzten unterstützen ihre Mitarbeiter in diesen Aspekten in stärkerem Maße als diese Unterstützung zur Aufgabenerfüllung benötigen.

Besonders interessant erscheint es, dass Vorgesetzte mehr Wissen weitergeben als Mitarbeiter Wissen benötigen. Bei einer E-Mail-Kommunikation sind der Frequenz der Kommunikation sowie der Quantität an Information kaum Grenzen gesetzt, was das überhöhte Ausmaß der Wissensweitergabe seitens der Vorgesetzten erklären könnte. Obgleich eine umfangreiche Wissensweitergabe zunächst positiv anmutet, ist anzumerken, dass ein Anstieg der Kommunikationsfrequenz oder der Menge an kommunizierten Inhalten mit Einbußen hinsichtlich der Informationsqualität einhergehen kann. Zudem ist eine umfangreiche Wissensweitergabe aufgrund begrenzter kognitiver Ressourcen des Menschen nicht zwangsläufig besser als eine weniger umfangreiche. Ergebnisse mit Blick auf weitere Fragen, die wir zur Art und Weise der Kommunikationsprozesse sowie zu Eigenschaften der Informationen gestellt haben, deuten darauf hin, dass Vorgesetzte häufig und oft spontan mit ihren Mitarbeitern kommunizieren und dass die Mitarbeiter mit der Aktualität, Genauigkeit und Nützlichkeit der erhaltenen Informationen zufrieden sind.

Zudem erscheint es mit Blick auf unser Thema „E-Leadership“ interessant, dass sich Soll- und Ist-Situation hinsichtlich der Motivation und Inspiration von Mitarbeitern kaum unterscheiden. Vor dem Hintergrund, dass E-Mail-Kommunikation mit gewissen Kommunikationsbarrieren einhergeht, die insbesondere das

Übermitteln emotionaler und motivierender Botschaften erschweren können, wäre zu erwarten gewesen, dass Mitarbeiter von ihren Vorgesetzten weniger Motivation und Inspiration erfahren als sie sich wünschen.

Fazit

Die Befragungsergebnisse bestätigen, dass Führungskräfte heutzutage stark auf technologische Medien zurückgreifen, um mit ihren Mitarbeitern zu kommunizieren. E-Leadership scheint in Unternehmen somit eine wichtige Rolle zu spielen. Dabei sind E-Mails das zentrale Kommunikationsmedium, wenngleich weiterhin häufig auch persönlich kommuniziert wird. Im Zuge der Kommunikation übermittelte Informationen scheinen grundsätzlich von guter Qualität zu sein, und die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mitarbeiter trotz der mit E-Leadership einhergehenden möglicherweise größeren Distanz zu ihrer Führungskraft grundsätzlich keinen Mangel an Unterstützung seitens ihrer Führungskraft empfinden. Die beobachteten Abweichungen im Soll-Ist-Vergleich zur Frage der Unterstützung durch die Führungskraft zeigen auf, dass Führungskräfte tendenziell mehr unterstützen als ihre Mitarbeiter es erwarten.

Insgesamt ist festzustellen, dass Führungskräfte den mit E-Leadership einhergehenden neuen Herausforderungen – zumindest in punkto Unterstützung ihrer Mitarbeiter – gerecht werden. Künftige Forschung sollte die hier vorgestellten Ergebnisse, basierend auf einer umfangreicheren Stichprobe, replizieren und zudem

Unterstützung durch den Vorgesetzten, um ...

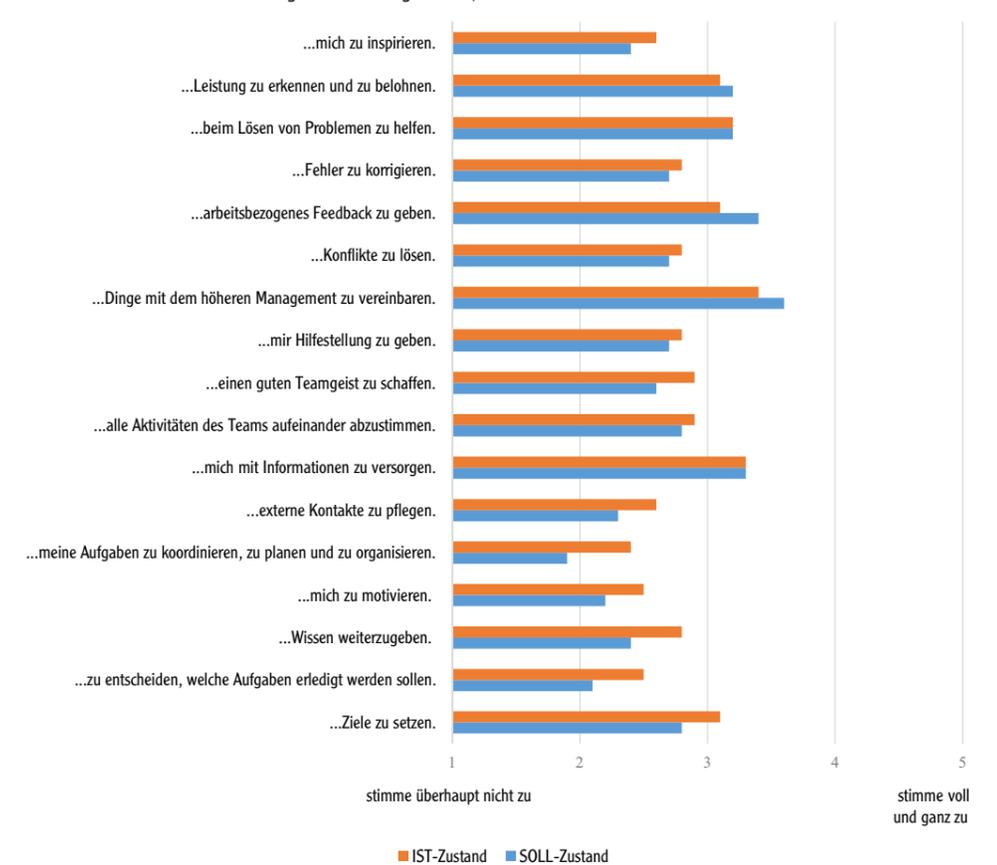


Abb. 2: SOLL-IST-Vergleich hinsichtlich der Unterstützung durch den direkten Vorgesetzten

untersuchen, inwieweit die aus der Studie resultierenden Schlussfolgerungen bspw. branchenspezifische Unterschiede aufweisen. Zudem erscheint es besonders interessant, Motivation und Inspiration im Kontext von E-Leadership näher zu untersuchen. Da es aktuell nur wenig Wissen darüber gibt, wie Führungskräfte in schriftlicher Form motivieren und/oder inspirieren können, sollte künftige Forschung u. a. analysieren, welche kausalen Effekte E-Leadership über textbasierte Online-Tools auf die Motivation und Innovationsfähigkeit von Mitarbeitern ausübt und in welcher Art und Weise emotionale und motivierende Inhalte übermittelt werden.

Literaturverzeichnis

- Avolio, B. J., Kahai, S. S., & Dodge, G. E. (2001). E-leadership: Implications for theory, research, and practice. *The Leadership Quarterly*, 11(4), 615–668.
- Avolio, B. J., Sosik, J. J., & Kahai S. S. (2014). E-leadership: Re-examining transformations in leadership source and transmission. *The Leadership Quarterly*, 25(1), 105–131.
- Eberly, M. B., Johnson, M. D., Hernandez, M., & Avolio, B. J. (2013). An integrative process model of leadership. Examining loci, mechanisms, and event cycles. *American Psychologist*, 68(6), 427–443.
- Kahai, S. S. (2013). Leading in a digital age: What's different, issues raised, and what we know. In M. C. Bligh, & R. E. Riggio (Eds.), *Exploring distance in leader-follower relationships: When near is far and far is near* (pp. 63–108). New York, NY: Routledge.

Studium für einen Beruf mit breiten Einsatzmöglichkeiten: Informatiker forschen mit und für viele andere Fachgebiete



Studiengang Angewandte Informatik: tu-freiberg.de/studium/studienangebot/angewandte-informatik-bachelor

Silicium im Medikament: Die DMSO-Emulsion – ein pharmakologisches Ensemble zur Schmerzbekämpfung

Peter Klose¹, Rolf-Michael Wagner², Gerhard Roewer³

Die BLZ Geotechnik Service GmbH ist ein langjähriges Mitglied des VFF und Kooperationspartner unserer TU. Neben hauptsächlich schon realisierten gemeinsamen geotechnischen Forschungsvorhaben (z. B. zur Bodenansäuerung) stand auch ein von medizinischer Zielstellung geprägtes Projekt im Fokus der Kooperation.

Einleitung

Der Einsatz von polymeren Siliciumverbindungen in Medikamenten zur Erhöhung ihrer pharmakologischen Wirksamkeit ist bisher eher selten, aber dennoch Gegenstand der Forschung. Ihre speziellen Eigenschaften verleihen Silikon-Molekülen den Charakter einer „Brücke“ zwischen anorganischen und organischen Molekülen. Ein Beispiel für deren erfolgreiche Anwendung als Hauptkomponente zum Design von medizinisch relevanten Wasser/Öl-Emulsionen ist die Emulsion IMMUNAinjekt.

Ineinander fast unlöslich und doch vereint – dieses Phänomen kennzeichnet eine Emulsion, ein Phasensystem aus zwei ineinander nahezu insolublen Flüssigkeiten, in dem jeweils die eine davon in der anderen hochdispers verteilt vorliegt, wie im Falle der Kombination von Wasser/Silikonöl („Dimeticon“), Abb. 1. Durch Zugabe geeigneter Additive gelingt sowohl das „Umschalten“ der jeweils dispersen Phase des Systems – Öl in Wasser → Wasser in Öl – als auch die Herstellung sog. Doppemulsionen: Wasser in Öl in Wasser bzw. Öl in Wasser in Öl (Ö/W/Ö vs. W/Ö/W), wobei die innere Region eines Tropfens wiederum eine Emulsion ist. Mittlerweile lassen sich solche Systeme auch maßschneidern, u. a. für die Aufnahme von Therapeutika. Wirkstoffe, wie etwa DMSO (Dimethylsulfoxid), können im Bereich der Phasengrenzregion dispers eingeschlossen und so effektiv innerhalb des menschlichen Körpers transportiert werden. Das polare DMSO-Molekül ist hydrophil und sollte deshalb (wie im unteren Teil der Abbildung 1 schematisch gezeigt) vorrangig mit Wassermolekülen wechselwirken. Hinzu kommen die schwächeren hydrophoben

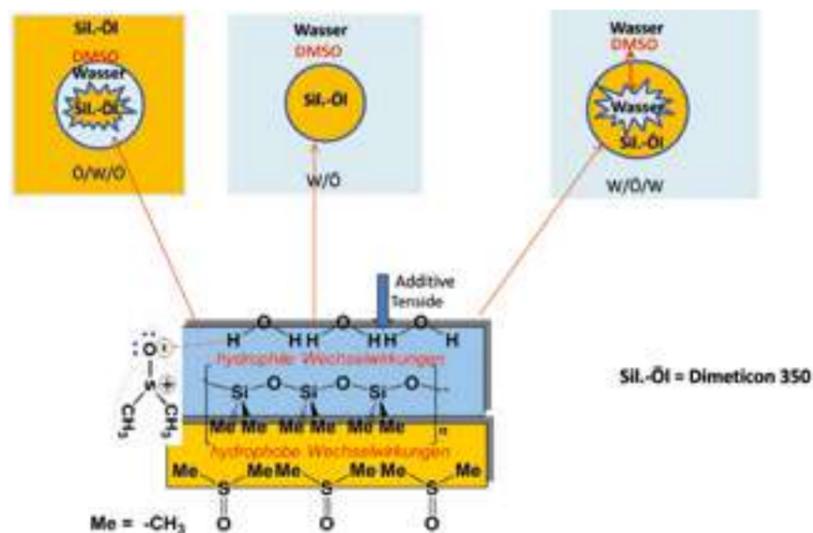


Abb. 1: Phasen und Phasengrenzregion in DMSO-haltigen Silikonöl-in-Wasser- bzw. Doppemulsionen vom Typ Öl in Wasser in Öl und Wasser in Öl in Wasser

Interaktionen zwischen den Methylgruppen von DMSO und denen des Silikonöls, speziell in der Phasengrenzregion.

Zusammensetzung und therapeutische Effekte der DMSO-Emulsion

Auf der Basis dieser grundlegenden Vorstellungen ist während einer fast zwanzigjährigen Forschungsphase – unter Mitwirkung von Studenten und Mitarbeitern des Instituts für Anorganische Chemie der TU Bergakademie Freiberg – eine definierte, optimierte Rezeptur (Zusammensetzung, Herstellungstechnologie, Stabilität, Verträglichkeit) für den Einsatz in der Humanmedizin entwickelt worden. Derzeit wird sie in Eigenherstellung auf Lizenzbasis produziert, Tab. 1.

Diese DMSO-haltige Emulsion mit den beiden Phasenbildnern (a) Wasser (isotonische NaCl-Lösung, die auch noch den Metall-Komplexbildner EDTA in sehr geringer Konzentration enthält) und (b) Silikonöl (Dimeticon 350) wird durch hydro- und amphiphile Agenzien stabilisiert: Sorbitantriöleat, Cetylstearylalkohol, Polysorb 80, Glycerol. Sie wird bereits in ausgewählten medizinischen Einrichtungen erfolgreich parenteral eingesetzt.

DMSO besitzt eine relativ große therapeutische Bandbreite.⁴ Auf der Basis

H ₂ O-Phase:	Isoton. NaCl-Lösung
Siloxanöl-Phase:	Dimeticon
Wirkstoff:	Dimethylsulfoxid (DMSO)
Vermittler:	Sorbitantriöleat Cetylstearylalkohol Polysorb 80 Glycerol
Wässr. Lösung:	Na/Ca-Salz v. EDTA

Tab. 1: Zusammensetzung der therapeutischen DMSO-Emulsion IMMUNAinjekt

einer DMSO-Emulsion können variabel dosierbare Mengen von DMSO effektiv injiziert werden, um die positiven Effekte dieses Therapeutikums zu nutzen, wobei die damit in den Körper eingebrachten DMSO-Konzentrationen weit unterhalb ihres toxischen Niveaus (1 g DMSO/kg Mensch, d. h. 70 g DMSO pro Patient mit 70 kg Gewicht!) liegen: Bei einer Dosis im Bereich 5–25 ml Emulsion (vgl. Abschnitt Applikation und Dosierung) beträgt die mit der Emulsion injizierte DMSO-Menge lediglich 0,075–0,375 g pro Patient. Die durch die Behandlung mit dieser Emulsion dem Patienten applizierte DMSO-Konzentration ist somit äußerst gering. Das in dem hydrophil/hydrophoben Emulsionsgebilde gebundene DMSO kriecht temporär und reversibel eine relativ hohe Permeabilität von biologisch relevanten Membranen (bilayers). D. h., es besitzt auch diese schon von „freiem“ DMSO her bekannte einzigartige Fähigkeit, lebendes Gewebe

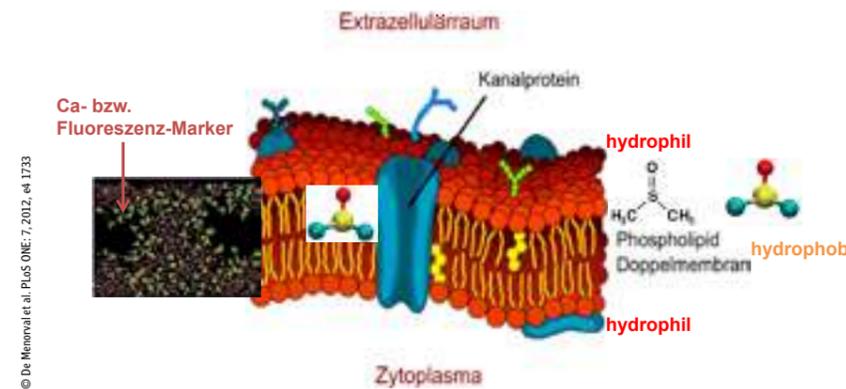


Abb. 2: Permeation von DMSO durch eine Phospholipid-Doppelmembran

(ohne signifikanten Schaden anzurichten) zu durchdringen, Abb. 2.

Die siliciumhaltige Komponente „Dimeticon“ erleichtert, bedingt durch ihre – wenn auch relativ schwache – Wechselwirkung mit dem DMSO, dessen Zugang zu Lipidregionen und unterstützt dort somit den Transport des Therapeutikums im Körper. Das DMSO kann demzufolge sowohl mit den hydrophilen äußeren Gruppen („Kopfgruppen“) der Doppelschicht wechselwirken und Wassermoleküle von dort verdrängen als auch in die innere, hydrophobe Lipidschicht eindringen und dabei kurzzeitig Kanäle/Poren schaffen bzw. öffnen. Wie in Abbildung 2 gezeigt, wird dadurch die Zellplasma-Membran für Fluoreszenzmarker signifikant aufnahmefähiger und durchlässiger.

Nach dem bisherigen Erkenntnisstand beruhen die therapeutischen Wirkungen des DMSO

- auf der Modulierung von immunologischen Effekten – sowie
- in hohem Maße auf anti-oxidativen chemischen Prozessen des Abfangens von ROS- und RNS-Radikalspezies – sowie
- auf einer (bisher allerdings nur vermuteten) Intensivierung des Abtransports von Produkten der Apoptose und der Phagozytose aus dem Extrazellulärraum.

Unsere Untersuchungen sind insbesondere auf die Kontrolle/Steuerung der Konzentration von biologisch relevanten Radikalen fokussiert.

In biologischen Systemen sind Radikale allgegenwärtig. Sie erfüllen essenzielle Aufgaben, sind aber generell toxisch für die Zelle, deren Funktionsmechanismen und den gesamten Organismus. Radikalische Sauerstoffspezies (reactive oxygen species, ROS) spielen dabei eine sehr wichtige Rolle: das Hydroxyl-Radikal ([•]OH), organische Oxy- und Peroxy-Radikale

([•]OC_nH_m, [•]OOC_nH_m, das Superoxidion ([•]O₂)) wie auch reaktive Stickstoffradikal-Spezies (RNS): Stickstoffmonoxyd ([•]NO). Infolge ihrer hohen Reaktivität können Radikale in biologischen Systemen grundsätzlich zerstörend wirken. Andererseits macht gerade diese große Reaktionsbereitschaft sie in niedrigen Konzentrationen zu wichtigen Signalträgern, vgl. Abb. 3. Es kommt also darauf an, sie zu „bändigen“ – ihre Konzentration und Reaktivität so zu steuern, dass ihre Wirkung im physiologisch relevanten Bereich gehalten wird. In einer gesunden Zelle kommt es naturgemäß immer mal zu einer vorübergehenden Zunahme der Konzentration von reaktiven Sauerstoff- und Stickstoffradikalen, sog. ROS und RNS, die eine Schlüsselrolle in Signalübertragungsprozessen und beim Schutz gegen Krankheitserreger innehaben. Abbildung 3 führt die möglichen Veränderungen im zellulären ROS-Radikal-Niveau – klassifiziert nach speziellen temporären Situationen im menschlichen Körper – vor Augen. Vorübergehende Erhöhungen dieses Niveaus sind für physiologische Funktionen, wie etwa die Signalübertragung oder die Vernichtung von Krankheitserregern (z. B. von Bakterien und Viren im Wege der Phagozytose), lebenswichtig, während chronische Erhöhungen schädigend wirken und Krankheiten verursachen.

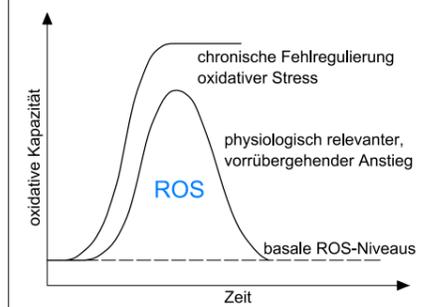


Abb. 3: Zeitabhängige Schwankungen des zellulären ROS-Konzentrationsniveaus im Organismus

Erkrankungen mit immunologischem Hintergrund bzw. solche, bei denen vermehrt ROS gebildet werden, sind die Zielgebiete für den Einsatz der DMSO-Emulsion:

- Infekte (bakterieller oder viraler Genese)
- Schmerzen (postoperative Schmerzen, Schmerzen des Muskelskelettsystems, Tumorschmerzen)
- Tumorerkrankungen (auch palliativ bei fortgeschrittenem Erkrankungsstadium)
- weitere neoplastische Erkrankungen
- Rheumatoide Arthritis
- Autoimmunerkrankungen (Rheuma, Multiple Sklerose, Parkinson, Neurodermitis, Allergien)
- Erschöpfungszustände unklarer Genese (chronisches Erschöpfungssyndrom, Burnout, Manager-Syndrom)
- Multimorbidität bei geriatrischen Patienten
- Minderung der Nebenwirkungen bei immundepressiven Therapien und Bestrahlungen

Applikation und Dosierung

Die DMSO-Emulsion wird streng nach klinischen Gesichtspunkten appliziert. Die Initialdosis wird im Bereich 1–5 ml Emulsion gewählt und subcutan (sc.) bzw. intramuskulär (im.) injiziert, wobei die subcutane der intramuskulären Applikation vorzuziehen ist. Der Applikationsort wird intraglutäal (nach Hochstätter) ausgewählt. Die DMSO-Emulsion wird langsam und schmerzfrei appliziert. Zu Beginn der Behandlung werden je nach Schwere der Erkrankung täglich 2,5 bis 5 ml der DMSO-Emulsion sc. injiziert. Bei starken Schmerzen, beispielsweise bei onkologischen Erkrankungen, wird die Dosis bis zur positiven Schmerzbeeinflussung erhöht. Diese so ermittelte Tagesdosis kann auf zwei tägliche Einzeldosen verteilt werden. Sobald eine klinische Besserung eintritt, kann die tgl. Dosis wieder reduziert werden („Neutralisation“ der Überproduktion an reaktiven Sauerstoffspezies).

Unerwünschte Nebenwirkungen wurden bisher nicht festgestellt. Unsere Erfahrungen – gewonnen aus einer langen Reihe von Einzelbeobachtungen bei der Behandlung von Patienten mit unterschiedlichen Arten von Erkrankungen – zeigen eindeutig, dass die Therapie mit dieser DMSO-Emulsions-Rezeptur sogar positive Nebeneffekte verursacht: bessere Leistungsfähigkeit des Muskel-, Skelett- und Nervensystems sowie eine Verbesserung der Hautbeschaffenheit.

1 Dr. med. Peter Klose, Grabow
2 Dr.-Ing. Rolf-Michael Wagner, Gommern
3 Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Anorganische Chemie

4 Vgl. auch Morton Walker: „DMSO, das Heilmittel der Natur“, ISBN 978-3-86445-419-6, Kopp Verlag, Febr. 2017

Erfahrungen aus der Behandlung einzelner Patienten: Optimierung des Dosis-Wirkprinzips

Die bisher mit der DMSO-Emulsion behandelten zahlreichen Patienten lassen sich bezüglich des zu wählenden Applikations-Prozederes in drei Gruppen einteilen:

- Patienten, die das Präparat zur Gesundheitsvorsorge erhalten
- Patienten mit nachgewiesenen Erkrankungen (z. B. Autoimmunerkrankungen)
- Patienten mit akuten Krebserkrankungen

Zur ersten Gruppe zählen Patienten, die mehr als zwei Mal im Jahr an Virusinfekten erkranken, die immer wieder an periodisch auftretenden Erschöpfungszuständen leiden – und jene, die zu bestimmten Jahreszeiten körperliche und seelische Leistungsminderungen verspüren, ohne dass konkrete Erkrankungen gefunden werden. Diese Patienten erhalten das Medikament nach einer Sofortinjektion dann 14- bis 28-täglich in einer Dosierung von jeweils 3 bis 5 ml sc.

Zur zweiten Gruppe zählen Patienten mit Autoimmunerkrankungen, wie Lupus Erythematosus, Multiple Sklerose, Rheuma etc. In diesen Fällen wird nach einem festen Schema verfahren. Je nach Schwere und Art der Erkrankung werden der Spritzrhythmus und die Einzeldosierung festgelegt. Klinisch positive Effekte sollten hier nach kürzester Zeit eintreten. Bei Patienten mit akuten Krebserkrankungen wird die DMSO-Emulsion in der Regel täglich gespritzt. In der Therapie

der Borreliose eröffnet sich mit dieser Emulsion ebenfalls eine neue, effiziente Methode.

Studien

Eine Studie auf der Basis der Bewertungskriterien *Beurteilung* der Ergebnisse der Behandlung von multimorbiden Patienten mit dem Präparat *durch den Patienten sowie durch den Arzt* (Wirksamkeit, Verträglichkeit, Erfassung von Nebenwirkungen) mittels deskriptiver Statistik (Mittelwert, Standardabweichung) für 640 Patienten sowie 15 Ärzte ergab, dass 88,5% der Ärzte und 83,6% der Patienten die Wirksamkeit der Behandlung mit „gut“ und „sehr gut“ bewerteten; die Verträglichkeit befanden 99,1% der Ärzte und 98,2% der Patienten für gut und sehr gut. Die DMSO-Emulsion kann demnach zur Verbesserung des Befindens bei Patienten mit recht unterschiedlichen Diagnosen erfolgversprechend angewendet werden.

Die Eignung der DMSO-Emulsion als zusätzliches Medikament während einer Chemotherapie (adjuvante Krebstherapie) ist bisher schon durch zahlreiche Heilversuche belegt worden. Die Chemotherapie ist in ihrer Effektivität bekanntlich generell begrenzt und auch mit z. T. erheblichen Nebenwirkungen verbunden, z. B. im Fall von Brustkrebs. Daraus resultieren schwere Beeinträchtigungen der Lebensqualität. Ein positives Ergebnis bei der Suche nach geeigneten Therapieformen, die insbesondere bei Patientinnen mit fortgeschrittenem Mamma-Karzinom das Ausmaß der systemischen Toxizität reduzieren und

somit zur Verbesserung der Lebensqualität beitragen können, liefert die komplementäre Anwendung von Chemotherapie und DMSO-Emulsionsinjektion, verifiziert durch eine klinische Studie. Der Gewinn an Lebensqualität bei einer Patientinnen-Gruppe mit fortgeschrittenem Mammakarzinom, deren Mitgliedern zusätzlich zur Standardtherapie (Chemotherapie) die in Rede stehende DMSO-Emulsion injiziert worden war – im Vergleich zu einer Patientinnen-Gruppe ohne DMSO-Behandlung –, ist aus *Abbildung 4* deutlich abzulesen: Die Verbesserung der Lebensqualität durch die DMSO-Applikation nach 17 Visiten – indiziert über den Karnovsky-Index – ist hochsignifikant. In die Analysepopulation (ITT, *intention to treat*) wurden 46 Patientinnen einbezogen.

Die DMSO-Emulsion ist gemäß dieser Studie das Mittel der Wahl zum Einsatz bei allen mit Schmerz verbundenen Erkrankungen. Die belastenden Effekte eventueller Sekundärinfektionen werden durch diese Behandlung ebenso minimiert wie die Schwere des Verlaufs akuter Infektionserkrankungen, solange der Körper noch eigene Widerstandskraft aufzubauen vermag. Die hohe Signifikanz in der Verbesserung der Lebensqualität und der Schmerzreduktion bei guter Verträglichkeit der DMSO-Emulsion erlaubt deren breiten Einsatz in großen Patientengruppen.

Wirkmechanismus

Der Wirkmechanismus der DMSO-Emulsion ist bis dato noch nicht vollständig aufgeklärt. Das DMSO-Molekül greift spezifisch in die Regulation des Immunsystems ein – vorrangig in die des angeborenen Immunsystems (*innate immune response*): z. B. in die Aktivität der Makrophagen, *Abb. 5*.

Der Prozess der Phagozytose – Einhüllen und Zerstören eindringender Mikroorganismen in diese(n) Fresszellen über eine Entzündungsreaktion – ist eine prinzipielle Antwort des zellulären Immunsystems. Hinzu kommt die Beseitigung abgestorbener (apoptotischer) Zellen. Makrophagen lösen vor Ort eine lokale Entzündungsreaktion aus, wobei - neben reaktiven Sauerstoffspezies ROS ($\cdot\text{O}_2^-$, H_2O_2 , $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{NO}$ sowie das aus $\cdot\text{O}_2^-$ und $\cdot\text{NO}$ gebildete Peroxynitrit, ONOO^-) – auch Proteine und Lipide freigesetzt werden. Die Transkriptionsfaktoren NF- κB und AP-1 werden durch die reaktiven Sauerstoffspezies besonders intensiv aktiviert. NF- κB reguliert die

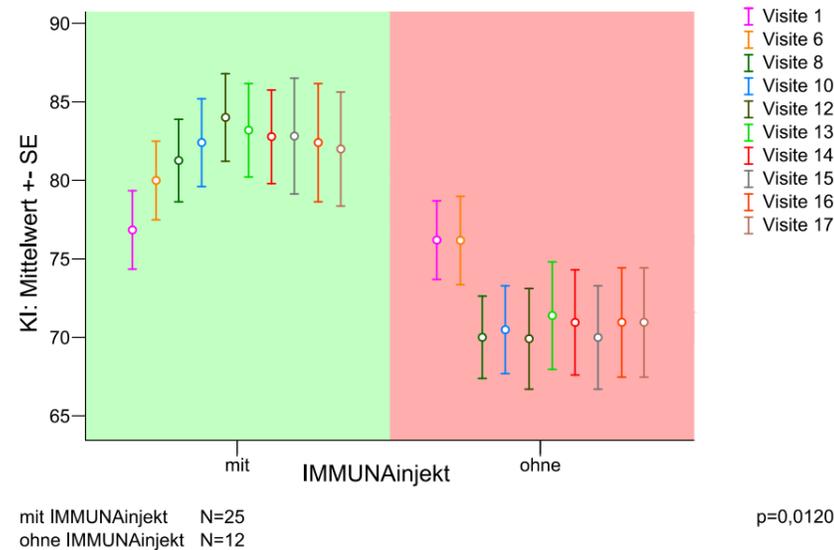


Abb. 4: Verbesserung der Lebensqualität der an Brustkrebs erkrankten Patientinnen durch die Applikation der IMMUNAinjekt-Emulsion – indiziert durch den Karnovsky-Index (ITT)

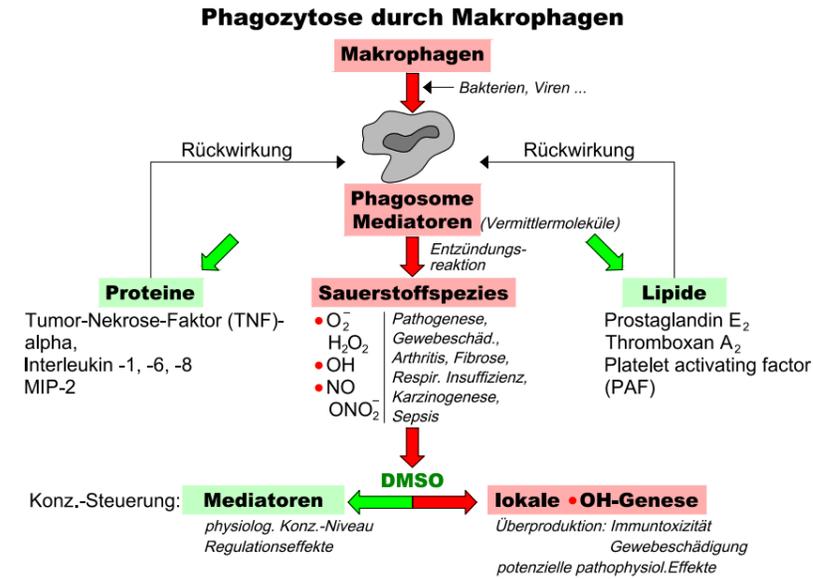


Abb. 5: Phagozytose – Immunabwehr und Entzündung mit Radikalgenese im Körper

Aktivierung von proinflammatorischen Zytokinen (Interleukin-1, Interleukin-6 und Tumornekrosefaktor- α) sowie das Makrophage-inflammatorische Protein MIP-2. Die hochreaktiven Sauerstoffspezies schädigen – bei der Abtötung von Pathogenen sowie apoptotischer, nekrotischer und entarteter körpereigener Zellen – auch das umliegende Gewebe. Eine erhöhte Konzentration von ROS im Gewebe führt zur Lipidperoxidation, deren quantitatives Ausmaß sich durch Messung der Malondialdehyd-Konzentration bestimmen lässt. Eine unzureichende Kontrolle bzw. übermäßige Produktion von Radikalen führt zur Entstehung verschiedener Krankheiten, *vgl. Abb. 5*,

Mitte. Die Schädigungen erreichen im Fall der Pathomechanismen einer Sepsis ein extrem großes Ausmaß: Gerinnungsaktivierung sowie Störung von Permeabilität und Mikrozirkulation in Konsequenz der intensivierten Bildung von ROS und $\cdot\text{NO}$.

Das $\cdot\text{OH}$ -Radikal als das reaktionsfreudigste Sauerstoffradikal im biologischen System kann mit nahezu allen biologischen Molekülen (Lipiden, Proteinen, Nukleinsäuren, Kohlenhydraten) im lebenden Organismus reagieren. Das Radikal entsteht über die Fenton-Reaktion, *Abb. 6 oben*. Sie wird von Eisen(II)- und Kupfer(II)-Ionen katalysiert. Die Haber-Weiss-Reaktion zwischen dem u. a. in der mitochondrialen Atmungskette gebildeten

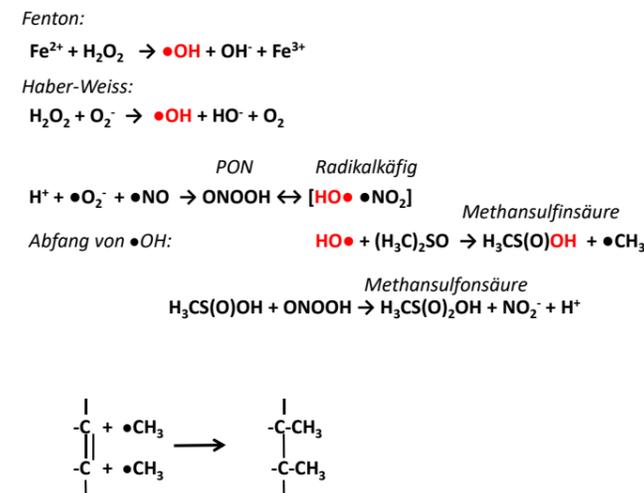


Abbildung 6: DMSO als Radikalfänger im biologischen System

5 gefäßerweiternd

$\cdot\text{O}_2^-$ -Radikal („leak“ in der Atmungskette) und Wasserstoffperoxid generiert ebenfalls $\cdot\text{OH}$ -Radikale, *Abb. 6*.

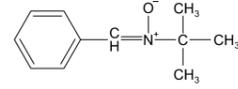
Prinzipiell verhindern bzw. begrenzen die neben den Abbaubestandteilen durch außer Kontrolle geratene Radikalproduktion entstandenen Schaden. In diesem Kontext wird auch die Rolle von DMSO gesehen. Es wirkt – wie in Tierexperimenten festgestellt – selbst in septischen Situationen auf die von Neutrophilen, Makrophagen und Monozyten provozierte Immunantwort. Die DMSO-Emulsion zeigt ebenfalls diese entzündungshemmende, analgetisch antioxidative und immunmodulierende Wirkung.

Die spezifische Interaktion mit der durch Stimuli (z. B. durch Lipopolysaccharide, LPS) ausgelösten proinflammatorischen Kaskade durch das Abfangen von reaktiven Sauerstoffspezies bedingt eine Hemmung des nuklearen Regulatorproteins NF- κB . Dadurch wird die proinflammatorische Kaskade mit der intensivierten sowie zeitlich verlängerten Bildung von Zytokinen (IL-3...IL-6), dem vasodilatatorisch⁵ wirksamen $\cdot\text{NO}$, dem Platelet Activating Faktor (PAF, löst Thrombozyten-Aggregation aus) und den in *Abbildung 5* aufgeführten oxidierenden Spezies inhibiert. In seiner Eigenschaft als Radikalfänger blockt DMSO generell die toxischen Effekte der Radikale $\cdot\text{OH}$, $\cdot\text{O}_2^-$ bzw. des Peroxynitrits, *Abb. 6*. D.h. deren schädliche Überproduktion als Antwort auf Stress-Situationen im Körper – z. B. in Mitochondrien, im Haber-Weiss-Prozess sowie über das Bildungsgleichgewicht von PON – wird durch das sehr schnelle Abfangen der Radikale (Geschwindigkeitskonstante für den $\cdot\text{OH}$ -Abfang: $k = 6 \times 10^9 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) geblockt. In aktivierten Phagozyten reagiert DMSO – wie in *Abbildung 6* formuliert – mit dem $\cdot\text{OH}$ -Radikal, wobei auch Methan freigesetzt werden sollte. D. h., das Methylradikal $\cdot\text{CH}_3$ reagiert unter sog. H-Abstraktion mit Komponenten in seiner Umgebung, kann aber auch per Addition an die C=C-Doppelbindungen der Additive Sorbitantriolate oder Polysorbat 80 ohne Methanbildung gebunden werden.

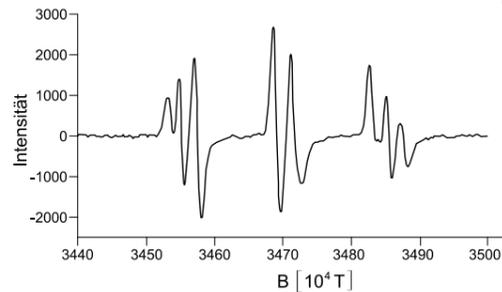
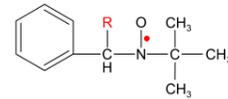
Eigene im Rahmen von Qualifizierungsarbeiten durchgeführte In-vitro-ESR-spektroskopische Untersuchungen (sog. *spin trapping* mit Phenyl-tert-butylnitron) belegen eindeutig, dass das in der DMSO-Emulsion enthaltene DMSO-Molekül zum Abfangen von $\cdot\text{OH}$ -Radikalen befähigt

DMSO/H₂O/H₂O₂/Dimeticon (UV-Blitz)

Primär-Radikal •R + Radikal-Fänger („Nitron“) ergibt Triplett aus Dubletts
(•OH, •CH₃ u.a.)



Sekundär-Radikal (•CH₃ → „Nitroxid“) ergibt Triplett aus Dubletts



Nitroxid-ESR-Spektrum aus DMSO-Emulsion

Abb. 7: ESR-spektroskopischer Nachweis von Radikalen: Spin trapping mit Phenyl-tert.-butylnitron in der Emulsion

ist, Abb. 7. Das vom •OH-freigesetzte, ebenfalls kurzlebige Methylradikal •CH₃ reagiert mit dem Nitron zum langlebigen Nitroxid-Radikal („Sekundär-Radikal“, oben im Bild), das ESR-spektroskopisch anhand des Signalmusters (unten im Bild) identifiziert werden kann.

Die DMSO-Emulsion eröffnet somit die Möglichkeit zur Konzentrationssteuerung

der ROS – bis hin zum „Umschalten“ von den sogenannten pathophysiologischen in die normalphysiologischen Funktionen – in der Rolle als regulatorisch wirkendes Molekül. Bei der Analyse von in Tierexperimenten („Maus-Modell“) ausgelösten septischen Situationen zeigte sich, dass DMSO – neben dem Abfangen von ROS – auch die Aktivierung des Faktors NF-κB

nahezu vollständig blockt und die Wirkung der Transkriptionsfaktoren AP-1 hemmt sowie den Anstieg des proinflammatorischen Faktors TNF-α verhindert. Die Hemmung des NF-κB durch das DMSO unterdrückt auch die „Überproduktion“ von •NO.

Abbildung 8 fasst diese Effekte schematisch zusammen.

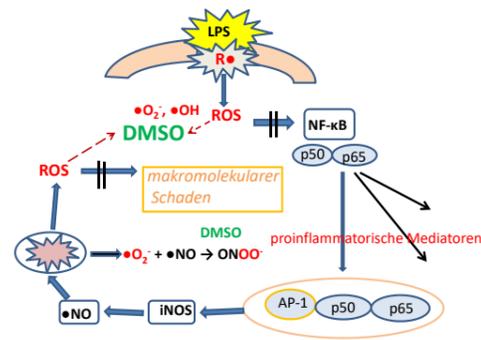


Abb. 8: Eingriff von DMSO in eine proinflammatorische Kaskade (LPS: Lipopolysaccharid, iNOS: induzierbare NO-Synthase, NF-κB: Nuklearfaktor kappa B, AP-1: Aktivatorprotein)



Neuer Firmensitz seit Dezember 2012 im Gewerbegebiet von Freiberg

Freiberg Instruments – Spezialmesstechnik für Nischenmärkte

Kay Dornich

Seit ihrer Ausgründung aus der Fakultät 2 (Chemie und Physik) der TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2005 hat sich die Freiberg Instruments GmbH als Entwicklungs- und Produktionsfirma für Spezialmesstechnik international etabliert. Wir sind Grenzgänger zwischen Wissenschaft und technisch Machbarem.

In den ersten Jahren entwickelten die beiden Gründer, Prof. em. Dr. Jürgen R. Niklas und Dr. Kay Dornich, mit ihrem Team Messtechnik zur kontaktlosen elektrischen Charakterisierung von Halbleitern, wie z. B. zur Messung ihrer Minoritätsträgerlebensdauer. Die Produkte finden Anwendung bei der Entwicklung von Halbleitersubstraten und bei der Qualitätskontrolle in Produktionsprozessen, z. B. bei der Herstellung von Siliciumeinkristallen. In den ersten Jahren nach der Firmengründung wurden die Geräte zumeist an Unternehmen der Solarindustrie geliefert. Momentan wird hauptsächlich Halbleitermesstechnik zur industriemäßigen Orientierung von Einkristallen gefertigt. Dabei kommt



Omega/Theta-Diffraktometer: Halbleitermesstechnik zur industriemäßigen Orientierung von Einkristallen

das sog. Omega-Verfahren realisierende Röntgendiffraktometer zum Einsatz. Diese Geräte erlauben Orientierungsmessungen an Kristallen mit einer Genauigkeit von 0,003° in weniger als 5 s, wofür von Konkurrenten angebotene Geräte 20 min und länger benötigen.

Besonderheiten des Freiburger Teams sind seine hohe Flexibilität, das Tempo bei der Adaption an neue Wachstumsmärkte sowie die ungewöhnliche Entwicklungs- und Fertigungstiefe, die sich von der Konstruktion über die Konzipierung einschlägiger Automatisierungslösungen samt zugehöriger Elektronik – bis hin zur Entwicklung dazu passender Firmware und Bediensoftware erstreckt.

Ab 2007 erfolgten die schrittweise Internationalisierung des Unternehmens und der Aufbau eines globalen Vertriebsnetzes. Weltweit befinden sich inzwischen über 1.000 Geräte aus unterschiedlichen Serien in mehr als 60 Ländern im Einsatz.

Frühzeitig war klar, dass eine hochspezialisierte Messtechnikfirma für ein nachhaltiges Wachstum mehr als ein technologisches Standbein benötigt. Der Schritt von den Halbleitermaterialien hin zu Quarz und Feldspat ist für einen angewandten Naturwissenschaftler ein kleiner, und er eröffnete der Freiberg Instruments GmbH mit der „lexsyg“-Geräteserie einen völlig neuen Markt im Bereich der archäologischen und geologischen Datierung mittels optisch und thermisch stimulierter

Lumineszenz (OSL/TL). Dies ist ein etabliertes Verfahren, das nicht auf 20.000 Jahre alte und dabei noch auf organische Proben wie die weithin bekannte ¹⁴C-Datierung limitiert ist. Mit den Geräten wird nicht nur das Alter von Artefakten unserer frühen Vorfahren von deren vor mehreren hunderttausend Jahren genutzten Wohnplätzen – den heutigen Fundstätten – bestimmt, sondern auch das von Bauwerken aus den letzten Jahrhunderten. Mit der inzwischen erzielten Marktdurchdringung und weltweiten Marktanteilen von über 50 Prozent lässt sich aus unserer Technologieplattform heraus eine Reihe von spezialisierten Lumineszenzmessgeräten und Sondermaschinen für die Materialforschung und die Dosimetrie ableiten. Damit werden unsere Hauptkompetenzen kontinuierlich gestärkt, Firmenwachstum generiert und Arbeitsplätze geschaffen. Zum Kundenstamm gehören namhafte Universitäten wie Oxford, die chinesische Akademie der Wissenschaften in Peking oder die Kunstsammlungen im Pariser Louvre. Das entfernteste unserer Projektfelder ist das Grabensystem auf dem Nordlandeplatz des Mars: Hierfür durfte Freiberg Instruments die für eine wissenschaftliche Vorbereitungsmission benötigte Datierungsmesstechnik entwickeln.

Mit der Entwicklung der erwähnten Lebensalter-Messtechnik hat sich Freiberg Instruments beachtliche Kompetenzen

im Bereich der Hochfrequenzmesstechnik (bei ca. 10 GHz) aufgebaut. Wiederrum darauf aufbauende Messtechniken werden u. a. auch für Elektron Spin Resonanz (ESR)-Messungen benötigt. Seit Gründung der Firma wurden schrittweise immer mehr Hochfrequenzkomponenten verkauft.

Seit 2012 werden für einen früheren Kunden und jetziges Tochterunternehmen (die Magnetech GmbH) ESR-Tischspektrometer vollständig in Freiberg gefertigt. Auf der Basis kontinuierlicher Weiterentwicklung – verbunden mit einer Reihe von Innovationen – kommen inzwischen weltweit die meisten ESR-Tischspektrometer aus der Freiburger Fertigung. Die Hauptanwendungsfelder für diese Geräte liegen in der klassischen Chemie, in der Biochemie sowie auf Gebieten der industriellen Dosimetrie.

Die Erfolge unserer Firma wurden durch eine Reihe von Preisen gewürdigt, durch Auszeichnung z. B. mit dem sächsischen Innovationspreis und 2017 mit dem großen Preis des Mittelstands der Oscar-Patzelt-Stiftung, einem auf Bundesebene renommierten Wirtschaftspreis.

Herzlich bedanken möchte ich mich für die vielfältige Unterstützung durch das Land Sachsen, die Stadt Freiberg, die TU Bergakademie Freiberg und seitens zahlreicher Einzelpersonen bei der Realisierung z. T. sehr unterschiedlicher Projekte!

Interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet der ressourceneffizienten Formgebungsverfahren

Wiebke Berkel

Seit der Aufnahme des vom Freistaat Sachsen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderten Forschungsprojekts „Ganzheitliche Implementierung ressourceneffizienter Formgebungsverfahren“ am 1. Juli 2016 forschen nunmehr acht Nachwuchsforscherinnen aus den Bereichen der Ingenieur- sowie der Wirtschaftswissenschaften auf diesem Gebiet gemeinsam. Das Projekt bezweckt zum einen die Verbesserung der Marktchancen bzw. des technologischen Know-hows für sächsische Mittelstandsbetriebe im Sektor der metallverarbeitenden Industrie. Zum anderen soll dem abzusehenden Führungskräfte-mangel in der Gießerei- und Umformtechnik entgegengewirkt werden.

Die Forscherinnen arbeiten in Zweiertams, die jeweils aus einer Expertin der Ingenieurwissenschaften und einer der Wirtschaftswissenschaften bestehen. Dieser interdisziplinäre Ansatz eröffnet neue Perspektiven der technologischen Entwicklung und fördert darauf aufbauende Innovationsprozesse. Damit reiht sich das Forschungsprojekt schlüssig in die Tradition der TU Bergakademie Freiberg ein und realisiert eine Kooperation der genannten beiden Disziplinen. Die Tandems setzen sich wie folgt zusammen (Tab. 1):

Fokussierung der Wirtschaftswissenschaften auf den Themenbereich

Magnesium ist das leichteste Konstruktionsmetall und ein insbesondere für

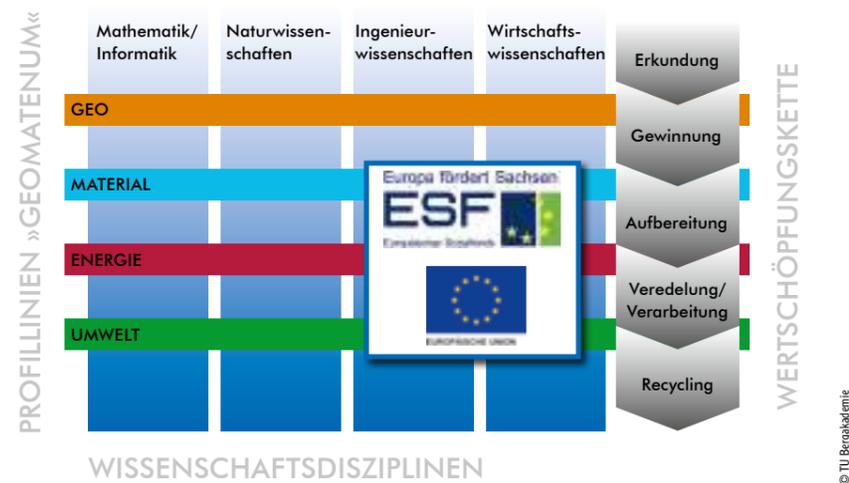


Abb. 1: Blau gerahmt: Interdisziplinäre Nachwuchsforscherinnengruppe im Profil der Universität

die Automobilbranche sehr attraktiver Werkstoff. Das Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg (IMF) entwickelte daher gemeinsam mit der MgF Magnesium Flachprodukte GmbH, einem Tochterunternehmen der thyssenkrupp steel europe ag, eine neuartige Technologie zur Herstellung von Magnesiumband im Zuge eines kombinierten Gießwalzverfahrens. Die Gießwalztechnologie soll nun als Pionieranlage auf die Herstellung von Magnesiumdraht übertragen werden, was eine Weltneuheit wäre. An dieser Entwicklung sind maßgeblich die beiden Tandems A und B beteiligt, wobei sich Sabrina Pflug und Claudia Kawalla

mit der wirtschaftlichen Bedeutung der Gießwalztechnologie sowohl für Mg-Band als auch -Draht auseinandersetzen.

Sabrina Pflug obliegt dabei die Aufgabe, ein Instrument aus dem Bereich des Umweltcontrollings zu entwickeln, das die ökonomische wie auch die ökologische Bewertung einschlägiger Produktionsanlagen ermöglicht. Wesentlich ist dabei eine lebenszyklusorientierte Betrachtung, die auch der Produktion vor- und nachgelagerter Wirkungen berücksichtigt. Als Grundlage zur Entwicklung eines neuen Instruments dienen die Instrumente Ökobilanz, Materialflusskostenrechnung und Life Cycle Costing. Es gilt zu untersuchen, wie diese Instrumente so kombiniert werden können, dass eine integrierte Bewertung von Produktionsanlagen möglich wird. Zudem soll herausgefunden werden, wie sich ökonomische und ökologische Größen zu einer Gesamtbeurteilung verdichten lassen. Im Rahmen ihrer Dissertation soll das zu entwickelnde Instrument als eine Fallstudie auf die Gießwalzanlage zur Herstellung von Magnesiumdraht angewendet werden.

Das wissenschaftliche Bemühen Claudia Kawallas ist der Entwicklung eines wertschöpfungsübergreifenden Qualitätsmanagements für die Herstellung und Verarbeitung von gießgewalzten Magnesium-Halbzeugen gewidmet. Dabei werden Modelle zur Qualitätssicherung eines so hergestellten Magnesiumbands

Tab. 1: Die Tandems und ihre Forschungsschwerpunkte

Tandem	Forschungsthema	Verantwortliche
A1	Entwicklung eines ressourceneffizienten Gießwalzverfahrens zur Erzeugung von Langprodukten aus Magnesiumlegierungen	M.Sc. Heike Wemme (IMF)
A2	Instrumente des Umweltcontrollings – Konzeptionelle Erweiterung und Anwendung am Beispiel von Metallhalbzeugen	M.Sc. Sabrina Pflug (ReCo)
B1	Entwicklung einer technologischen Prozesskette der Wärmebehandlung und des Kaliberwalzens gießgewalzter Magnesium-Langprodukte	M.Sc. Marie Sophie Teuber (IMF)
B2	Wertschöpfungsstufenübergreifendes Prozess- und Qualitätsmanagement der Herstellung und Verarbeitung von gießgewalzten Magnesium-Halbzeugen	Dipl.-Kffr. Claudia Kawalla (IBL)
C1	Technische Bewertung der Niedertemperatur-Abwärmenutzung aus Gießereien	M.Sc. Tanja Ludwig (GI)
C2	Bewertung und Implementierung von Verfahren zur Niedertemperatur-Abwärmenutzung	M.Sc. Wiebke Berkel (IBL)
D1	Innovative Verfahrensentwicklung zur Substitution des Lösungsglühens bei Al-Gusslegierungen	Dipl.-Ing. Franziska Thümmeler (GI)
D2	Ganzheitliche Beurteilung von Prozessinnovationen – Entwicklung eines geeigneten Instruments am Beispiel eines Gießereiverfahrens	M.Sc. Stefanie Ludwig (ReCo)



Abb. 2: (v.l.) Marie Teuber und Claudia Kawalla (Tandem B) sowie Sabrina Pflug und Heike Wemme (Tandem A) vor der Gießwalzanlage zur Herstellung von Magnesiumband am Institut für Metallformung der TU Bergakademie Freiberg

entwickelt. Das Besondere an dieser Forschungsarbeit liegt in der angestrebten Doppelpromotion in einer Zusammenarbeit zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der polnischen Politechnika Śląska in Gliwice. Im Rahmen dieser Doppelpromotion, die die erste ihrer Art im Zusammengehen der genannten polnischen Universität mit der Fakultät 6 der TU Bergakademie sein wird, verbringt Frau Kawalla sechs Monate an der Partneruniversität. Innerhalb dieser Zeit erhält sie die Möglichkeit zu internationalem Austausch von Erkenntnissen, die sich aus den bisherigen Forschungen ergeben – u. a. durch das Halten von Vorlesungen vor einem internationalen Studierendenpublikum sowie zur Erlangung zusätzlicher Kompetenzen durch das Erstellen gemeinsamer Publikationen.

Wiebke Berkel beschäftigt sich in ihrer Forschungsarbeit mit der wirtschaftlichen, technischen sowie ökologischen Bewertung von Abwärme im Niedertemperaturbereich von Gießereien. Hierfür wird mit Hilfe der Software Umberto® NXT Efficiency eine Potenzialanalyse der Energie- und Stoffströme in ausgewählten sächsischen Gießereien erstellt, um fundierte Aussagen über die Möglichkeit energetischer und auf diesem Wege auch wirtschaftlicher Verbesserungen treffen zu können. Dazu wird eine enge Zusammenarbeit mit sächsischen Industriepartnern, z. B. mit der Sächsisches Metallwerk Freiberg GmbH oder der Edelstahlwerke Schmees GmbH, durch die beiden Tandempartner (Berkel, Ludwig) angestrebt. Des Weiteren befindet sich ein Konzept zur ganzheitlichen Bilanzierung wirtschaftlicher, technischer



Abb. 3: ESF-Nachwuchsforschergruppe (links oben bis rechts unten): Dr. C. Wopat, Dr. M. Ullmann, Prof. M. Höck, Prof. G. Wolf, C. Kawalla, H. Wemme, S. Ludwig, T. Ludwig, F. Thümmeler, M. Teuber, S. Pflug, W. Berkel; (nicht abgebildet: Prof. R. Kawalla, Prof. S. Rogler)

sowie ökologischer Aspekte zum Zwecke der Vergleichbarmachung diverser Parameter der Gießereien in Planung.

Stefanie Ludwig, ebenfalls wie ihre drei Kommilitoninnen an der Fakultät 6 tätig, forscht an der ganzheitlichen Bewertung von Prozessinnovationen, wobei vor allem die Anforderungen an die Verfahren in Gießereibetrieben im Fokus stehen. Am Beispiel eines innovativen Verfahrens zur Verarbeitung von Aluminium-Gusslegierungen ist sie dabei, ein Bewertungsinstrument zu entwickeln, das ökologische und ökonomische Aspekte gleichermaßen berücksichtigt. Ziel ist es, bereits in der Phase der Entwicklung Verfahrensinnovationen – gerade im Bereich der Formgebung – zu unterstützen. Dabei werden u. a. Elemente der Portfolio-Analyse sowie aktuelle Erkenntnisse aus dem Bereich der Flusskostenrechnung in die Betrachtungen einbezogen. Die in der Entwicklungsphase einer solchen Innovation vorherrschende Unsicherheit stellt dabei eine besondere Herausforderung dar, deren Überwindung für den Erfolg dieser Forschungsarbeit essenziell ist.

Weitere Vorhaben der Gruppe der ESF-Nachwuchsforscherinnen

Die Forscherinnen sind – wie sich versteht – ständig auf die Entwicklung ihrer Kompetenzen bedacht, wozu bspw. die Teilnahme an GraFA-Kursen (Graduierten- und Forschungsakademie) sowie das Ausarbeiten und Halten von Lehrveranstaltungen gehört. Zudem haben einige der jungen Wissenschaftlerinnen bereits an nationalen und internationalen Konferenzen teilgenommen, wie

z. B. am GOR-IE Workshop „Ansätze des Operations Research und der Industrial Ecology für ein nachhaltiges Ressourcen- und Energiemanagement“ und an der MEFORM „Auf Draht!“ Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Drahtherstellung und -verarbeitung 2017, an der Sächsischen Fachtagung für Umformtechnik 2017 in Dresden, am BHT – Freiburger Universitätsforum 2017 mit eigenem Kolloquium zum Thema „Ressourceneffizienz in der Gießereitechnik“ oder an der METAL-DEFORM 2017 in Samara (Russland). Diese Konferenzen nutzten bereits einige der Nachwuchsforscherinnen für die Präsentation ihrer Forschungsprojekte sowie für das Platzieren von fachlichen Veröffentlichungen. Für das Jahr 2018 sind zudem zwei Veranstaltungen geplant, die von der ESF Nachwuchsgruppe mitorganisiert werden. Hierzu zählt zum einen die MEFORM 2018, die ein separates ESF-Symposium zum Thema „Leichtmetalle und deren Legierungen unter dem Aspekt der Energieeffizienz und der Wirtschaftlichkeit“ veranstalten wird. Zum anderen ist eine Internationale Summer School für September 2018 geplant, die eine Woche lang durch ein abwechslungsreiches und spannendes Rahmenprogramm mit praktischen Anteilen geprägt sein wird.

An dieser Stelle möchten sich alle Nachwuchsforscherinnen noch einmal für die finanzielle Unterstützung durch den Freistaat Sachsen aus Fördermitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) bedanken.

Weitere Hinweise zur ESF-Nachwuchsforschergruppe sowie aktuelle Informationen finden Sie auf unserer Internetseite unter <http://tu-freiberg.de/forschung/forschungsprojekte/projekte/formgebungsverfahren>

Die Rolle der Kultur bei der Prävention von Epidemien

Angelina Böhnisch, Michael B. Hinner, Doris Geburek

Der Forschungsschwerpunkt der Professur für Englische Fachsprache der Wirtschafts- und technischen Wissenschaften liegt im Bereich Business- und Interkulturelle Kommunikation. Welche Rolle Kultur im Zusammenhang mit der Prävention von Epidemien spielt, erforscht Angelina Böhnisch im Rahmen ihrer Dissertation. Hierbei konzentriert sie sich auf den Ebola-Ausbruch 2014/15 und die davon betroffenen afrikanischen Länder Guinea, Sierra Leone und Liberia.

Insbesondere Liberia befindet sich durch die Auswirkungen der jahrelangen Bürgerkriege zwischen 1989 und 2003 immer noch in einer angespannten Situation. Die Kriege hatten verheerende Auswirkungen auf das Land. Die Infrastruktur wurde zerstört und das Humankapital Liberias durch Tod und Flucht dezimiert. Der Ebola-Ausbruch – reichlich zehn Jahre später – brachte die Defizite besonders deutlich zum Vorschein. Armut, soziale Ungerechtigkeit und infrastrukturelle Schwächen werden gemeinhin als die Ursachen für die Verbreitung von Epidemien beschrieben. In der bisherigen Forschung bleibt jedoch meist die Betrachtung der Rolle von Kultur und der von der Kultur geprägten Handlungen in solchen Settings völlig außen vor. Dabei wird bei Angelina Böhnischs Forschung klar: Der Verlust von Menschenleben wurde durch die unglückliche Verquickung des Fehlens von Ressourcen aller Art mit tradierten kulturellen Gegebenheiten vor Ort enorm begünstigt.

Die jeweilige Kultur spielt sowohl bei der theoretischen Betrachtung als auch beim ganz praktischen Umgang mit Krankheiten eine bedeutende Rolle. Kultur als Basis für beinahe jedes Verhalten ist eng an Kommunikation gekoppelt. Im Gesundheitswesen, besonders beim Umgang mit Epidemien, ist effiziente Kommunikation von größter Bedeutung – unabhängig davon, ob es um Vorbeugung, Versorgung oder Nachsorge für die Menschen geht. Neben vielen anderen Informationsinhalten müssen Richtlinien, Diagnosen und Anleitungen für Vorsichtsmaßnahmen

innerhalb einer sehr heterogenen Gruppe von Akteuren (Ärzte, Pflegepersonal, Patienten, Angehörige, lokale Politik, Presse, Bevölkerung ...) kommuniziert werden. Diese Verbindung von Kultur und Kommunikation mit der Schwerpunktlegung auf die Eindämmung von Epidemien wurde in der bisherigen Forschung größtenteils vernachlässigt. Genau hier setzt Angelina Böhnisch an und sieht hierhin ihren Forschungsschwerpunkt.

Die Länder Westafrikas verfügen über sehr komplexe kulturelle Gefüge. Die leitende Forschungsfrage der Dissertation ist, wie im Sinne des Gesagten die Schnittstelle zwischen Kultur und Kommunikation



Traditionelle Heiler erhalten ihre Aufwandsentschädigung nach dem Interview

genutzt werden kann, um die notwendige Kommunikation über Ebola deutlich effektiver zu gestalten – gerade angesichts eines drohenden Epidemie-Ausbruchs, wie er 2014/15 stattfand.

Zu Teilen durch das „YoungGEOMATEUM“-Reisestipendium finanziert, konnte sich die Promovendin im November und Dezember 2016 für vier Wochen ein Bild von der Vor-Ort-Situation in Liberia machen. Der Ebola-Ausbruch betraf Liberia unter den westafrikanischen Ländern am stärksten. Die Wirtschaft Liberias fußt auf dem Abbau von Bodenschätzen wie Gold, Erz und Diamanten und auf der damit verbundenen Industrie. Liberia hat ein hohes Bevölkerungswachstum von 2,1 Prozent pro Jahr [LISGIS, 2016], wobei dies im Vergleich zu anderen westafrikanischen Staaten relativ gering erscheint. Die Amtssprache ist Englisch, doch wird die enorme kulturelle Vielfalt schnell deutlich, wenn

man bedenkt, dass im Land 16 ethnische Gruppen leben, die eine Vielzahl indigener Sprachen sprechen und sehr unterschiedliche kulturelle Praxen pflegen.

Das Hauptkommunikationsmittel in Liberia, das einen Großteil der Bevölkerung erreicht, ist das Radio. Soziale Netzwerke werden nur von einem kleinen Teil der urbanen Bevölkerung in der Hauptstadt Monrovia genutzt. A. Böhnisch traf sich in den vier Wochen ihres Forschungsaufenthalts mit einer Vielzahl von Betroffenen und Akteuren, um Interviews mit bestimmten Fokusgruppen zu führen. Journalisten, Politiker und Vertreter von NGO zählten ebenso zu ihren Kontaktpersonen wie Überlebende einer Ebola-Infektion.

Für eine Vielzahl gesellschaftlicher Probleme, darunter auch beim Umgang mit Krankheiten, wird in der liberischen Gesellschaft oftmals auf spirituelle Erklärungen gesetzt, die ihre Wurzeln in den traditionellen afrikanischen Religionen haben. Deswegen gehörten auch Treffen und Gespräche mit traditionellen Heilern zu den Programmpunkten der Forschungsreise. Die Interviews und die Kontakte mit Fokusgruppen lieferten Einblicke aus erster Hand zu Fragen des Umgangs mit einer Ebola-Epidemie und zu den besonderen Herausforderungen, die sich aus einer solchen Situation ergeben. Diese Einblicke können nun genutzt werden, um an die jeweilige Kultur angepasste Kommunikationsmodelle zu entwickeln, die helfen sollen, Epidemien auch in kultur-spezifischen Umgebungen unter Kontrolle zu halten. Erste Ergebnisse dieser spannenden und wegweisenden Forschung wurden bereits im Rahmen des BHT 2017 vorgestellt und auch auf der Afrika-Konferenz der TU Bergakademie Freiberg im November ein Beitrag hierzu präsentiert.

Während der Zeit der Datenerhebung für ihre Forschung traf sich Böhnisch mit Dekanen und Forschern verschiedener Fakultäten der University of Liberia, um das Potenzial einer Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg zu erörtern. Die Bereitschaft dazu von Seiten der University of Liberia ist erfreulicherweise hoch. So wurde während des Aufenthalts im Land nicht nur recherchiert, sondern auch ein aktiver Beitrag zum Ausbau der internationalen Beziehungen und des Forschungsnetzwerks der TU Freiberg geleistet.

IMRE – Überarbeitung eines erfolgreichen Studienprogramms für die Zukunft

J. C. Bongaerts, M. Fröhling, N. Gurita, C. Kawalla

Abstract

18 Jahre nach seiner Einführung wurde der erfolgreiche Studiengang „International Management of Resources and Environment (IMRE)“ grundlegend überarbeitet. Ziel war dabei, auch in den Folgejahren ein interessantes und zukunftsweisendes Programm anzubieten und gleichzeitig Probleme, wie sie etwa durch das Ausscheiden für das Programm wesentlicher Personen entstanden sind, zu lösen. Der vorliegende Beitrag stellt den Studiengang und dessen Entwicklung vor und beschreibt die durchgeführte Studiengangsreform. Der Artikel schließt mit der Darlegung erster Erfahrungen zum überarbeiteten Programm und skizziert mittel- bis langfristige Maßnahmen zu dessen Weiterentwicklung.

Einführung und Entwicklung des Studiengangs

Nach einiger Vorbereitungszeit wurde im Jahr 1999 an der TU Bergakademie Freiberg der Master of Business Administration- (MBA-)Studiengang International Management of Resources and Environment (IMRE) eingerichtet, der auf internationale Studienbewerber zielt, die eine wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung in den Bereichen Energie, Ressourcen und Umwelt anstreben. Zum Beginn des Wintersemesters 1999/2000 war es zunächst nur ein Bewerber aus China, der rechtzeitig Freiberg erreichte. Im Laufe des Semesters nahmen weitere neun Interessenten ihr Studium auf – und es gelang in den Folgejahren, die Studierendenzahlen deutlich zu steigern. Heute ist IMRE ein gut etabliertes, erfolgreiches und international wahrgenommenes Programm im Profilbereich der TU Bergakademie. In den letzten Jahren lagen die Einschreibezahlen bei ca. 30 Studierwilligen. Derzeit sind ca. 130 junge Leute für IMRE eingeschrieben.

Die Studierenden kommen zum weitaus größten Teil aus dem Ausland, viele davon aus Entwicklungs- und Schwellenländern (vgl. Abb. 1). Auch der fachliche Hintergrund der Studierenden ist sehr heterogen. So haben die meisten von ihnen einen ersten Abschluss im Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Die Verknüpfung dieses Hintergrunds mit dem spezifischen Profil des Studiengangs soll die späteren Absolventen zur Übernahme

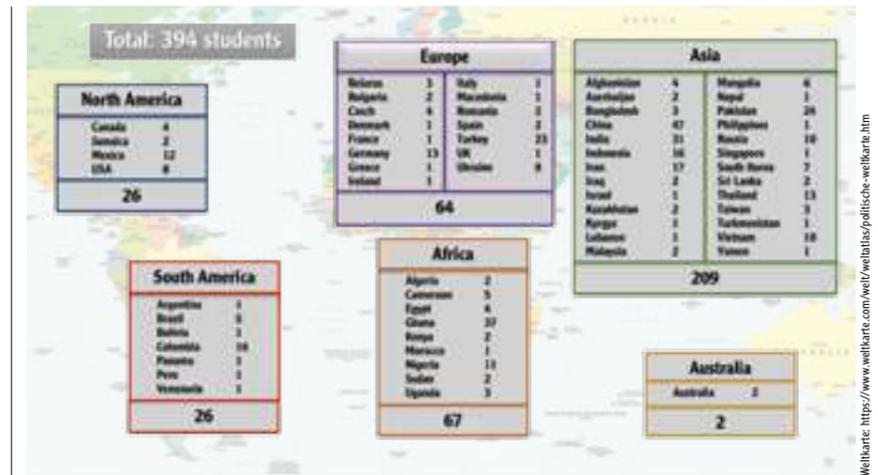


Abb. 1: IMRE-Studierende – nach Herkunftsländern

von Fach- und Führungspositionen in Unternehmen, Forschungseinrichtungen, staatlichen und nicht-staatlichen Organisationen befähigen.

Es ist Leitidee des Studiengangs, dass gerade Absolventen mit einem solchen interdisziplinär und interkulturell geprägten Profil Beiträge zur Lösung globaler Herausforderungen, wie denen des Klimaschutzes, einer nachhaltigen Energie- und Rohstoffversorgung und einer nachhaltigen Entwicklung im Allgemeinen leisten können. Dies soll für Deutschland, aber auch international, insbesondere für ihre Herkunftsländer, von Nutzen sein. Natürlich generiert dieses Profil aber auch enorme Herausforderungen für die Ausbildung, wie im Folgenden noch näher zu beschreiben sein wird.

Für die Studierenden bedeutet IMRE zudem auch eine persönlich prägende Zeit. Viele von ihnen bleiben auch über die Studienzeit hinaus mit ihren Kommilitonen, mit der Bergakademie und mit Deutschland eng verbunden. Um dies zu fördern, wurde bereits 2003 ein Alumni-Netzwerk gegründet, unter dessen Ägide über die Jahre mittlerweile zwölf Alumni-Konferenzen, etwa in China, Ghana, Indonesien, Mexiko und – nicht zuletzt – in Freiberg abgehalten wurden.

An einer Weggabelung (2015/2016)

Trotz aller Erfolge kam der Studiengang 2015/16 an eine Weggabelung, die eine grundlegende Überarbeitung des

Studienprogramms notwendig machte. Über die Jahre waren mit dem Ausscheiden verschiedener haupt- und nebenamtlich Lehrender Probleme auf Seiten des Lehrangebots entstanden. So wurde es schwierig, einige der vorgesehenen Fächer anzubieten, da es nicht für alle der ausgeschiedenen Lehrkräfte thematisch passenden Ersatz gab. Dies kommt zwar in vielen Studiengängen vor, führte aber natürlich zu Unzufriedenheit unter den Studierenden, die ihren erfolgreichen Studienabschluss gefährdet sahen.

Gleichzeitig gab es auch auf Seiten der Lehrenden Unzufriedenheit über die Studienleistungen, da sie in einem Master-Studiengang vielfach keine einschlägigen Vorkenntnisse voraussetzen konnten und nicht alle Studierenden das eigenständige wissenschaftliche Arbeiten beherrschten. Zudem standen mitunter personelle Veränderungen an, etwa die Pensionierung des langjährigen Studiendekans und Prüfungsausschussvorsitzenden, der den Studiengang über lange Jahre mit viel Engagement geprägt hatte.

Um allen diesen Punkten zu entsprechen, wurde das Programm umfassend überarbeitet. Aus einer Standortanalyse wurden daher zunächst kurzfristig zu berücksichtigende Maßnahmen abgeleitet. Danach wurden auch Maßnahmen identifiziert, die im Zuge einer Weiterentwicklung des Programms berücksichtigt werden sollten. Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse der Standortanalyse,

die kurzfristig umgesetzten Maßnahmen sowie erste Erfahrungen mit dem reformierten Studiengang und schließlich mittel- bis langfristige Entwicklungsfelder aufgezeigt.

Ergebnisse aus der Standortanalyse

Ausgangspunkt für die Überarbeitung des Studiengangs war eine Standortanalyse. Hierbei wurden zunächst einmal die Studiendokumente geprüft sowie zahlreiche Gespräche mit Studierenden und Lehrenden geführt. Basierend auf den daraus resultierenden Erkenntnissen wurde eine Online-Umfrage gestartet, die sich an aktuell Studierende, an Alumni und an Lehrende richtete. Die Online-Befragung zielte darauf ab, einen möglichst umfassenden Überblick zu erhalten – über positive Aspekte, die beizubehalten und ggf. zu stärken sind, wie auch über etwaige Probleme und sich anbietende Verbesserungsansätze.

Die Umfrage wurde zwischen dem 21. Februar und dem 31. März 2016 (Alumni und Studierende) bzw. dem 30. April 2016 (Lehrende) durchgeführt. Teilgenommen haben 30 von 45 in der Plattform OPAL registrierten Studierenden, 21 von 215 angefragten Alumni sowie 12 von 17 angefragten Lehrenden (neun Professoren, drei Mitarbeitende). Im Folgenden hier die wesentlichen Ergebnisse:

Es zeigte sich, dass die überwiegende Anzahl der Alumni und Studierenden mit den Studienbedingungen und dem Programm als solchem zufrieden sind.

Die Alumni beurteilten das IMRE-Programm als eine sie für ihre persönliche, berufliche und akademischen Entwicklung nachhaltig prägende Komponente. Die Inhalte des Programms wurden als auf sie zugeschnitten empfunden. Darüber hinaus stellten sie heraus, dass im Zuge des Programms reale, praxisrelevante Probleme behandelt werden. Die Qualität des Programms, der Lehre und insbesondere die Vorbereitung auf den Berufseinstieg wurden marginal schlechter beurteilt, auch wenn (inkl. der dritten Bewertungskategorie „good“) auch im schlechtesten Fall noch mehr als 60% Zustimmung erreicht wurden (bei fünf Antwortmöglichkeiten: „excellent“ bis „poor“).

Eine hohe Zustimmungsquote zum Programm und seinen Inhalten geht auch aus den Ergebnissen der Studierendenbefragung hervor. Hinsichtlich der Lehrmethoden und der Vorlesungen waren die Studierenden jeweils zu mehr als 50% vollständig oder in der Tendenz mit den

Inhalten und Zielen des Programms zufrieden (vier Antwortmöglichkeiten „fully agree“ bis „disagree“). Während die Kompetenz der Lehrenden als sehr hoch eingestuft wurde (80% volle/tendenzielle Zustimmung) waren diese Werte bezüglich der Fähigkeit einer einfachen bzw. verständlichen Vermittlung komplexer Sachverhalte geringer (57% bzw. 67%). Hinsichtlich ihrer Erwartungen an das Programm sahen sich 60% der Studierenden voll bzw. in der Tendenz bestätigt. Ein Grund für die hier etwas geringere Bewertung ist der Wunsch nach einer stärkeren Management-Orientierung. Demgegenüber findet die Behandlung der Umwelt- und Ressourcenmanagement-Inhalte starke (80% volle bzw. tendenzielle) Zustimmung.

Eine gewisse Unzufriedenheit mit dem Programm wurde aus der Befragung der Lehrenden deutlich. Diese wurden u. a. nach ihren Zielen in der Lehre und deren Erreichung im Sinne des Programms gefragt. Aus den Antworten geht hervor, dass die Lehrenden es überwiegend als nicht möglich ansahen, speziell die höher gewichteten Ziele (etwa Forschungsorientierung und aktivierendes Lehren) zu erreichen. Zudem wurde das Leistungsniveau der Studierenden recht kritisch beurteilt (nur 8% gut, 25% befriedigend, 50% ausreichend, 17% unzureichend). Als Hauptgründe hierfür wurden zum einen das Fehlen von für den Studiengang wichtigem ökonomischem Vorwissen (90%) und zum anderen nachrangig die nicht hinreichende Beherrschung mathematischer und wissenschaftlicher Arbeitsweisen (25 bzw. 17%) benannt.

An Fähigkeiten auf Seiten der Studierenden wurden vor allem vermisst: die Fähigkeit zu kritischer Problemanalyse und unabhängigem wissenschaftlichen Arbeiten (jeweils 92%), das Ausdrucksvermögen in schriftlichen Arbeiten (75%) die Fähigkeiten zur Planung und Selbstorganisation des Studiums (67%).

Eine untergeordnete Rolle in der Beurteilung spielte das freie Sprechen in den Kursen (25%). Es wurde auch nach zwei Charakteristiken der Studiengruppen gefragt: nach der Rolle der kulturellen Diversität der Studierenden und nach der Heterogenität ihres Vorwissens. Hier zeigt sich, dass beides nur in geringem Maße einen (bedingt) positiven Einfluss auf die Leistung der Studierenden hat (33 bzw. 8%) und eher als (bedingt) hinderlich angesehen wird (67 bzw. 84%).

In weiteren Gesprächen stellten sich

ferner als wesentliche kritische Faktoren heraus: der hohe administrative Aufwand, mit dem das Programm betrieben wurde, und eine (gewünscht) weitergehende inhaltliche Profilierung des Programms.

Schlussfolgerungen aus der Standortanalyse: Schwerpunkte der Programmrevision

Um das Programm sowohl hinsichtlich seiner administrativen Umsetzung sowie in den Bereichen der Lehrqualität und Studienleistungen zu verbessern, wurde beschlossen, eine zweistufige Weiterentwicklung zu verfolgen. Im Zuge der (mittlerweile durchgeführten) Programmrevision sollten unmittelbar dringliche Maßnahmen möglichst sofort realisiert werden. Verschiedene darüber hinausgehende Aspekte, die nur langfristig und im Schulterschluss der Lehrenden mit den Studierenden verändert werden können, sollten in einem zweiten Schritt angegangen werden. Die Maßnahmen der ersten Phase werden nachfolgend beschrieben, und sodann die der zweiten Phase kurz skizziert.

Profilierung und organisatorisch-administrative Harmonisierung mit anderen Studiengängen

Die beiden englischsprachigen Studiengänge IMRE und International Business in Developing and Emerging Markets (IBDEM) an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften wurden im Zuge zeitgleich durchgeführter Programmreformen schärfer profiliert, gleichzeitig aber organisatorisch und administrativ miteinander harmonisiert. Innerhalb der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften sollen beide Studiengänge management-orientierte internationale Studierende bedienen.

Während IMRE hier vorwiegend auf Umwelt-, Energie- und Ressourcenthemen abzielt, liegt der Schwerpunkt von IBDEM auf internationalem Management, insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern. IMRE richtet sich vornehmlich an Studierende, die einen fachlichen Hintergrund (d. h. mindestens einen Bachelor-Abschluss) im Bereich der Natur- oder der Ingenieurwissenschaften haben, während IBDEM für Studierende mit einem wirtschaftswissenschaftlichen Bachelor-Abschluss gedacht ist.

Um beide Studiengänge zu harmonisieren, wurden administrativ gesehen weitgehend einheitliche Studien- und Prüfungsordnungen erarbeitet sowie gleiche Zulassungsvoraussetzungen und

Zulassungsverfahren geschaffen. Ferner wurden die zugehörigen Gremien (die Studien- und die Prüfungskommissionen) personell einheitlich besetzt; diese werden zukünftig auch gemeinsam tagen.

Veränderung der Zulassungsvoraussetzungen

Um den Problemen des Leistungsvermögens und des nicht nicht immer ausreichenden Vorwissens der Studierenden zu begegnen, werden zwei Ansätze verfolgt. Einerseits sollen durch geänderte Zulassungsvoraussetzungen gezielter wirklich geeignete Studierende gewonnen werden. Andererseits sollen die ausgewählten und bereits eingeschriebenen Studierenden besser darin unterstützt werden, die geforderten Studienleistungen zu erbringen (vgl. nächster Unterabschnitt). Bei den Zulassungsvoraussetzungen wurde daher eine moderate Erhöhung der mindestens zu erzielenden Testergebnisse bei den englischen Sprachkenntnissen vorgesehen. Dabei handelt es sich aber lediglich um eine Angleichung an das in den anderen Studiengängen übliche Niveau sowie um eine Anpassung an die im Laufe der Zeit besser werdenden Ergebnisse.

Zentrale Neuerung ist die Forderung eines Nachweises der sprachlichen, quantitativen und analytischen Fähigkeiten der Studienbewerber über international anerkannte Testverfahren (GMAT/GRE). Hier wird Rückäußerungen der Lehrenden entsprochen, die insbesondere im analytischen Denkvermögen und im Niveau der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit Probleme beim Gros der Studierenden sehen. Daneben werden nach wie vor weitere Kriterien – z. B. Motivationsschreiben,

Notenspiegel und bisherige Berufserfahrung – zur Qualifikationsfeststellung herangezogen.

Inhaltliche Neugestaltung des Studiengangs

Bei der inhaltlichen Neuausrichtung des Studiengangs wurde versucht, besser auf die heterogenen und interkulturell bedingt unterschiedlichen Vorkenntnisse der Studierenden einzugehen. Wichtig ist dabei, diese nicht als Defizitfaktoren anzusehen. Die Studierenden sollen zwar so schnell wie möglich ihnen noch fehlende Kenntnisse erwerben können, gleichzeitig aber soll die Heterogenität der kulturellen Hintergründe bewusst genutzt werden, wengleich dies ein Aspekt der mittel- bis langfristigen Weiterentwicklung des Studiengangs ist. In der neuen Studien- und Prüfungsordnung wurden die Pflichtmodule daher dahingehend definiert, dass die Studierenden gezielt bei ihren heterogenen fachlichen Vorkenntnissen abgeholt werden. Die Grundlagenmodule in Volkswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftslehre, Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement sowie Recht sollen die Brücken zu den vertiefenden Kursen auf Master-Niveau schlagen: Nachdem diese Module in den ersten zwei Semestern absolviert sind, sollten die Studierenden in der Lage sein, weiterführende Veranstaltungen auf Master-Level erfolgreich zu absolvieren.

Während die genannten Module im Wesentlichen bereits existieren, gibt es auch neue, auf ihnen aufbauende Module, die Schlüsselkompetenzen betreffen. Hierzu werden die Studierenden durch eine Vorlesung im ersten Semester, ein

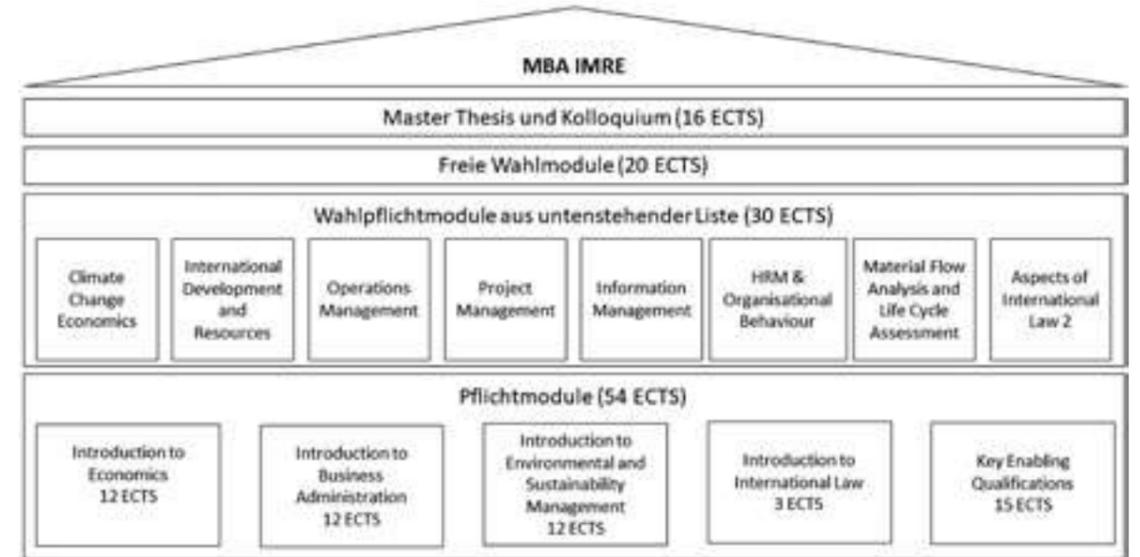
Seminar im zweiten sowie eine Projektarbeit im dritten an das eigenständige wissenschaftliche Arbeiten herangeführt – ein seitens der Lehrenden häufig kritisch thematisiertes Problem. Auf diese Weise sollen die Probleme, die durch die Vielfalt der fachlichen und kulturellen Hintergründe der Studierenden bedingt sind, gelöst und auch die Verständlichkeit der Studieninhalte für die Studierenden verbessert werden.

Im Rahmen der Verfügbarkeit von Wahlpflichtmodulen haben die Studierenden dann die Möglichkeit, aus einem Angebot von acht Veranstaltungen auswählend individuell erste Schwerpunkte – etwa in den Bereichen der VWL, BWL, des Umwelt- und Ressourcenmanagements oder des Rechts – zu setzen.

Darüber hinaus sind 20 ECTS-Punkte in freien Wahlmodulen zu absolvieren. Hierzu zählen für Studierende, die eine andere Muttersprache als Deutsch haben, Deutschkurse im Umfang von acht ECTS, aber auch zwölf ECTS, die aus Veranstaltungen der Fakultät 6, anderer Fakultäten der Bergakademie oder von einer Partnerhochschule stammen. Insofern wurden die Wahlmöglichkeiten der Studierenden sowohl im Wahlpflichtbereich (bislang sechs ECTS) als auch im freien Wahlbereich (bislang 15 ECTS) deutlich erweitert, um Spielraum für eine individuelle Schwerpunktsetzung zu schaffen. Dieser bleibt jedoch durch die an der TU Bergakademie bislang etablierten englischsprachigen Veranstaltungen ein Stück weit begrenzt. Abgeschlossen wird das Studium durch eine Masterarbeit mit 16 ECTS.

Abbildung 2 veranschaulicht den Aufbau des Studiengangs.

Abb. 2: Schematische Darstellung des neuen Curriculums (vereinfacht)



Erste Erfahrungen und Ausblick für die mittel- bis langfristige Weiterentwicklung

Die ersten Erfahrungen mit dem überarbeiteten Studiengang sind sehr positiv. Ohne dass man schon ein weiteres Mal Studierende und Lehrende befragt hätte, gab es bereits überwiegend sehr positive Rückmeldungen seitens der Studierenden und Lehrenden. Nach den eingegangenen Rückmeldungen zu urteilen, schätzen die Studierenden die klare Struktur des Programms und die Wahlmöglichkeiten. Sie sehen, dass sie nun gezielter auf das hingeführt werden, was sie im Rahmen ihres Studiums leisten sollen, insbesondere hinsichtlich des eigenständigen wissenschaftlichen Arbeitens. Ein Stück weit zeigt sich diese positive Resonanz auch daran, dass zahlreiche Studierende (20) aus der alten Prüfungs- und Studienordnung in die neue gewechselt sind. Allerdings erweisen sich die Änderungen für höhere Semester, egal ob diese nun in der alten Studien- und Prüfungsordnung bleiben oder in die neue gewechselt sind, bisweilen als schwierig. Angepasste Studieneinheiten sowie strukturelle Verschiebungen zwischen Pflicht-, Wahlpflicht- und freien Wahlmodulen werfen hier bisweilen administrative Probleme auf.

Auch von Seiten der Lehrenden ist das erste Feedback zur Studiengangsreform sehr positiv, wenngleich sich erst mittelfristig zeigen wird, ob die seitens der Lehrenden kritisch thematisierten Probleme durch die Reform gelöst werden könnten.

Wie schon beschrieben, kann die bisher durchgeführte Reform des Studiengangs nur ein erster Schritt sein. Es verbleiben auch für die weitere Entwicklung des Studiengangs Problembereiche, in denen das Programm weiterentwickelt und verbessert werden kann. Dies beginnt mit der Frage, wie die neuen Studierenden besser auf das Studium in Freiberg vorbereitet werden könnten. Hier sollen zusätzlich zum Tutoren-Programm des Internationalen Universitätszentrums (IUZ) Vorbereitungskurse speziell für internationale Studierende angeboten werden.

Außerdem soll das Curriculum kontinuierlich verbessert werden. U. a. wäre eine weitergehende Bündelung der Pflichtkurse in der BWL möglich. Derzeit besteht dieser Lehrstoffkomplex aus vier einzelnen Modulen mit diversen Lehrenden und je drei Leistungspunkten. Die Schaffung größerer Einheiten zu je sechs Leistungspunkten wäre wünschenswert, analog zur vereinfachten Darstellung in

Abbildung 2. Hierdurch würde den Lehrenden die Möglichkeit gegeben, während des Semesters vertieft mit den Studierenden zu arbeiten. Zudem würde dies die Möglichkeit einer Harmonisierung mit den Bereichen der Volkswirtschaftslehre sowie des Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagements eröffnen. Auch eine Ausweitung des Lehrangebots im Bereich der Wahlpflichtfächer und der Freien Wahlmodule wäre angezeigt, auch um dem Wunsch der Studierenden nach mehr management-orientierten Veranstaltungen nachzukommen. Dies ist jedoch abhängig vom Angebot an dazu passenden englischsprachigen Lehrveranstaltungen.

Sowohl hinsichtlich des Lehrangebots wie auch zwecks Reduzierung des administrativen Aufwands wird eine Kooperation mit den weiteren englischsprachigen Studiengängen der Bergakademie angestrebt. Wenn es durch die Studiengangsreform und deren Weiterentwicklung hoffentlich gelingt, die Probleme zu lösen, die der Heterogenität des fachlichen und kulturellen Hintergrunds der Studierenden geschuldet sind, ist auch die Nutzung dieses Schatzes ein sehr wichtiges Ziel und eine Herausforderung, die auf allen Ebenen – sowohl in den einzelnen Lehrveranstaltungen als auch für den Studiengang insgesamt gemeistert werden muss.

Es bietet sich die Möglichkeit interdisziplinären Arbeitens und des gezielten Erwerbs von Informationen zu bspw. Entwicklungs- und Schwellenländern aus erster Hand, und es gilt, diese Möglichkeit – sowohl in den einzelnen Lehrveranstaltungen als auch für den Studiengang insgesamt – wahrzunehmen. Gelingt dies, könnten die Studierenden zu wirklichen Problemlösern für zentrale

Herausforderungen unserer Zeit und der Zukunft herangebildet werden.

Für den Studiengang wird in Zukunft auch das Marketing ein zentrales Arbeitsfeld sein. Zum einen soll dadurch das Profil weiter geschärft werden, um ein entsprechendes Branding zu erzielen. Zum anderen soll diese „Marke“ dann gezielt beworben werden, um attraktiver für besser motivierte, möglichst exzellente Studierwillige zu sein. Einer der Ansatzpunkte hierfür ist die Pflege und Weiterentwicklung der Beziehungen zu Partneruniversitäten, aber auch die Gewinnung neuer Partner weltweit. Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund ist die Frage zu klären, ob nach Ablauf des Akkreditierungszeitraums für den Studiengang eine Re-Akkreditierung angestrebt werden soll.

So sind hoffentlich die Weichen für eine positive Weiterentwicklung des Studiengangs in der Zukunft gestellt. Diese Entwicklung fortzuführen, wird eine herausfordernde, große Aufgabe sein.

Danksagung: Die Autoren möchten an dieser Stelle sehr herzlich allen danken, die an der Überarbeitung und Weiterentwicklung des Studiengangs mitgewirkt haben. Hier sind vor allem die Alumni, die Studierenden, die Lehrenden, die Mitglieder des Fakultätsrats und die weiteren in diese Aufgabe involvierten Gremien zu nennen.

Kontakt:

Studienfachberatung | expert advice
 Studiendekan | Dean of IMRE
 Prof. Dr. Magnus Fröhling
 Schloßplatz 1
 Freiberg 09599
 phone: 03731 39-2739
 fax: 03731 39-3799
 IMRE@bwl.tu-freiberg.de



Abb. 3: Die Studienanfänger der Studiengänge IMRE und IBDEM im Wintersemester 2017/2018

© TU Bergakademie Freiberg/Forsten Mayer



© Jörg Matschullat

Der Standort

An der TU Bergakademie Freiberg steigen seit 1993 die Studierendenzahlen in den Natur- und Ingenieurwissenschaften nahezu stetig. Dafür bietet die Campus-Universität am Rand der mittelalterlichen Kulisse Freibergs eine eher familiäre Atmosphäre und äußerst kurze Wege. In nationalen und internationalen Rankings und Evaluationen positioniert sich die Alma Mater Freibergensis mit deutlich überdurchschnittlicher Studierzufriedenheit und einem der höchsten Drittmittelauflagen pro Professor aller deutschen Universitäten. Zugleich ist diese Wiege der deutschsprachigen Geowissenschaften und Mutter des Begriffs der Nachhaltigkeit (AD 1713) durch den Oberberghauptmann Hans-Carl von Carlowitz einer der starken Geo-Standorte weltweit.

Vor diesem Hintergrund im Jahr 1996 nach (modifiziertem) Bayreuther Vorbild gegründet, entwickelte sich der Studiengang Geoökologie in Freiberg dank des bis heute überdurchschnittlichen Engagements von Lehrenden und Studierenden(!) sowie der breiten geowissenschaftlichen Basis zu einem der erfolgreichsten sowohl an der eigenen Universität als auch im deutschsprachigen Angebot. Wir sind ehrgeizig und erwarten dies auch von unseren Studierenden.

Seit dem WS 2007/08 wird der konsekutive Bachelor-Master-Studiengang Geoökologie (6 + 4 Semester) angeboten;¹ der Diplomstudiengang ist inzwischen ausgelaufen. Mit dem Wintersemester 2009/10 startete der Master-Studiengang (Abb. 3 und 4). Doch schon seit 1996 konnte in Freiberg ein Bachelorabschluss gemacht werden – eine Option, die vor allem von

1 http://www.tu-freiberg.de/zuv/vw/amt/bek/2007/ba_goe_k_po_so_ausfertigung-1.pdf

Studierenden wahrgenommen wurde, die in angelsächsischen Ländern einen Master of Science und oft ein PhD-Studium anschließen wollten – und dies mit großem Erfolg auch taten. Das heutige konsekutive Studium unterscheidet sich jedoch wesentlich von dem des damaligen Bachelor, weil die Modularisierung nahezu aller Studiengänge zu einer vollständigen Umorganisation im Sinne des Bologna-Prozesses geführt hat. Die damit verbundenen Vor- und auch Nachteile werden an anderer Stelle ausführlicher diskutiert.²

Die erwähnte Studierzufriedenheit, die explizit für die Geoökologie konstatiert ist, beruht nicht nur auf dem sehr guten Betreuungsverhältnis. Kleine Arbeitsgruppen und eine exzellente Infrastruktur bieten Vorteile, die unsere Studierenden spätestens bei den hochschulinternen Praktika bemerken (die TU Bergakademie Freiberg hat eine mehrfach preisgekrönte Universitätsbibliothek; gut ausgestattete Laboratorien und Freiland-Experimentalflächen für die Atmosphären- und Klimaforschung, für Biologie und Ökologie sensu strictu, für Chemie und Physik, Geochemie, Hydrologie und Hydrogeologie, für Mikrobiologie usw.) Alles ist auf dem Stand der Technik und wird kontinuierlich weiterentwickelt.

Eine Technische Universität ist heute nicht mehr unbedingt eine Männerdomäne. So hat sich der Anteil von Frauen auch in den technischen Fächern kontinuierlich gesteigert. Im Fach Geoökologie liegt der Anteil von Studentinnen seit Jahren bei ca. 60 Prozent. Schließlich soll nicht verschwiegen werden, dass der vom Studentenwerk betriebene Kindergarten Studierenden mit kleinen Kindern manche Sorge nimmt.

2 Z.B. im Forum Geoökologie 18, 1; 2007.

Das Studium



© Jörg Matschullat

Abb. 1: Vordergrund: Bodengasmessungen mit dem SEMACH-FG Kammer-System in einem Sekundärwald in Amazonas, Brasilien; im Hintergrund Bodenprobenahme

Dank der guten Zusammenarbeit der sechs bundesdeutschen Studienorte für Geoökologie und deren Kooperation im Rahmen der „Hochschulkonferenz Geoökologie“ gibt es eine gemeinsame Definition von Mindeststandards, denen das Studium in dieser Fachrichtung genügen muss – und auch die Sicherheit für alle Studierenden, ohne Zeitverlust zwischen den Studienorten wechseln zu können. Mit der entsprechenden Einigung ist u. a. verbunden, dass eine nahezu identische Zahl von Semesterwochenstunden für die einzelnen Fächer (jetzt in Modulen organisiert) angeboten wird. Somit bleibt es – wie zu Zeiten des Diplomstudiengangs – formal unwesentlich, an welchem Ort das Studium aufgenommen wurde bzw. wird. Im Detail jedoch gibt es aber durchaus wesentliche Unterschiede, so dass den Studierwilligen nur empfohlen werden



Abb. 2: Mikroskopie am Strand von Akita, Honshu, Japan, um Abfallpartikel zu identifizieren

kann, sich die einzelnen Angebote genau anzusehen und zu erkunden, wo es den Einzelnen evtl. interessanter anmutende Offerten gibt.

In jedem Fall lohnt sich vorab ein Besuch der einschlägigen Hochschulen, um in Sondierungsgesprächen mit dort Studierenden und Lehrenden einen genaueren Eindruck von der jeweiligen Universität zu bekommen und eine begründete Entscheidung fällen zu können. Bleibt dies auf der Ebene der Bachelorausbildung noch von eher geringerer Bedeutung, so hat dieser Aspekt deutlich mehr Gewicht für das Masterstudium, bei dem erkennbare und spannende Unterschiede zwischen den diversen Studieneinrichtungen festzustellen sind (Schwerpunktsetzung, Vertiefungen, Infrastruktur, „Philosophie“, etc.).

Eine nicht zu vernachlässigende kleine Freiburger Besonderheit ist der Verein der Praxis-Partner, eine Interessengemeinschaft von Industrieunternehmen, Ingenieurbüros und anderen – ggf. privaten – Firmen, Stiftungen, Forschungszentren, Behörden und Einrichtungen der regionalen Wirtschaft sowie von Einzelpersonen. Dieser Verein unterstützt das Geoökologiestudium an unserer Universität, bietet Praktikumsplätze (und oft mehr) und unterstützt fachliche Vorhaben einzelner Studierender sowie auch Exkursionen. Einmal im Jahr verleiht der Verein den begehrten Hans-Carl-von-Carlowitz-Preis für die beste umweltbezogene Qualifizierungsarbeit mit besonderer Betonung des Nachhaltigkeitsaspekts.

Zu all dem empfiehlt sich die zauberhafte Freiburger Altstadt mit ihrem Erzgebirgsumfeld als attraktiver Studienort – nicht nur für Natur- und Kulturliebhaber, sondern auch für Neugierige und Entdecker. Denn außer mit der Nähe zu unseren Nachbarn und Fachkollegen in Polen und in der Tschechischen Republik

punktet die Bergakademie Freiberg mit einem in Jahrhunderten gewachsenen internationalen Netzwerk von Beziehungen, das unseren Studierenden hilft, ihre Praktika möglicherweise im Ausland zu absolvieren und dort auch den Berufseinstieg oder Gelegenheiten zu weiterführender Qualifizierung zu finden.

Studienorganisation für den B.Sc. in der Fachrichtung Geoökologie

Das Bachelor-Studium in einer Regelstudienzeit von sechs Semestern und während dieser Zeit zu erbringenden 180 Leistungspunkten (LP) ist in drei Teile gegliedert: 1) in eine Orientierungsphase im 1. und 2. Semester, 2) in eine Eignungsphase im 3. und 4. Semester mit einem mindestens 4-wöchigen Betriebspraktikum sowie 3) in eine Vertiefungsphase im 5. und 6. Semester, einschließlich der Bachelor-Arbeit und einer aktiven Teilnahme an einem Kolloquium. Insgesamt umfasst dieses Studienangebot 29 Pflichtmodule (165 LP einschließlich der Bachelorarbeit mit 12 LP), fünf Wahlpflichtmodule (6 LP fachübergreifend, allgemein und persönlichkeitsbildend) und weitere, freie Wahlmodule (9 LP), Abb. 3.

Das Studium beginnt in der Regel im Wintersemester (Anfang Oktober). Wir bemühen uns jedoch auch um individuell zugeschnittene Studienpläne für Interessenten, die ihr Studium im Sommersemester aufnehmen wollen. Während der Orientierungsphase ist es einfach, den Studiengang ohne Zeitverlust ggf. zu wechseln, wenn jemand feststellt, doch lieber ein anderes Fach studieren zu wollen. Die Bachelorarbeit und sonstige schriftliche oder mündliche Präsentationen können

in deutscher oder in englischer Sprache vorgelegt bzw. vorgetragen werden. Herausragende Bachelor-Studierende haben die Chance, mit einem zusätzlichen „Pufferjahr“ direkt in ein Promotionsstudium einzusteigen.

Studienorganisation für den M.Sc. in der Fachrichtung Geoökologie

Das Masterstudium setzt einen guten Bachelorabschluss (unabhängig von der Hochschule, an der er erworben wurde) voraus. Mit einer Regelstudienzeit von vier Semestern entspricht der Gesamtarbeitsaufwand für den Erwerb von 120 Leistungspunkten (LP) etwa einem 60-Wochen-Vollzeitstudium. Neben einem Block von Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen zur Vermittlung von Basiskompetenzen (mindestens 15 LP) – mit dem auch mögliche Unterschiede zu Studierenden von anderen Standorten ausgeglichen werden können – sowie von Zusatzqualifikationen (mindestens 25 LP) offeriert Freiberg die nachstehend gleich charakterisierten fünf großen Schwerpunktrichtungen (zum Erwerb von mindestens 50 LP). Die Masterarbeit entspricht etwa 15 Wochen (30 LP), Abb. 4.

Das besagte Angebot von fünf Schwerpunktrichtungen gibt den Masterstudenten die Möglichkeit einer vertieften Auseinandersetzung mit einem jeweils auf einen Fokus zielenden Kernthema, das jedoch nie so eng angelegt wird, als ob es auf die besondere Fähigkeit erfolgreicher Geoökologen, nämlich die zu vernetztem, interdisziplinärem Denken, nicht ankäme. Die Schwerpunkte im Einzelnen:

- Umwelt- und Geobiotechnologien: Sie entsprechen einem besonderen Interesse

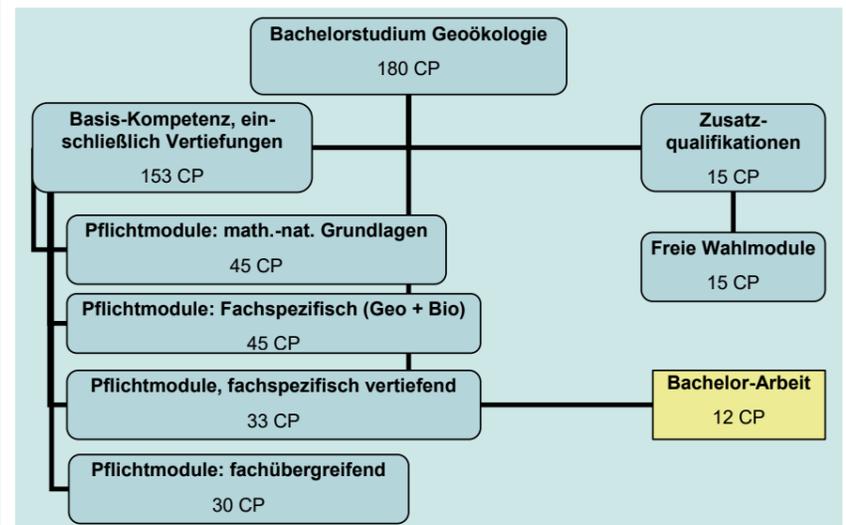


Abb. 3: Studienorganisation für den B.Sc. Geoökologie an der TU Bergakademie Freiberg

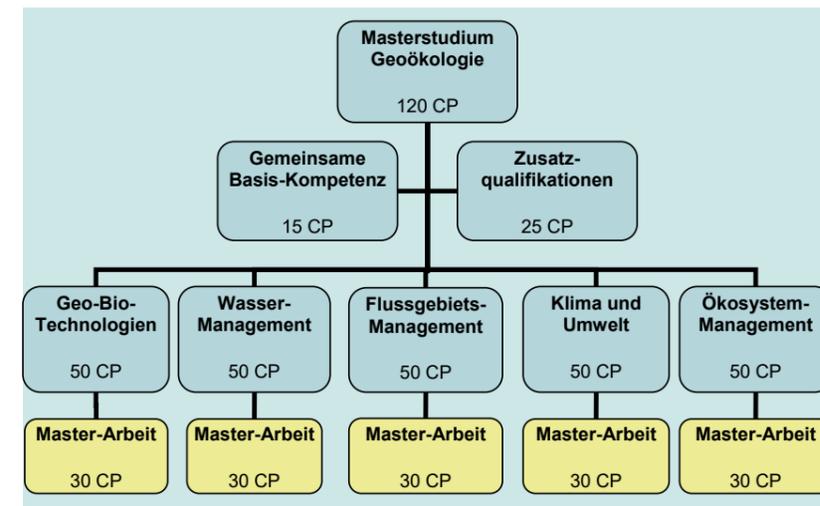


Abb. 4: Studienorganisation für den M.Sc. Geoökologie an der TU Bergakademie Freiberg

an Mikrobiologie und Biotechnologie wie insbesondere auch an Reinigungs- und Sanierungstechniken.

- Flussgebietsmanagement: Dieses orientiert sich eng an der strikt umzusetzenden EU-Wasserrahmenrichtlinie und erfordert folglich vertiefte Kenntnisse in den Fachgebieten Hydrologie und Limnologie, Hydrogeologie, Strömungsmechanik, Hydrogeologie sowie Ingenieurgeologie.
- Wasserwirtschaft: Hier verbinden sich die beiden vorangegangenen Schwerpunkthemen mit einem deutlichen „Mehr“ an Hydrogeologie und Wasserchemie zzgl. Grundwassermanagement und Grundlagen der Bohrlochgeophysik.
- Klima und Umwelt: Diese Ausrichtung setzt neben Interessen an Atmosphären- und Klimaforschung auch solche an (umweltgeochemischer) Analytik und an der Ökosystemanalyse voraus.
- Ökosystem-Management: Es umfasst neben einem starken Anteil an Umwelt-

ressourcen-Management auch Themen der Landschaftsökologie, der Ökosystemanalyse sowie des Biotop- und Landschafts-Managements.

Die Aussichten

Nach den bisher in Freiberg gesammelten Erfahrungen, die im Wesentlichen die der anderen einschlägigen Studienorte und des Verbands VGÖD³ bestätigen, sind die Berufsaussichten für Geoökologen eher überdurchschnittlich gut. Es versteht sich dabei von selbst, dass dieses Faktum auf dem Engagement und dem Fleiß derjenigen Studierenden beruht, die sich durch hohe Leistungen einen guten Startplatz für das Berufsleben sichern konnten. Das Spektrum der Arbeitgeber unserer Alumni reicht von der beruflichen Selbstständigkeit über ein Engagement bei der Industrie und bei Behörden bis hin zu Max-Planck-

3 www.vgoed.de



Abb. 5: Bodengasmessungen auf einer Weidefläche bei Apuí im südlichen Amazonasbecken, Brasilien

Instituten und sonstigen Großforschungseinrichtungen im In- und Ausland. Der Anteil zumindest zeitweilig im Ausland arbeitender Alumni ist erfreulich hoch, und es ist keine Seltenheit, dass „gelernte“ Freiburger ihr Studium in Kooperation mit europäischen und außereuropäischen Hochschulen abschließen.

Herzlich willkommen an der TU Bergakademie Freiberg!

Kontakt:
Prof. Dr. Jörg Matschullat
Direktor Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum
Technische Universität Bergakademie Freiberg
joerg.matschullat@ioez.tu-freiberg.de
tu-freiberg.de/fakultaet3/mineralogie/geochemie-geoekologie

Titelfoto: Edelfalter (Baeotus deucalion) auf einem toten Süßwasserrochen am Ufer des Aripuanã Flusses an der BR-230 (Transamazônica) in Amazonas, Brasilien

20 Jahre Angewandte Naturwissenschaft: Blick zurück – und in die Zukunft

Jens Kortus

„Die Bewältigung absehbarer Zukunftsaufgaben erfordert zunehmend komplexe Systemlösungen, deren wesentliches Merkmal eine immer wichtiger werdende interdisziplinäre integrierte Kooperation verschiedener traditioneller Wissensgebiete ist. Hierbei kommt der Anwendung des Grundlagenwissens naturwissenschaftlicher Fachrichtungen eine besondere Bedeutung zu. ... Durch einen inhaltlich völlig neu gestalteten universitären Diplomstudiengang mit merklichem Anwendungsbezug soll traditionellen Diplomstudiengängen, insbesondere der Chemie und der Physik, eine Alternative gegenübergestellt werden, die den genannten Anforderungen gezielter und besser gerecht wird, ohne jedoch existierende Studiengänge ablösen zu wollen. Der vorläufige Arbeitstitel des intendierten Studienganges lautet ‚Angewandte Naturwissenschaft‘.“¹

Damit war die Idee für den interdisziplinären Diplom-Studiengang Angewandte Naturwissenschaft geboren. Nach intensiven Diskussionen auf vielen Ebenen entstand der deutschlandweit in dieser Ausrichtung einzigartige Studiengang „Angewandte

1 Aus: Ein neuer gesamt-naturwissenschaftlich orientierter universitärer Studiengang der Fakultät für Chemie und Physik (1. Kurzinformation, nur für den fakultätsinternen Gebrauch). Kommission Wissenschaftsentwicklung der Fakultät für Chemie und Physik, 27. Januar 1995, Prof. J. Niklas

Naturwissenschaft“. Erstmalig wurden dafür zum Herbstsemester 1996 19 Studenten immatrikuliert. Inzwischen ist der Studiengang etabliert, und die Absolventen bestätigen fast ohne Ausnahme das sehr beachtliche Berufspotenzial dieses Studiengangs. Die interdisziplinäre Verbindung von Mathematik, Chemie, Physik und Biologie, ergänzt um ausgewählte Angebote aus den geo-, ingenieur- und wirtschaftswissenschaftlichen Disziplinen, führte zu einer sehr guten Studierbarkeit und im Ergebnis zu flexibel einsetzbaren Absolventen.



Dipl.-Nat. Susanne Kräher
Diplom 2007

Heute: Labormanagerin Shimadzu Europa GmbH in Duisburg

„Ich habe Angewandte Naturwissenschaft studiert, weil es ein breit gefächertes und einzigartiger Studiengang mit einem großen praktischen Anteil ist“



Dr. Johannes Müller
Diplom 2008

Heute: Gruppenleiter „Non-volatile Memories“ am Fraunhofer-Institut für photonische Mikrosysteme Dresden

„Der Studiengang Angewandte Naturwissenschaft war eine tolle Vorbereitung auf meine jetzige Tätigkeit, da er solide Grundlagen für die anwendungsbezogene Forschung und das wissenschaftliche Arbeiten liefert und durch seine Interdisziplinarität vor allem auch die Innovationskraft fördert.“

In Umsetzung des Modularisierungsprinzips wurde der Diplomstudiengang „Angewandte Naturwissenschaft“ ab 2008 als Bachelor- und konsekutives Masterstudium fortgeführt. Im

Bachelor- und im Masterstudiengang erfolgt die Ausbildung auch weiterhin interdisziplinär in ausgewählten Bereichen der Physik, der Biowissenschaften und der Chemie.

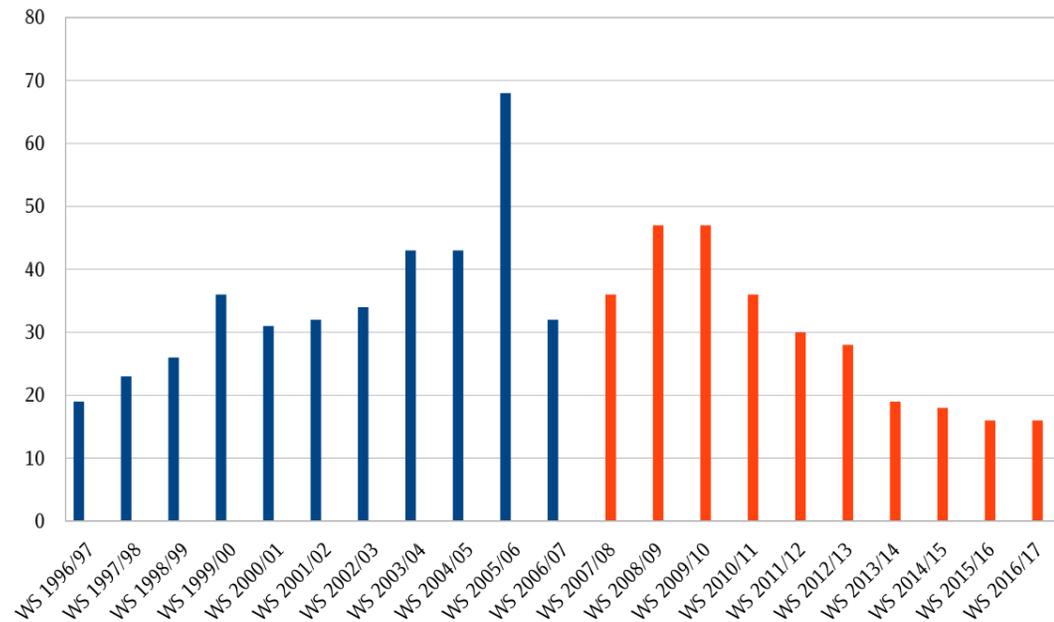
Die Angewandte Naturwissenschaft ist mit den Chemiestudiengängen so abgestimmt, dass für die Fakultät ein schlüssiges Gesamtkonzept entsteht. So erwerben die Chemiker ein vertieftes Wissen zu Synthesen und chemischen Stoffeigenschaften, während sich die Absolventen der Angewandten Naturwissenschaft ein komplementäres Kompetenzprofil aneignen – sei es durch ihre stärkere Beziehung zu physikalischen Aspekten der Materialwissenschaft oder durch Hinwendung zu biologischen Aspekten der Umwelt- oder der Ressourcenchemie.

Die Anfängerzahlen des Studiengangs mit Diplom hatten sich bestens entwickelt – mit einem Maximum von 68 Anfängern zum Wintersemester 2005/06. Allerdings stellte solch eine große Zahl von Anfängern die Fakultät vor ernsthafte Kapazitätsprobleme, so dass kurzzeitig sogar über einen lokalen NC diskutiert wurde. Im Jahr darauf hatten sich die Zahlen allerdings bereits wieder normalisiert. Nach der Umstellung auf Bachelor/Master stieg die Anfängerzahl von 36 (Wintersemester 2007/08) auf 47 in den beiden folgenden Jahren.

Entsprechend der demografischen Entwicklung in Sachsen zeigten auch die Anfängerzahlen für die Angewandte Naturwissenschaft einen stetigen Rückgang, wie er im Vergleich auch an anderen ostdeutschen Hochschulen zu beobachten war. Momentan scheint sich der Trend auf dem Niveau von 16 Anfängern zu stabilisieren. Wir möchten natürlich die Anfängerzahlen wieder erhöhen, wobei eine Zahl von 25 bis 30 Bewerbern eine entsprechend unseren Kapazitäten anzustrebende Größe wäre. Zur Erreichung dieses Ziels versuchen wir, Schüler frühzeitig für ein Studium der Angewandten Naturwissenschaft zu interessieren. Neben Vorträgen an Gymnasien ist eine dies unterstützende, vielversprechende Maßnahme die Organisation der jährlichen BioNanoTec-Woche, die in diesem Jahr zum zweiten Mal für mehr als 20 Schüler der Klassen 9–11 aus mehreren Bundesländern durchgeführt wurde. Die Resonanz war sehr positiv, und wir hoffen, einige dieser Schüler bald wieder in Freiberg als Studenten begrüßen zu können.

Um ein interessanteres Angebot zu entwickeln, das ggf. auch

Abb. 1: Anfängerzahlen des Diplom- (blau) und des Bachelorstudiengangs (rot) „Angewandte Naturwissenschaft“



Halbleitertechnik und Photovoltaik

Diese Vertiefung stellt naturwissenschaftliche, technische, betriebswirtschaftliche und rechtliche Aspekte der Halbleitertechnik und der Photovoltaik in den Fokus. Die Herstellung, Charakterisierung und Verarbeitung von Halbleitermaterialien, die auch die Basis für die moderne Mikro- und Nanoelektronik bilden, spielen hier eine wesentliche Rolle. Unter Nutzung der räumlichen Nähe zur heimischen Halbleiter- und Photovoltaikindustrie wird den Studierenden von Experten aus der Industrie Wissen aus erster Hand vermittelt. Die Studenten werden Teil eines kleinen Teams, das zusammen mit den Technologieverantwortlichen über den Stand der Technik in der Industrie und über neue Konzepte und deren mögliche Umsetzung diskutiert. Während des Studiums werden Praktika und Graduiierungsarbeiten in den beteiligten Unternehmen absolviert. In dieser Vertiefung wird die Grundlagenvermittlung mit der anwendungsnahen Forschung von Universität und Industrie verknüpft.

Theorie der Elektronenstruktur von Materialien

Viele Eigenschaften von Materialien können direkt aus den Grundgleichungen der Elektronenstruktur von Festkörpern abgeleitet und explizit ausgerechnet werden. Damit ergeben sich vielfältige Forschungsmöglichkeiten auf Teilgebieten der Physik, der Chemie und der Materialwissenschaft an Forschungseinrichtungen und Universitäten, denn die Ergebnisse experimenteller Messungen werden heute immer mit denen von Computersimulationen verglichen, um ein fundamentales Verständnis physikalischer Vorgänge zu gewinnen. Die jungen Leute lernen in ihrem Studium, sich schnell in komplexe Sachverhalte einzuarbeiten, kausale Zusammenhänge zu erkennen und strukturiert zu arbeiten. Die erworbenen Kenntnisse können dann leicht auf eine Vielzahl von anderen Problemstellungen übertragen werden. Wegen ihrer analytischen, mathematischen und lösungsorientierten Art zu denken sind Theoretiker auch in der Industrie, bei Finanzdienstleistern, Versicherungen oder Unternehmensberatungen gefragt. Die Fähigkeit, Modelle komplexer Systeme mit modernsten Techniken zu programmieren, ist eine weitere Stärke unserer Absolventen, die einen erfolgversprechenden Einstieg in die Wirtschaft begünstigt.

Studenten anderer Hochschulen zu einem Wechsel nach Freiberg lockt, haben wir 2017 die Vertiefungsrichtungen beim Master umgestaltet und modernisiert. Das Masterstudium ist nun wesentlich forschungsorientierter und von Beginn an auf vier Schwerpunkte ausgerichtet: Umweltnaturwissenschaft/Biotechnologie, Festkörperphysik, Halbleitertechnik und Photovoltaik sowie Theorie der Elektronenstruktur von Materialien. Der Masterabschluss befähigt zu interdisziplinärer Forschungstätigkeit in wissenschaftlich-technischen oder umweltnaturwissenschaftlichen bzw. biotechnologischen oder auch medizinischen Bereichen. Weiterhin signalisiert er auch die Voraussetzungen dafür, entsprechend profilierte Arbeitsgruppen als Manager anzuleiten und zu führen. Die vier Schwerpunkte/Vertiefungen:

Umweltnaturwissenschaft und Biotechnologie

Dieser Schwerpunkt beinhaltet die modernen molekular-biochemischen Grundlagen der Gentechnik und der Umweltmikrobiologie sowie die Nutzung von Biokatalysatoren, z. B. für den Schadstoffabbau, die Medikamentensynthese und die Geobiotechnologie. Weiterhin stehen die Anwendung moderner spektroskopischer Methoden und Trennverfahren und deren Kopplung zur Spuren- und Vielfachkomponentenanalyse im Vordergrund, wie sie unter anderem für die Forensik benötigt werden. Zudem kann im Bereich dieses Schwerpunkts der Fokus auch auf (hydro-)geologische Aspekte und umwelt- bzw. ökologisch relevante Fragestellungen gelegt werden. Hier finden auch moderne Methoden der Spektroskopie und der Elementanalytik sowie der statistischen Datenanalyse Anwendung.

Festkörperphysik

Nano-, Halbleiter- und Solartechnologie sowie weitere interdisziplinäre Module bestimmen diesen Schwerpunkt. Neben den theoretischen Grundlagen wird in verschiedenen Praktika relevantes Wissen über moderne analytische Methoden vermittelt. Es besteht bspw. die Möglichkeit, sich eingehend mit Strahlen- und Laserphysik, mit magnetischen Materialsystemen und mit Oberflächenspektroskopie auseinanderzusetzen. Daraus resultieren zahlreiche Anwendungen in Technik (z. B. Raumfahrt) und Medizin (z. B. MRT).

Der Studiengang Umwelt-Engineering an der TU Bergakademie Freiberg

Karin Sichone

Zur Entstehung des Studiengangs

Nach der politischen Wende musste die Bergakademie Freiberg ihren Platz in der Sächsischen Hochschullandschaft neu definieren und festigen. Nachdem die Eckprofessuren besetzt waren, begannen intensive Debatten um das Profil der Universität. Auf Anregung des Ministerpräsidenten Kurt Biedenkopf wurde im Juni 1995 eine Konzeption für die Einrichtung einer ökologischen Fakultät beraten. Damit verbunden waren auch Überlegungen zur Etablierung neuer Studiengänge, die die-

ser Fakultät zugeordnet werden könnten. Ziel war es, zum Wintersemester 1996/97 mit der Ausbildung in den neuen Studiengängen zu beginnen. An der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik betrug die Zahl der Neuimmatrikulierten für alle fünf Studiengänge dieser Fakultät 1994 und 1995 jeweils nur 85. Unter Berücksichtigung von Vorgaben des Ministeriums verständigte sich die Fakultät auf eine Modernisierung und Erweiterung des Studienangebots und auf die Orientierung

auf etwas mehr als 250 Neuanfänger für alle Studiengänge der Fakultät zusammen. Im Januar 1996 legte der Dekan, Prof. Groß, dem Fakultätsrat den Entwurf einer Studentafel für einen angedachten Diplomstudiengang „Prozess- und Systemtechnik“ vor. Unter Mitwirkung von Prof. Husemann (VT) und Prof. Walter (MB) wurde in Abstimmung mit den Fakultäten für Chemie und Physik sowie Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau dieses Konzept modifiziert. Es sah danach einen gemeinsamen Ausbildungsplan für das erste Studienjahr der drei neuen Studiengänge „Geoökologie“, „Angewandte Naturwissenschaft“ und „Umwelttechnologie“ vor. Anstelle einer ökologischen Fakultät wurde im Frühjahr 1996 die Einrichtung eines „Interdisziplinären Ökologischen Zentrums“ (IÖZ) beschlossen. Prof. Groß wurde der erste Direktor dieses IÖZ.



Bild 1: Studierende beim Praktikum

Im Ringen um eine für Studierwillige attraktive Bezeichnung verständigte man sich schließlich – gewissermaßen in letzter Minute – auf den Begriff „Umwelt-Engineering“ für den neuen Studiengang.

Am 19. September 1996 konnte dann die „Diplomprüfungsordnung und Studienordnung für den Studiengang Umwelt-Engineering am IÖZ der TU Bergakademie Freiberg“ gerade noch rechtzeitig erlassen werden. Bis zur Neuwahl der Gremien wurde Prof. Walter einstimmig als Studiendekan eingesetzt.

Der Diplomstudiengang Umwelt-Engineering

Das Konzept des Studiengangs orientierte auf eine „*breit angelegte Grundlagenausbildung, die zur Lösung allgemeiner Ingenieuraufgaben, insbesondere für*

- *das Management von ökologisch verträglichen technischen Lösungen,*
- *das Anfertigen von Umweltverträglichkeitsprüfungen, Öko-Audits und Zertifizierungen sowie*
- *die Erstellung von Ökobilanzen, die Ermittlung kumulierter Energieaufwände u.ä. befähigt.*¹

Als Novum an der Universität wurde eine integrierte Lehrveranstaltung „Grundkurs Physik/Chemie I-III“ mit einem Umfang von 20 SWS und einem fakultativen Praktikum im Umfang von 5 SWS² angeboten. Neu für die Ausbildung von Ingenieuren war die Aufnahme des Faches „Grundlagen der Biologie

1 Studienordnung für den Studiengang Umwelt-Engineering, Amtliche Bekanntmachungen Nr. 8/ 7. Oktober 1996

2 SWS = Semesterwochenstunden

I und II“ (7 SWS) in das Curriculum des Grundstudiums.

Schon nach zwei Jahren wurde eine neue Ordnung erlassen, in der alle vorher noch fehlenden Angaben zu den Vertiefungsfächern im Detail festgelegt waren. Wegen personeller Veränderungen an den beteiligten Fakultäten und in Auswertung der bis dahin gesammelten Erfahrungen wurde 2002 die Einigung auf eine entsprechend novellierte Ordnung erforderlich.

Während die Korrekturen im Grundstudium (1. bis 4. Semester) marginal waren, wurden für das Hauptstudium beträchtliche Veränderungen zugunsten der ingenieurwissenschaftlichen Fächer vorgesehen. Diese betrafen vor allem die Verfahrenstechnik, die in der Fassung von 1996 zunächst mit Pflichtfächern im Umfang von acht, in der Studienordnung von 2002 dann aber schließlich mit 17 SWS an der Ausbildung beteiligt war.

Aus dem Pflichtbereich der nichttechnischen Fächer nach der (alten) Ordnung von 1996 wurden Lehrveranstaltungen ausgegliedert und mit Fächern aus der Fakultät 4 zu umweltrelevanten Stoffkomplexen (Ökosysteme, Ressourcenökonomik) zusammengeführt.

Vertiefungsfächer im Diplomstudiengang

Da nach dem Konzept für die drei neuen Studiengänge dem Gedanken einer interdisziplinären Ausbildung große Bedeutung beigemessen wurde, galt es, diesen Aspekt auch bei der Diskussion zu den wünschenswerten und realisierbaren Vertiefungsfächern des Hauptstudiums zu berücksichtigen. In Erwartung zahlreicher

Einschreibungen und auch im Hinblick auf eine – aus Sicht der beteiligten Professoren – höhere Attraktivität dieses Studiums (betont durch ein breites Angebot an möglichen Vertiefungen) wurden unter Mitwirkung der Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie sowie der Fakultät für Mathematik und Informatik sechs Vertiefungsfächer etabliert, die bis zur Einstellung der Immatrikulation für den Diplomstudiengang beibehalten wurden:

- A Energiesysteme und Wärmeschutz
- B Werkstofffertigungstechnik
- C Qualitäts- und Umweltmanagement
- D Ökologische Produktentwicklung
- E Biotechnologie
- F Kommunikationstechnologien und Informationsdienste

Die Vertiefung A wurde – bis auf eine einzige Ausnahme im Jahr 2001 – stets am häufigsten gewählt. In einigen Jahrgängen war auch die Vertiefung C gut nachgefragt.

Im Rückblick ist festzustellen, dass bei der Studienwerbung dieses recht breit aufgestellte Vertiefungsangebot auf die angesprochenen Gymnasiasten keinen sonderlich großen Eindruck gemacht hat. Schüler in der letzten Phase ihrer gymnasialen Ausbildung stehen zunächst vor doch grundsätzlicheren Entscheidungen. Sie müssen u. a. zunächst den Unterschied zwischen natur- und ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung verstehen. Mit der Bezeichnung „Umwelt-Engineering“ und der interdisziplinären Ausrichtung im Grundstudium wurde aber der Zeitgeist recht gut getroffen.

Studienanfänger und Studierende im Diplomstudiengang und das Prüfungsgeschehen

Dank intensiver Öffentlichkeitsarbeit war es möglich geworden, bereits im ersten Geltungsjahr der erneuerten Ordnung 20 Studienanfänger zu begrüßen. Gemessen an nur 40 Anfängern im Studiengang Maschinenbau in diesem Jahrgang war das als durchaus positiv zu werten. Die Anfängerzahl von 67 im zweiten Immatrikulationsjahr (1997/98) konnte aber in der Folgezeit – trotz intensiver Werbung – nie wieder erreicht werden (Abb. 2).

Zum Wintersemester 2007/08 wurde die Immatrikulation für den Diplomstudiengang eingestellt und nur noch für den neuen Bachelorstudiengang fortgeführt. Nunmehr mussten zwei sehr unterschiedliche Studiengänge „Umwelt-Engineering“ administriert und betreut werden. Die

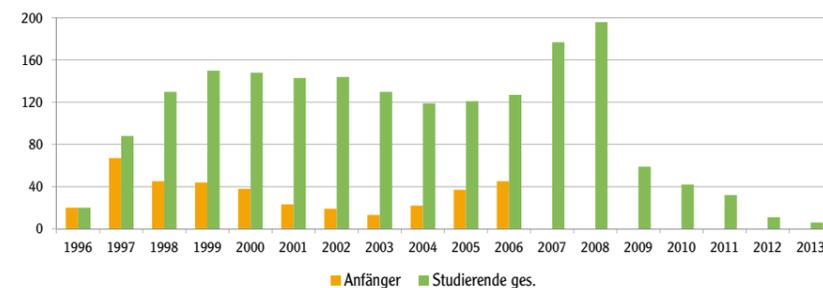


Abb. 2: Verlauf der Studienanfänger- und der Studierendenzahlen insgesamt³

letzten beiden „Diplomer“ schlossen ihr Studium 2015/16 ab.

Der Anteil ausländischer Kommilitonen stieg von drei im Jahr 2000 auf elf Prozent bei der letzten Einschreibung im Jahr 2006. In den Studiengang hatten sich von Beginn an relativ viele Frauen eingeschrieben. Ihr Anteil lag zumeist bei etwa einem Drittel.

In der Vordiplomphase hatten die Studierenden durchschnittlich sechs Leistungsnachweise pro Semester zu erbringen. Prüfungsfehlleistungen waren regelmäßig in Mathematik, Technischer Mechanik, Technischer Thermodynamik und im Fach BWL zu verzeichnen.

Im Rückblick betrachtet verdient die Tatsache, dass für alle Jahrgänge die Prüfungen Physik/Chemie und Biologie mündlich abgehalten wurden, besondere Erwähnung. Trotz teilweise beträchtlicher Studierendenzahlen in den drei Studiengängen Geoökologie, Angewandte Naturwissenschaft und Umwelt-Engineering haben die beteiligten Institute diese sehr zeitintensiven Prüfungen gemeistert.

Zu den „Stolpersteinen“ im Hauptstudium gehörten Strömungsmechanik II, Wärme- und Stoffübertragung sowie Mechanische Verfahrenstechnik. Fehlleistungen im Hauptstudium blieben insgesamt jedoch eher die Ausnahme.

Absolventen des Diplomstudiengangs Umwelt-Engineering

Aus dem ersten Immatrikulationsjahrgang hat nur ein einziger Student innerhalb der Regelstudienzeit den Abschluss geschafft. Im Studienjahr 2006/07 erreichte die durchschnittliche Studiendauer mit 13,1 Semestern ihren schlechtesten Wert. Immerhin betrug bei fünf Absolventenjahrgängen die durchschnittliche Studiendauer weniger als 12 Semester, was – gemessen am bundesdeutschen Durchschnittswert für Ingenieurstudiengänge

3 Quellen: Kleiner Lehrbericht der SK UWE 1998; Zahlenspiegel der TU Bergakademie

– ein recht gutes Ergebnis ist. Verzögerungen beim Studienabschluss waren weniger einer schlechten Organisation des Studienablaufs geschuldet, sondern eher individuellen Problemen und Planungen der Studierenden und den relativ häufig wahrgenommenen Auslandsaufenthalten an Partneruniversitäten.

Immerhin ein Viertel der Diplomarbeiten wurde an den an der Ausbildung beteiligten Nachbarfakultäten abgeschlossen, etwa ein Drittel der Arbeiten wurde am Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik betreut. Weitere fünf Institute der Fakultät 4 waren in die Betreuung involviert. Damit wird auch in diesem Punkt der fachübergreifende Charakter der Ausbildung deutlich.

Bezogen auf die Zahl der Anfänger haben knapp 50 Prozent ihr Studium erfolgreich beendet.

Entgegen anfänglichen Befürchtungen, dass die Industrie erhebliche Vorbehalte gegen Absolventen eines „Umweltstudiengangs“ haben würde und auch nicht nach „grünen“ Ingenieuren sucht, haben die Absolventen – bis auf wenige Ausnahmen – ohne erwähnenswerte Schwierigkeiten ihre erste Anstellung in der freien Wirtschaft gefunden.

Die Schließung des Diplomstudiengangs Umwelt-Engineering

Da auf Beschluss des Senats ab WS 2007 alle Studiengänge in modularisierter Form anzubieten waren, wurde die Immatrikulation in den Diplomstudiengang Umwelt-Engineering zum Wintersemester 2007 eingestellt.

Konsekutiver Bachelor- und Masterstudiengang Umwelt-Engineering

Im Juli 2006 hatte der Fakultätsrat bei drei Gegenstimmen beschlossen, den bisherigen Diplomstudiengang Umwelt-Engineering als gestuftes, modularisiertes Ausbildungsangebot in Form eines Bachelor- und eines daran anschließenden („konsekutiven“) Masterstudiengangs

fortzuführen. Es war dabei naheliegend und ratsam, die bewährten Bestandteile aus dem Ende 2007 einzustellenden Diplomstudiengang zu übernehmen. Im Vergleich zur letzten Diplomprüfungsordnung (von 2002) ist die Aufteilung der Ausbildungsinhalte auf die Fächergruppen Mathematik/Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und nichttechnische Module des Grundstudiums nahezu unverändert geblieben. Im April 2007 lag der Entwurf der Prüfungs- und Studienordnung für den Bachelorstudiengang vor. Mit wenigen Änderungen wurde diese Ordnung dann am 26. September 2007 erlassen.

Es wurde sehr bald beanstandet, dass dem Sinn der Modularisierung, nämlich Stoffgebiete zu größeren Komplexen zusammenzuführen und komplex auch zu prüfen, mit der vorgelegten Ordnung nicht entsprochen werde. Dieses Manko musste durch erneute, sehr zeitraubende fakultätsübergreifende Abstimmungen korrigiert werden. Federführend war bei dieser „konzertierten“ Aktion der Prorektor Bildung. Im Ergebnis hatten in der Studienordnung von 2009 nur noch etwa zehn Prozent von 46 Modulen drei Leistungspunkte.

Seit Einführung des Bachelorstudiengangs erwiesen sich mehrere Aktualisierungen der Studiendokumente als erforderlich. Zum Wintersemester 2015/16 ist nun eine neue Ordnung in Kraft getreten, deren Wirkung zzt. noch nicht analysiert werden kann.

Die Gestaltung des späteren Masterstudiums stand bereits bei der Konzipierung des Bachelorstudiengangs im Blickfeld.

Die Prüfungs- und Studienordnung für den dreisemestrigen Masterstudiengang Umwelt-Engineering wurde am 2. März 2011 erlassen, kurz bevor die ersten Bewerber dieses Studium beginnen wollten.

Vertiefungsfächer im Bachelor- und im Masterstudiengang

Ansichts der Erfahrungen der vorangegangenen Jahre und der relativ wenigen Studierenden beim Eintritt in das fünfte Fachsemester (ehemals Hauptstudium) wurde bezüglich der Vertiefungsmöglichkeiten auf ein fakultätsübergreifendes Konzept weitgehend verzichtet. Aus ursprünglich sechs wurden nunmehr nur noch vier Vertiefungsrichtungen:

- A Energiesysteme und Wärmeschutz
- B Qualitäts- und Umweltmanagement
- C Biotechnologie, ab 2009 Umweltbiotechnologie

– D Umwelttechnik, ab 2009 Recycling In Relation zur Zahl der Einschreibungen für den Diplomstudiengang hat sich die Tendenz zur Wahl der Vertiefung A etwas verstärkt. Das Etablieren der ab 2009 eingeführten neuen Vertiefung „Recycling“ mit einem relativ starken Bezug zum Maschinenbau hat bei den Studierenden guten Anklang gefunden.

Studierende im Bachelor- und im Masterstudiengang UWE und das Prüfungsgeschehen

Nachdem für den Jahrgang 2006/07 nur 45 Anmeldungen für das Diplomstudium zu verzeichnen waren, begann der Bachelorstudiengang zum Wintersemester 2007/08 mit immerhin 81 Einschreibungen erfreulich stark (Abb. 3). Leider wurde diese Anfängerzahl nie wieder erreicht. Ein beträchtlicher Teil des erstgenannten Jahrgangs hat das Studium trotz intensiver Betreuung relativ schnell wieder abgebrochen, was sicher auch mit der beachtlichen Fehlleistungsquote in den Prüfungen Mathematik und Chemie zu tun hatte.

Der Anteil ausländischer Studierender in der besprochenen Fachrichtung betrug nie mehr als 10 Prozent. Der Anteil der Frauen an der Gesamtstudierendenzahl lag zwischen 34 und 48 Prozent.

Von den Studienanfängern der Jahrgänge 2007 bis 2011 haben ca. 57 Prozent die Universität ohne Abschluss verlassen.

Nach Beginn der modularisierten Ausbildung wurde von den Studierenden immer wieder die große Anzahl von zu absolvierenden Prüfungsleistungen, insbesondere in der Grundlagenausbildung (1. bis 4. Fachsemester), beklagt. Tatsächlich waren in den Grundlagenfächern zu nächst 23 benotete Prüfungsleistungen und weitere sieben Leistungsnachweise in 22 Modulen zu erbringen.

Möglichkeiten zum Ausgleich nicht bestandener Prüfungen, wie sie in der Diplomausbildung ab 2002 bestanden, waren bewusst nicht vorgesehen. Stolpersteine waren Mathematik, Chemie, Statistik/Numerik, Technische Mechanik und Thermodynamik.

Verglichen mit der Ausbildung im Diplomstudiengang hat die Zahl der Fehlleistungen in Prüfungen des dritten Bachelor-Studienjahres deutlich zugelegt. Eine Ursache hierfür könnte sein, dass es den Studierenden bislang freigestellt

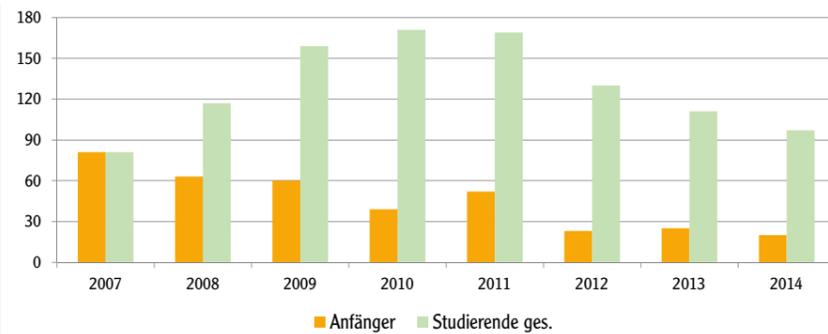


Abb. 3: Verlauf der Studienanfänger- und der Gesamtstudierendenzahlen⁴

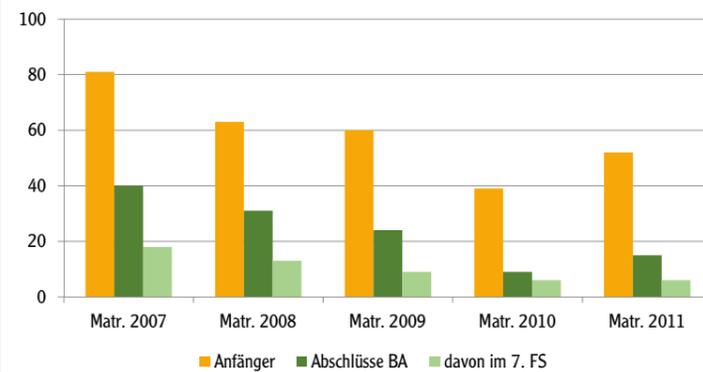


Abb. 4: Zahl der Studienanfänger, Absolventen und Absolventen in der Regelstudienzeit im Bachelorstudium nach Jahrgängen⁵

ist, Modulprüfungen anzutreten, ohne die vorausgesetzten Vorkenntnisse (z. B. in Mathematik) nachgewiesen zu haben, wohingegen das zuvor mit der Diplomvorprüfung erzwungen wurde.

Im Masterstudiengang Umwelt-Engineering sind – je nach gewählter Vertiefung und belegten Wahlpflichtmodulen – 12 bis 15 Modulprüfungen abzulegen, die Lehrveranstaltungen verbindlich zugeordnet sind. Eine weitere Prüfung ist zu einer Projektarbeit zu absolvieren. Das Studium wird letztlich mit der „Master Thesis“ abgeschlossen.

Absolventen im konsekutiven Studiengang Umwelt-Engineering

Im Bachelorstudiengang beträgt die Regelstudienzeit sieben Fachsemester. Aus dem ersten Immatrikulationsjahrgang 2007 mit den bereits genannten 81 Studienanfängern haben nur 18 Studierende das Studium in bzw. nach dieser Zeit beendet. Weitere 22 Studierende haben ihr Bachelorstudium mit Regelzeitüberschreitungen abgeschlossen.

Die Überschreitung der Regelstudienzeit ist zum einen den gern wahr-

genommenen Auslandsaufenthalten zuzuschreiben und zum anderen auch in der Häufung von Wiederholungs- oder Nachholeprüfungen begründet. Die durchschnittliche Studiendauer eines Bachelors betrug 8,4 Semester. Man kann vermuten, dass die vom Gesetzgeber sozusagen „offiziell“ gestattete Überschreitung der Regelstudienzeit um vier Semester nicht unbedingt zu einem zügigen Studienabschluss motiviert.

Die Bachelorarbeiten, die im Zusammenhang mit dem Fachpraktikum im 7. Semester anzufertigen sind, wurden überwiegend von den Instituten der eigenen Fakultät betreut. Trotz des Wegfalls zweier Vertiefungen im Rahmen der Kooperation mit benachbarten Fakultäten wurden immerhin noch 13 Prozent der Abschlussarbeiten an den Fakultäten für Wirtschaftswissenschaften bzw. für Chemie und Physikbetreut. Dies zeigt, dass der interdisziplinäre Charakter dieser Ausbildung nicht gänzlich verloren gegangen ist.

Bezüglich des weiteren, beruflichen Werdegangs der Bachelorabsolventen liegen keine verlässlichen Angaben vor. Ziel der Fakultät war es, zu erreichen, dass möglichst alle Absolventen ihr Studium

im Masterstudiengang fortsetzen und der Bachelorabschluss nur als „Notausstieg“ zur Aufnahme einer Berufstätigkeit oder zum Wechsel in andere Masterstudiengänge genutzt wird.

Anhand der Einschreibungen für den Masterstudiengang Umwelt-Engineering ist aber zu erkennen, dass deutlich weniger Studierende als ursprünglich erhofft das Studium hin zum „Master für Umwelt-Engineering“ fortsetzen. Im Masterstudium selbst ist die Absolventenquote mit ca. 35 Prozent, gemessen an der Zahl der Studienanfänger eines Jahrgangs, enttäuschend gering.

Ausblick

Zum beginnenden Wintersemester 2017 wurde nun schon der 22. Jahrgang für den Studiengang Umwelt-Engineering immatrikuliert. Die Einschreibungszahlen sind allerdings nach wie vor relativ gering. Allein mit demografiebezogenen Argumenten lässt sich dieser Tatbestand jedoch nicht erklären.

Eine Vermutung, der nach sich die Studiengänge der Fakultät gegenseitig „kannibalisieren“, dürfte auch nicht zutreffen, da in den fachlich benachbarten Studiengängen Energietechnik und Verfahrenstechnik jeweils ebenfalls nur

geringe Studienanfängerzahlen zu verzeichnen sind.

Vielleicht gibt es in der öffentlichen Wahrnehmung des Umweltthemas eine gewisse Ermüdung. Das Thema wird bei jungen Menschen nicht mehr als innovativ und modern verstanden. In diesem Falle könnte möglicherweise eine Umbenennung in Verbindung mit einer modifizierten Ausrichtung der Vertiefungsoptionen zu besseren Ergebnissen führen.

Mit mehr als 240 Diplom- bzw. Masterabsolventen aus 15 Jahrgängen kann der Studiengang dennoch als eine Erfolgsgeschichte betrachtet werden.

Folgender Text von Eva Stützer ist selbstverständlich mit einem Augenzwinkern zu verstehen:

Zehn Gründe, weswegen du nicht Mathe studieren solltest

1. Es gibt keinen coolen Ansporn für dieses Studium. Andere können sagen: Ich studiere Medizin, denn ich finde es wichtig, Menschenleben zu retten. Oder BWL, ich finde es wichtig, Banken zu retten, oder Germanistik, ich finde es wichtig, Taxi zu fahren. Aber ich muss zwangsläufig sagen: Mathematik. Ich habe ein Herz für picklige Nerds mit fettigen Haaren und komischem Lachen.
2. Du wirst ständig gefragt, was du damit machen kannst. Finde mal eine coole Antwort auf „Du studierst Mathematik? Arbeitest du dann im Aldi an der Kasse?“
3. Leute stellen dir Rechenaufgaben. Es scheint ein weit verbreiteter Irrtum zu sein, dass sich Mathematiker mit Zahlen beschäftigen. Nein, wir benutzen Zahlen höchstens, um Buchstaben mit Indices zu versehen. Wir können damit eigentlich gar nicht umgehen. Alles, was größer als 3 ist, überfordert uns.
4. Ansonsten wird man den ganzen Tag mit Variablen zugeballert. Die ergeben auch überhaupt keinen Sinn. Das ist Illusion. Aber du stehst unter enormem Druck und wenn du etwas gefragt wirst, fängst du plötzlich auch an, so zu reden. Und jetzt glaubt nicht, es handle sich um Kinkerlitzchen aus der Schulzeit wie x oder y, vielleicht mal ein stilvolles z, damit es nicht langweilig wird. Nein, eine Schrift reicht lange nicht. Kleine und große Buchstaben, griechische Buchstaben. Dann kommt das altdeutsche Alphabet! Das kann nicht mal meine Oma. Und hey, lange schon nicht mehr Hebräisch geschrieben! Falls ihr Leute von der Pegida kennt, heißer Tipp: Die Variabilisierung des Abendlandes ist fast abgeschlossen. Dagegen sollte man mal demonstrieren. Ich beobachte das täglich. Es werden immer mehr davon. Sie sind nicht nur in meinen Aufgaben, nein, sie schleichen sich in unseren Alltag ein, ohne dass wir es merken. Das Alphabet besteht fast nur noch aus Variablen. Ihr denkt, ihr unterhaltet euch mit Hilfe von Wörtern, aber nein, es sind Variablen, die sich in kleinen Gruppen zusammenschließen.
5. Da kann man nur verrückt werden, wenn man so sein Leben verbringt. Bestes Beispiel sind die Professoren. Die quatschen den ganzen Tag nur noch mit der Tafel. Und werfen alle fünf Minuten einen Witz über Mathematiker ein. Oder Sätze à la: „Wenn Sie ein einfaches Modell aus der Diffusionstheorie hernehmen ...“ Ein Satz, vier Fehler! Wer ellenlange Formeln auswendig kann und ganze Vorlesungen ohne Notizen hält, der hat schon längst die Tür zurück zur Realität hinter sich zugemacht.
6. Die Mathematik ist ein einziges riesiges Paradoxon. Das weiß jeder, der damals im Matheunterricht eine Aufgabe zum sechsten Mal gelöst hat und sechs falsche Ergebnisse bekam. Es gibt Anwendungsaufgaben für Imaginärzahlen. Ihr glaubt, bei Toyota ist nichts unmöglich? Pah, die Wurzel aus -1 ist ja!
7. Die Vorlesungen. Die Dozenten reden vorn an der Tafel klingonisch und fragen dich um 8 Uhr früh, welche Folgen im diskreten metrischen Raum stetig sind. Sie schreiben klein und schnell mehrere Tafeln voll. Kreidestaub lagert sich auf deiner Kleidung, deinen Körperöffnungen und Schleimhäuten ab. In den seltensten Fällen verstehst du etwas. Beim Abschreiben gewinnt Malen nach Zahlen eine ganz neue Bedeutung. Ich schreib schon gar nicht mehr mit, ich mach Notizen für Slamtexte.
8. Brutale Hausaufgaben nach dem Motto: „In der Übung haben wir $a+b$ berechnet, dann könnt ihr zu Hause ja mal beweisen, dass die Vereinigung zweier nicht disjunkter, zusammenhängender Teilmengen eines metrischen Raums zusammenhängend ist, aber ihr Durchschnitt nicht unbedingt.“ Nicht wir machen die Aufgaben fertig, sondern die Aufgaben uns. Warum Mathematiker alles so kompliziert machen? Na, weil es die Ingenieure sonst verstehen würden!
9. Das Gefühl, eine Aufgabe nicht lösen zu können. Das ist schlimmer als Liebeskummer. Schlimmer, als wenn dir ein Wolf mit stumpfen Krallen deine Gliedmaßen ausreißt. Es umtreibt dich, lässt dich nicht schlafen. Du wirst dich traurig in deine Kammer setzen und Tag und Nacht grübeln. Kein Wunder, dass Mathematiker nichts und niemanden anmachen außer ihre Taschenrechner.
10. Du musst es irgendwie schaffen, dieses völlig bescheuerte und total veraltete – wenn es denn je stimmte – Klischee über Mathematiker aufrecht zu erhalten, damit die Menschheit nie erfährt, dass wir auch nur ganz normale Leute mit ganz normalen Macken sind. Im Übrigen sind Variablen echt lustige Spielzeuge. Und eines Tages werde ich über sie herrschen.

4 Quelle: Zahlenspiegel der TU Bergakademie Freiberg, interne Unterlagen

5 Interne Unterlagen

Großes Kino an der Bergakademie Die Otto Awards

Doris Geburek

© Quang Hung Le

Die Otto-Nacht in der Alten Mensa

Studierende drehen Kurzfilme über Studentenpartys, das WG-Leben oder über Liebesgeschichten und erhalten hierfür Credit Points für ihr Studium an der TU Bergakademie Freiberg. Das klingt erst einmal sehr merkwürdig. Doch bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass das Otto Film Project und die das Projekt abschließende Otto-Nacht wertvolle Beiträge leisten: zur akademischen Entwicklung und Bildung der Studierenden, zum studentischen Leben in Freiberg, zur Atmosphäre an der Universität und nicht zuletzt zur Ausprägung der von der freien Wirtschaft händierend herbeigesehnten Softskills.

Als die Professur für Englische Fachsprache der Wirtschaftswissenschaften und technischen Wissenschaften 1997 ihren Dienst aufnahm, war schnell klar, dass die Studierenden von einer über den klassischen Englischunterricht hinausgehenden Unterrichtung zur Bedeutung von Kommunikation im geschäftlichen – namentlich auch im interkulturellen – Sinne profitieren würden. Neben Lehrmodulen wie Business Communication oder Intercultural Communication wurde mit dem Hintergedanken, erworbene theoretische Kenntnisse in die praktische Anwendung zu überführen, im Jahr 2000 auch das „Otto Film Project“ ins Leben gerufen.

Zu Beginn eines jeden Sommerse-

mesters finden die Studierenden sich in selbst gewählten Teams zusammen. Nun gilt es, eigene Ideen für einen 10-minütigen Kurzfilm zu entwickeln, ein Drehbuch zu schreiben, Rollen und Akteure festzulegen, die Filmszenen zu drehen und am Ende zu schneiden, nachzubearbeiten und so schließlich einen fertigen Film zu produzieren.

Um die drei ECTS-Punkte (European Credit Transfer System) zu erhalten, erstellen die Studierenden außerdem ein Marketinginstrument für ihren Film in Form eines Posters und halten eine Präsentation, in der die Fortschritte und Fallstricke einer solchen Produktion dokumentiert werden.

Während des ganzen Semesters stehen die Professur und das Medienzentrum der TU Freiberg den Teams tatkräftig zu Seite: sowohl mit technischer Unterstützung (das Medienzentrum stellt großzügig Kameras, Mikrofone und Know-how zur Verfügung), mit Informationen (die Studierenden erhalten in Präsenztreffen und per E-Mail und durch OPAL-Informationen über Copyright, Drehgenehmigungen etc.) als auch mit Motivation und moralischer Unterstützung. Hier ist bereits eines der großen Potenziale dieses Ausbildungsmoduls zu erkennen. Durch die selbstverwaltete Arbeit im Team stoßen die Mitglieder

oft an ihnen vorher nicht bewusste oder nur theoretisch aus dem Unterricht in anderen Modulen bekannte Grenzen: Konfliktmanagement, Zeitmanagement, Verantwortung und Teamarbeit, Kommunikationsstrategien und Kreativität werden so ganz praktisch von den Studierenden gefordert und trainiert.

Die internationale Zusammensetzung der Teilnehmerschaft eines solchen Moduls sensibilisiert für kulturelle Unterschiede und Besonderheiten und verbessert so zudem die interkulturelle Kompetenz. Studierende aus über 25 Ländern haben bisher am „Film Project“ teilgenommen.

Seit Aufnahme dieses Moduls in das Lehrangebot entstehen so kurze Filme, die insbesondere die Lebens- und die Vorstellungswelt der Studierenden zeigen. Kritische Auseinandersetzungen mit der Massentierhaltung („27 Millionen“), der Kulturschock, unter dem internationale Studierende mitunter leiden („Freiberg not Freiburg“), Freundschaft („A Trip Down Memory Lane“), Liebe („Allein zu Zweit“) oder der studentische Alltag („Students Choice“) sind beliebte Themen. Deutlich wird immer, wieviel Arbeit, Detailliebe, Herzblut und Engagement in den Filmen steckt.

Wurden in den ersten Jahren der Auf-

nahme des Moduls die Filme zum Semesterabschluss in einem gewöhnlichen Seminarraum vorgeführt, ist die Abschlussveranstaltung nun mittlerweile über die Grenzen der Bergakademie Freiberg hinaus bekannt und beliebt. Mittlerweile finden sich an jedem letzten Mittwoch der Vorlesungszeit die Verantwortlichen, die Teams und bis zu 400 Zuschauer in der Alten Mensa ein, um im Rahmen der glamourösen Otto-Nacht die Prämierung der Filme in unterschiedlichen Kategorien zu verfolgen. Der Otto Award, in Analogie zu den Academy Awards oder Oscars nach Otto dem Reichen benannt, wird unter anderem für den besten Film, die besten Schauspieler oder die beste Story verliehen.

Wurden zu Beginn noch Plastikfiguren aus dem Souvenirgeschäft an die Preisträger vergeben, wandelte sich der Preis ab dem Jahr 2005: Nach einer Ausschreibung mit verschiedenen Designvorschlägen des Keramikzirkels der TU Freiberg wurde eine eigene Ottoskulptur vom Gießereistitut im Rahmen einer universitätsinternen Kooperation gefertigt. Jede der über 1 kg schweren und 30 cm großen Otto-Statuen ist ein Unikat. Sie besteht aus einer Aluminiumlegierung und konnte von nun ab



Ein frisch gegossener Otto in der GHM Gießerei

von den strahlenden Gewinnern mit nach Hause genommen werden. Leider war es aus diversen Gründen nicht möglich, diese langjährige freundschaftliche Zusammenarbeit mit dem Institut fortzuführen, und

die Otto-Preisverleihung geriet aus Mangel an Otto-Statuen in Gefahr. Auf der Suche nach Alternativen setzte sich schließlich die Georg-Herrmann Metallgießerei GmbH (GHM) aus Kleinschirma, eine lokale Metallgießerei, für das Projekt ein und erklärte sich kurzfristig bereit, die Produktion der „Ottos“ für die Jahre 2017 und 2018 sicherzustellen. Der geschäftsführende Gesellschafter, Mario Scheidling, ist selbst Alumnus der TU Bergakademie Freiberg. Für die schnelle und unkomplizierte Hilfe ist die Professur Herrn Scheidling und seinem Team zu großem Dank verpflichtet. Die Otto-Nacht hätte in ihrer bisherigen Form ohne die Hilfe der GHM nicht mehr stattfinden können.

Die Otto-Nacht verbindet mit ihrem multidisziplinären und ganzheitlichen Konzept alle Fakultäten und hat einen positiven Einfluss auf die Außenwahrnehmung der Hochschule, weit über ihre Grenzen hinaus. Sie ist eine offene Veranstaltung. Nicht nur Studierende, die ECTS-Punkte erhalten wollen, können Filme einreichen; auch Mitarbeiter, Professoren und anderweitig Interessierte sind herzlich eingeladen, ihre Filme vorzuführen und so zu einem gelungenen Abend beizutragen.

60 Jahre EU – 30 Jahre ERASMUS

Ingrid Lange

© DAAD

30 Jahre ERASMUS: Das klingt nach einem Erfolg. Aber was ist denn ERASMUS? Irgendwas mit Europa und Studenten. Oder Schülern? Oder Gastdozenten? Oder geht es um die Förderung von Hochschulen in Osteuropa?

Ja, auch. Die Kurzbezeichnung lautet: Europäisches Mobilitätsprogramm. Der Name dieses Programms erinnert an den berühmten Humanisten Erasmus von Rotterdam und ist das Akronym für *European community action scheme for the mobility of university students*.

Zu konstatieren ist, dass es nur wenige EU-Programme gibt, die derart erfolgreich

waren bzw. sind. Vielleicht ist es sogar das Projekt, das dem europäischen Gedanken am meisten gerecht wird und dessen bestes Aushängeschild ist. Beginnend als einfaches (dezentrales) Hochschulkooperationsprogramm (HKP), getragen von einzelnen Hochschullehrern, wurde es in den Jahren bzw. über die jeweiligen 5-jährigen Programmgenerationen hinweg immer komplexer und führte zu einer Bündelung der administrativen und organisatorischen Belange in den zentralen Akademischen Auslandsämtern/International Offices.

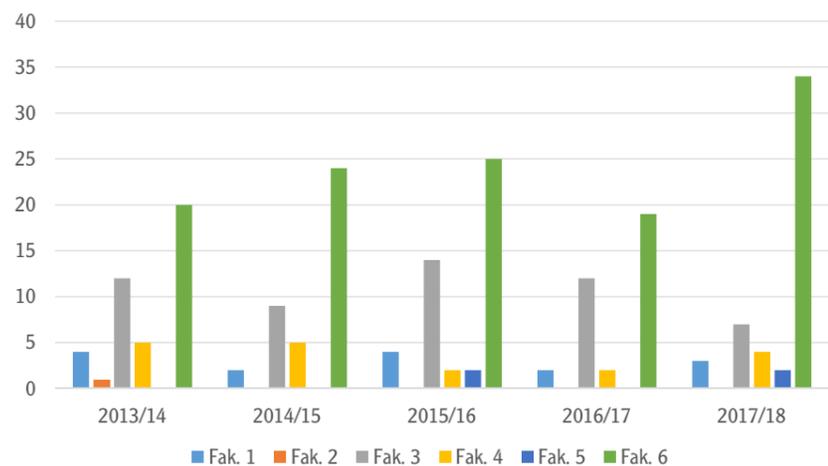
Da es beim initiierten europäischen Austausch jedoch nicht einzig und allein um das Sammeln von schiefer Auslandserfahrung geht, sondern den Studierenden ein möglichst reibungsverlustfreies Studieren hier und da ermöglichen soll, gab (und gibt) es natürlich ein Äquivalenzproblem. Das führte zum Bologna-Prozess und zur europaweiten Umstellung auf modularisierte Studiengänge im Bachelor-/Mastersystem. 1989 wurde im Rahmen des ERASMUS-Programms das European Credit Transfer System (ECTS) eingeführt. Ab 1994 – mit Einführung der Programme LEONARDO 1 und SOKRATES 1 – mussten alle ERASMUS-Aktivitäten von den Hochschulen in einem institutionellen Gesamtansatz in Brüssel beantragt werden. Zudem musste eine „Erklärung zur Europäischen Bildungspolitik“ mit eingereicht werden, eine Art europaorientierte Internationalisierungsstrategie. ERASMUS entwickelte sich damit zunehmend zu einem strategisch positionierten Programm. Im Zeitraum 2000–2006 wurde das Programm unter dem Namen SOKRATES 2 weiterentwickelt. Sozusagen als „Eintrittskarte“ für das Gesamtprogramm waren die Hochschulen verpflichtet – nun

relativ aufwändig – jeweils eine ERASMUS University Charter (EUC) beantragen. Im Programm SOKRATES 2 war u. a. das lebensbegleitende Lernen ein neuer Aspekt. Daher wurde parallel dazu auch ein eigenes Teilprogramm zur Erwachsenenbildung eingeführt: GRUNDTVIG. Neu war auch die Aufnahme Maltas und der Türkei als ERASMUS-Kooperationspartner. Um Europa weltweit als Spitzen-Hochschulbildungsstandort zu etablieren, wurde 2004 das Aktionsprogramm ERASMUS Mundus zur Förderung internationaler Masterstudiengänge sowie von Masterstudierenden außerhalb der EU eingeführt.

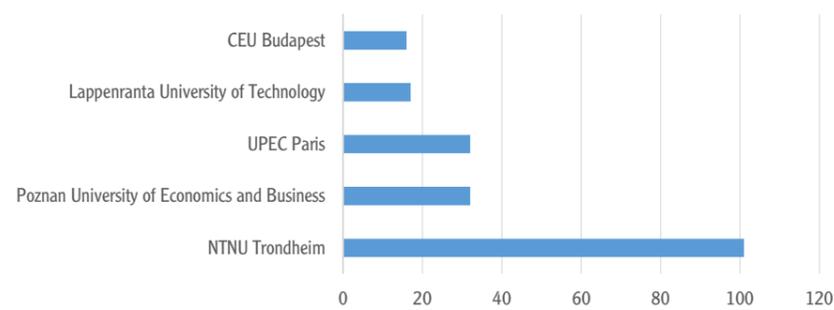
SOKRATES 2 wurde abgelöst durch das „Programm für lebenslanges Lernen (LLP)“ im Zeitraum 2007–2013. Es führte u. a. die bis dahin parallelen Programme SOKRATES und LEONARDO zusammen. SOKRATES wurde als Programmname aufgegeben, der Name ERASMUS als Bezeichnung des Programms unter dem Dach von LLP weitergeführt. Neu waren nun u. a. die Förderung von zusätzlichen Auslandspraktika für Studierende sowie die Möglichkeit zur Teilnahme an Weiterbildungsprojekten für das Hochschulpersonal. Als neue Kooperationsländer kamen hinzu: Kroatien und Mazedonien.

In die Vorbereitung der nächsten Generation eines europäischen Bildungsprogramms in Nachfolge von LLP mit dem Arbeitstitel „ERASMUS für alle“ für den Zeitraum 2014–2020 wurden innerhalb Deutschlands durch den DAAD erstmals die Akademischen Auslandsämter einbezogen, die ihre Erfahrungen, Wünsche und Vorstellungen für die nächste Förderphase zum Teil erfolgreich unterbringen konnten.

Das neue Programm nannte sich „ERASMUS+“ – ein Name, der für meine Begriffe nicht so ganz glücklich gewählt ist. Zwar ist das Unterprogramm ERASMUS (Hochschulbildung) tatsächlich das wichtigste und erfolgreichste im gesamten Projekt. Jedoch suggeriert der Name ERASMUS+, dass dieses nunmehr super umfangreiche Projekt hauptsächlich ERASMUS enthält – also hauptsächlich den Studierendenaustausch betrifft. Dem ist aber nun ganz und gar nicht so. Unter dem Dach von ERASMUS+ sind all die bisher so erfolgreichen Mobilitätsprogramme für Hochschulen, Studierende, Schüler und Jugendliche vereint, die so klangvolle Namen hatten wie LEONARDO, LINGUA, COMETT, TEMPUS, ALFA und auch JEAN MONNET. Darüber hinaus beinhaltet ERASMUS+ noch diverse



Erasmus-Studium-Mobilitäten nach Fakultäten



TOP 5 der beliebtesten Austauschpartner Freiberger Studierender

weitere Programmlinien, in denen es z. B. um gemeinsame Studienprogramme geht, um die Förderung strategischer Partnerschaften oder um den Aufbau von Bildungs-Strukturen in Ländern außerhalb der EU sowie natürlich um die individuelle Mobilität von Studierenden und Hochschulpersonal – also: das eigentliche und ursprüngliche ERASMUS-Programm. Neu ist hier die Programmschiene ERASMUS mit Partnerländern (also mit Ländern außerhalb der EU).

Eine Vereinfachung der Administration der Programmdurchführung wurde in all den Jahren leider nicht erreicht; die stetige Erweiterung des Programms, eine Reihe von Verwaltungsvorschriften, Programmvorgaben sowie die Einführung einer zentralen Software verkomplizierten die Prozesse und stellten auch unser IUZ vor neue (personelle) Herausforderungen.

Festzuhalten ist jedoch, dass mit ERASMUS seit 1987 europaweit über drei Millionen Studierende gefördert wurden, rund 520.000 davon aus Deutschland. Eine Befragung ergab übrigens, dass 27 Prozent der ERASMUS-Studierenden ihren Lebenspartner im Ausland gefunden haben. Man hat daraus geschlussfolgert,

dass es nun auch schon bereits eine Million ERASMUS-Babys geben müsste. In Zeiten der heftig aufkeimenden Nationalisierungsbestrebungen und sie hier und da begleitender Fremdenfeindlichkeit auch innerhalb Europas ist das doch ein schöner Nebeneffekt dieses Programms, oder?

ERASMUS an der TU Bergakademie Freiberg

Anfangen hat hier alles 1992. Prof. Peter Klimanek (Metallkunde) und Prof. Gert Wolf (Chemie) hatten Partner in Frankreich (Metz), Spanien (Barcelona) und Österreich (Leoben), mit denen individuell ein Hochschulkoooperationsprogramm vereinbart wurde. Damit konnten die ersten fünf Studierenden ausgetauscht werden und ein ERASMUS-Stipendium der EU erhalten. Das war recht einfach. Das damalige Akademische Auslandsamt in der Akademiestraße 6 (unter der Leitung von Dr. Reinhard Zimmermann) war hier nur marginal beteiligt. Das sollte sich ab 1994 dramatisch ändern. Bereits die Antragstellung für das nächste Programm (SOKRATES) konfrontierte uns mit neuen Herausforderungen. So mussten der damalige Auslandsamtsleiter (Dr.



Nacht der Wissenschaft: Andrang beim IUZ-Infostand

Holger Finken) und ich einige Tage ins Universitätsrechenzentrum umziehen, da im Auslandsamt nicht die rechentechnischen Voraussetzungen gegeben waren, um überhaupt einen Antrag erstellen zu können ...

Inzwischen, nach nunmehr 25 Jahren, können auch wir (in der Summe) imposante Zahlen vermelden: Insgesamt profitierten von ERASMUS je 800 „Outgoings“ und „Incomings“: Studierende, Dozenten, Praktikanten. Betrachtet man die Zahlen pro Studienjahr, ergibt sich ein eher ernüchterndes Bild: Im Schnitt nehmen derzeit 70 Freiberger Studierende pro Studienjahr die Chance wahr, ein ERASMUS-Semester im Ausland zu verbringen (Studium oder Praktikum; im EU-Jargon spricht man von Mobilitäten). Das sind nicht einmal zwei Prozent der Studentenschaft!

Die Zahl der Outgoer schwankt im Vergleich zwischen den einzelnen Fakultäten sehr. Besonders aktiv sind Studierende der Geo- und der Wirtschaftswissenschaften – letztere nicht nur a conto der Eleven des Studiengangs International Business in Developing and Emerging Markets (IBDEM), die als einzige einen obligatorischen längeren Auslandsaufenthalt in ihrer Studienordnung verankert haben. Das erleichtert im Allgemeinen auch die Anerkennung der im Ausland erbrachten Leistungen. Studierende anderer Studiengänge haben meist Schwierigkeiten, sich tatsächlich wahrgenommene Pflichtlehrveranstaltungen auch anerkennen zu lassen; Anerkennungen für freie Wahlmodule sind meist unproblematisch.

Wäre manches nicht so verkompliziert, gäbe es vielleicht viel mehr Teilnehmer. Kompliziert ist dabei nicht nur, sich im nunmehr recht straff gestrickten und voll gepackten Studienablauf – vor allem in



Anschnitt der ERASMUS-Geburtstagstorte durch den Rektor zum Internationalen Tag 2017

den Bachelorstudiengängen – ein Semester freizuschaukeln, um ein Auslandssemester einlegen zu können. Kompliziert sind auch die Vorgaben der EU hinsichtlich der verpflichtenden Anerkennung der im Ausland erbrachten Studienleistungen. Und dies betrifft die Studierenden, die Lehrenden, die Prüfungsausschüsse und uns als zentrale ERASMUS-Verwaltungseinheit am IUZ gleichermaßen. Der Dokumentationsaufwand für eine „einzelne Mobilität“ ist gigantisch.

Inzwischen gibt es auf Grund der erforderlichen engeren Verdrahtung der Prozesse für das Organisieren eines Auslandssemesters zwischen Student, IUZ, Studierendenbüro, Prüfungsausschüssen und ERASMUS-Beauftragten in den Fakultäten wohl kaum noch jemanden an unserer Hochschule, der nicht wüsste, was ERASMUS ist. Und da sind ja auch noch die zahlreichen „Incomings“, also ERASMUS-Studierende, die von den Partner-Unis kommandiert für ein oder zwei Semester bei uns verbringen. Zumeist eine fröhliche, unbekümmerte Klientel mit oft nur unzureichenden Deutsch- oder Englischkenntnissen ...

Durch die EU-Kommission wird auch ständig an den rechentechnischen Lösungen gefeilt. 2015 stellte man den teilnehmenden ERASMUS-Hochschulen in Europa ein verpflichtendes Software-System zur Verfügung, über welches hinfort die Dokumentation erfolgen musste (Mobility-Tool). Parallel dazu hat jede Hochschule noch ihre jeweils eigene Datenbanklösung zur Verwaltung der Partnerschaften, der Finanzen, zur Erstellung von Serienbriefen etc. Auch Nebenkompenten zur Förderung der ERASMUS-Mobilität bzw. zur Qualitätssteigerung werden durch die EU ständig neu erfunden. So zum Beispiel ein (selbstverständlich verpflichtendes)

Sprachtest-Tool (als Selbsttest für die Studierenden gedacht, nicht zu Selektionszwecken für die Gasthochschulen!). Auch die Überprüfung der Absolvierung der Sprachtests sowie die daraufhin mögliche Vergabe von Sprachkurslizenzen an die eigenen „Outgoings“ obliegt den zentralen Verwaltungen, hier also dem IUZ.

Und nun stelle man sich noch kurz vor: 1992 gab es für das Sachgebiet Auslandsstudium (inklusive sämtlicher Austauschprogramme, also auch ERASMUS) eine Sachbearbeiterin mit 0,66 VzÄ. 2017 gibt es für das Sachgebiet Auslandsstudium genau noch eine Sachbearbeiterin mit 0,66 VzÄ. ...! Also über Langeweile gibt es da kaum Klagen ...

Selbstverständlich haben wir uns der Erfolgsgeschichte von ERASMUS verpflichtet gesehen und es uns nicht nehmen lassen, auch an der TU Bergakademie Freiberg 30 Jahre ERASMUS entsprechend zu würdigen. Zur Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft am 17. Juni gab es Europa nicht nur zum Anfasseln, sondern auch zum Essen. Bei einem Glücksrad konnten große und kleine Entdecker Süßigkeiten aus europäischen Ländern gewinnen. (Hätten Sie gewusst, dass Mentos aus den Niederlanden kommt und Fisherman's Friends aus Großbritannien?) Zum Internationalen Tag am 28. Juni wurde dann die offizielle Geburtstagstorte vom Rektor angeschnitten.

Unsere Prognose für die Zukunft (falls uns jemand fragt): ERASMUS wird in den nächsten Jahrzehnten seine Erfolgsgeschichte fortsetzen! Unsere Wünsche für die Zukunft (falls uns jemand fragt): ERASMUS möge sich an unserer Hochschule noch weitaus stärker etablieren – verbunden mit einer angemessenen Aufstockung des involvierten Verwaltungspersonals.

Dr. Erika Krüger ist neue Ehrensatorin der TU Bergakademie Freiberg



V.l.: Prof. Klaus Groll, Rektor Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, Ehrensatorin Dr. Erika Krüger, Fritz Lütke-Uhlenbrock

Dr. Erika Krüger ist seit dem 28. Februar 2017 Ehrensatorin der TU Bergakademie Freiberg. Damit würdigt die Hochschule ihre Tätigkeit als Vorstandsvorsitzende der Dr. Erich Krüger-Stiftung, die seit 2006 die Technische Universität in außerordentlichem Maße unterstützt.

Die Stiftung ermöglichte unter anderem den Aufbau der Graduierten- und Forschungsakademie, das Freiburger Biohydrometallurgische Zentrum sowie das Krüger-Forschungskolleg Freiburger Hochdruck-Forschungszentrum. Dr. h.c. Erika Krüger fördert unter anderem 35 Deutschlandstipendiaten, das sind besonders engagierte Studierende der TU Bergakademie Freiberg, sowie die Internationalisierung der Hochschule.

Dr. h. c. Erika Krüger erhielt für ihre Verdienste und ihr Engagement für die Universität die Ehrensatorwürde der TU Bergakademie Freiberg. Im Jahr 2006 hat sie gemeinsam mit ihrem Mann Peter Krüger die Dr. Erich Krüger-Stiftung gegründet und ist seit 2007 deren Vorsitzende. Dr. Erika Krüger unterstützt die Universität in Freiberg nicht nur mit der Krüger-Stiftung, sondern auch privat mit großem Engagement und erheblichen finanziellen Mitteln.

„Dr. Erika Krüger ist eine der bedeutenden Frauen, die sich mit ihrem herausragenden Wirken für die Förderung der Wissenschaft und Bildung an der TU Bergakademie Freiberg eingesetzt hat. Erst durch das Engagement unserer verdienten Stifterin haben wir viele wegweisende Projekte in Forschung und Lehre verwirklichen können“, würdigt Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, Rektor der TU Bergakademie Freiberg, die neue Ehrensatorin. „Ehrensator ist die höchste Auszeichnung, die die Bergakademie zu vergeben hat. Daher ist es für mich eine sehr große Ehre und Freude, diese Auszeichnung zu erhalten. Es ist für mich auch ein Zeichen einer großen Verbundenheit“, freut sich Dr. Erika Krüger.

„Die Stiftung verschafft den Doktoranden hervorragende Arbeitsbedingungen, und sie erlaubt der Universität, neue interdisziplinär angelegte Schwerpunkte in der Forschung zu setzen. Im Biohydrometallurgischen Zentrum werden zum Beispiel neue Verfahren zur Gewinnung von Metallen wie Indium und Germanium entwickelt, die dann auch in der Region eingesetzt werden können,“ so Laudator Prof. Michael Schlömann, Sprecher des Freiburger Biohydrometallurgische Zentrums.



Das Krügerhaus neben Schloss Freudenstein – von Frau Dr. Erika Krüger mit privaten Mitteln saniert – ist zu einem Schmuckstück für Freiberg geworden

Die Dr. Erich Krüger-Stiftung unterstützt an der TU Bergakademie Freiberg seit 2006 insbesondere die angewandte Forschung, etwa mit dem Krüger-Forschungskolleg Freiburger Hochdruck-Forschungszentrum oder mit dem Freiburger Biohydrometallurgischen Zentrum. Seit 2007 arbeiten und arbeiten 22 Doktorandinnen und Doktoranden aus 20 Professuren und vier Fakultäten der Universität im Rahmen der beiden Promotionskollegs. Die Stiftung hat sich zudem um die Forschungsinfrastruktur an der Universität verdient gemacht und Großgeräte angeschafft. Neben der Unterstützung des Aufbaus der Graduierten- und Forschungsakademie wurden bis jetzt neben den rund 35 Deutschland-Stipendien auch zahlreiche Doktoranden finanziert. Auch die Veranstaltungsreihe Krüger-Kolloquium, zu der seit 2010 herausragende Wissenschaftler und Persönlichkeiten zu Vorträgen nach Freiberg kommen, ist der Krüger-Stiftung zu verdanken. Mit eigenen privaten Mitteln hat Erika Krüger das Amtshaus neben dem Schloss Freudenstein in Freiberg saniert. Seit 2012 ist das Krügerhaus nun Heimstätte der Mineralogischen Sammlung Deutschland.

Erika Krüger wurde geboren als Erika Maria von Rendrop in Prien. Nach ihrer Ausbildung arbeitete sie als Leiterin und Erzieherin im familieneigenen internationalen Kinderheim. Ihre Hochzeit mit Peter Krüger fand im Jahr 1971 statt. Gemeinsam gründete das Ehepaar die Firma Schlemmermeyer und baute sie zu einer Delikatessen-Kette auf. Nach dem Verkauf des erfolgreichen Unternehmens widmete sich das Ehepaar Krüger dem Immobiliengeschäft. Heute ist Erika Krüger Geschäftsführerin der Renta GmbH Versicherungsvermittlungs- und Vermögensverwaltungsgesellschaft mbH, München. Im Jahr 2012 wurde ihr der Sächsische Verdienstorden verliehen. Im Jahr 2014 erhielt sie die Ehrendoktorwürde der TU Bergakademie Freiberg.

Zu Ehrensatoren können vom Senat Persönlichkeiten ernannt werden, die sich hohe Verdienste um die Universität und die Allgemeinheit erworben haben.



Weitere Informationen zur Krüger-Stiftung und den Projekten:
<http://tu-freiberg.de/stiftungen/kruieger-stiftung>



Fotos: Jürgen Veigt, SPV Weifen

CHILE-HAUS-FREIBERG seiner Bestimmung übergeben

Im Dezember 2006 sorgte die Gründung der „Dr.-Erich-Krüger-Stiftung“ an der TU Bergakademie Freiberg deutschlandweit für Aufsehen. Der Stifter Peter Krüger übergab damals der Bergakademie im Rahmen dieser nach seinem Vater benannten Stiftung ein mehrere Millionen Euro schweres Immobilienvermögen zum Zwecke des Ausbaus der Forschung. Die TU Bergakademie Freiberg hatte damit die zu diesem Zeitpunkt höchste Zuwendung eines privaten Stifters erhalten, die je einer staatlichen Universität in Deutschland zuteil wurde.

Doch das Engagement der Familie Krüger beschränkte sich nicht allein auf die Stiftung. Auch das KRÜGERHAUS auf dem Schloßplatz, das seit 2012 die Ausstellung „Mineralogische Stiftung Deutschland“ beherbergt, wäre ohne die Krügers nicht möglich gewesen. In den vergangenen Jahren widmete sich Frau Dr. Erika Krüger, die seit dem Tod ihres Mannes vor zehn Jahren Vorsitzende der Dr. Erich Krüger-Stiftung ist, einem weiteren Projekt: der

Errichtung des Chile-Hauses Freiberg. Mehr als eine Million Euro stellte Frau Dr. Krüger für den Kauf des Hauses und des Grundstücks, den Abriss des Hauses und den Neuaufbau sowie die Inneneinrichtung persönlich für dieses Vorhaben zur Verfügung. Zudem hat sie sich enthusiastisch um zahlreiche Details dieses äußerst geschmackvoll eingerichteten und rundum gelungenen Hauses selbst gekümmert.

Nachdem am 5. August des vergangenen Jahres der Grundstein für das Chile-Haus Freiberg gelegt worden war, sind inzwischen die ersten Mieter – chilenische Promovenden der Bergakademie – in das neue, hellblaue Haus in der Brennhausgasse 3 eingezogen. Die offizielle Übergabe erfolgte am 19. Oktober im Rahmen eines Festakts im Beisein des chilenischen Botschafters, Patricio Pradel. Künftig werden in dem Haus in unmittelbarer Nähe des Schloßplatzes chilenische Promovenden

und Gastwissenschaftler, die für Kurz- und insbesondere für Langzeitaufenthalte – also für mehrere Wochen oder auch ein ganzes Jahr – nach Freiberg kommen, leben. Dafür stehen in dem viergeschossigen Haus insgesamt sechs moderne und großzügige Apartments zur Verfügung: eins im Erdgeschoss, in dem es außerdem einen Gemeinschaftsraum mit eigener Küchenzeile gibt, jeweils zwei Apartments in der ersten und zweiten Etage sowie ein weiteres, ganz besonders schönes im Dachgeschoss. Die einzelnen Wohneinheiten verfügen über Fußbodenheizung. Alle sind mindestens 30 m² groß, haben unterschiedliche Grundrisse und sind für jeweils einen Mieter gedacht. Was die Inneneinrichtung der hellen und farbenfrohen gestalteten Apartments betrifft: Neben einem Wohn- und einem Schlafbereich gibt es eine kleine Küchenzeile sowie ein Bad mit ebenerdiger Dusche. Den Bewohnern des Hauses steht außerdem ein Waschmaschinenraum zur Verfügung. Im Haus liegt Datennetz (das Campus-Netz), auch als WLAN (Eduroam), an. Das Treppenhaus wird durch Fotos von chilenischen Landschaften geschmückt.

Genauso gelungen wie das Haus selbst ist auch der Garten hinter dem Haus: Er wurde gemeinsam mit dem Garten des benachbarten Hauses (der Brennhausgasse 5, die ebenfalls durch die TU Bergakademie Freiberg genutzt wird) gestaltet und wirkt dadurch großzügig und offen. Gepflegte Rasenflächen und Pflanzen, liebevoll gestaltete kleine Mauerchen, Bänke und eine Feuerstelle laden hier zum Verweilen ein.

Doch wie kam es überhaupt dazu, dass in Freiberg ein Chile-Haus entstand? Die Anregung dafür bekam Frau Krüger durch Prof. Gerhard Heide und Prof. Michael Schlömann. Für die TU Bergakademie Freiberg ist Chile seit langem ein wichtiger Partner. Die wechselseitigen Kontakte gehen bereits auf das Jahr 1846 zurück. In jenem Jahr wurde mit Heinrich Sewell der erste Student immatrikuliert, der später in Chile tätig wurde. In den letzten Jahren konnte die Bergakademie ihre Kontakte zu chilenischen Universitäten erheblich ausbauen. Das Interesse an einer chilenisch-deutschen Zusammenarbeit ist auf beiden Seiten groß. Inzwischen pflegen mehrere Institute unserer TU eine Zusammenarbeit mit chilenischen Partnern. An fast allen Freiburger Fakultäten gibt es chilenische Studenten und Promovenden – allein seit 2014 sind es insgesamt fast 50!

Prof. Gerhard Heide und Prof. Michael



Fotos: Jürgen Vogt, SPV Meilen, Gerhard Heide

Das CHILE-HAUS-FREIBERG im Bild (von links oben nach rechts unten): Zustand des Gebäudes vor der Sanierung. Die Stifterin Frau Dr. Erika Krüger vor dem Rohbau. Der zu sanierende Baukörper bietet einige Herausforderungen für die Bauleute. Inneneinrichtung: Wohnliche Räume, moderne Bäder. Gartenanlage hinter dem Haus.

Schlömann haben am Ausbau dieser Beziehungen großen Anteil. Sie starteten vor fünf Jahren die „Domeyko-Initiative“, ein deutsch-chilenisches Kooperationsprojekt für Bildung und Forschung im Bergbaubereich, das 2012 unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie des chilenischen Bergbauministeriums gegründet wurde. Der Name der Initiative geht auf Ignacio und Casimiro Domeyko zurück. Beide, Vater Ignacio und Sohn Casimiro, hörten in Freiberg Vorlesungen bzw. studierten an der Bergakademie. Später erwarben sie sich in Chile große Verdienste, u. a. im Bergbau. Ignacio Domeyko wurde sogar Rektor der Universidad de Chile, sein Sohn wurde dies in Copiapó.¹

Neben der TU Bergakademie Freiberg, die dieses Netzwerk koordiniert, sind an der Domeyko-Initiative drei chilenische Universitäten – die Universidad Católica del Norte (UCN) in Antofagasta, die Universidad de Atacama (UDA) in Copiapó und

die Universidad de Concepción (UdeC) – sowie die Technische Fachhochschule Georg Agricola in Bochum beteiligt. Darüber hinaus haben sich weitere gute Kontakte zu chilenischen Universitäten entwickelt, insbesondere zur Universidad de Santiago de Chile (USACH), zur Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) und auch zur Universidad de Chile (UCHILE). Im Rahmen dieses Netzwerks werden u. a. Qualifizierungsmaßnahmen, darunter Promotionen, gefördert. Eine besondere Rolle spielen dabei Doppelpromotionen. Durch ein Doppelpromotionsabkommen zwischen zwei Universitäten kann ein Promovend sowohl den Dokortitel seiner Heimat- als auch den der Partneruniversität erwerben. Voraussetzung dafür ist ein mehrmonatiger, in der Regel mindestens einjähriger Aufenthalt an der Partneruniversität. Der Doktorand wird dabei von je einem Mentor in Chile und in Deutschland betreut. Derzeit besteht ein solches Doppelpromotionsabkommen zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Universidad Católica del Norte. Ein zweites

hat die Freiburger Universität im Oktober mit der Universidad de Santiago de Chile (USACH) abgeschlossen.

Frau Krüger war von der Idee des Gästehauses von Anfang an begeistert und ergriff schnell die Initiative. Das Ergebnis kann sich sehen lassen. Künftig können nun chilenische Nachwuchswissenschaftler und Forscher im Chile-Haus wohnen – und sie werden sich dort sicher sehr wohlfühlen!

Die ersten zehn chilenischen Studenten an der Bergakademie Freiberg:

Immatrikulation	Name
1846	Heinrich Sewell
1852	Adolph Eastmann
1852	William Lyon
1853	David Montt
1853	Carlos Santamaria
1854	Carlos Durado
1855	Gustav Smigilsky
1858	Heinrich Stuvén
1859	Emeterio Moreno
1859	Flavio Zuleta

■ Birgit Seidel-Bachmann

¹ Siehe ACAMONTA 2012, S. 165–166.

Einige Splitter zur architektonischen Umsetzung des Forschungsbaus

Dirk C. Meyer¹, Theresa Lemser¹



Entwurf zur Außenansicht des ZeHS

Violettes Mineral ... so beschrieb das „BauNetz“, eine deutschsprachige Online-Publikation, die täglich aus der internationalen Architekturwelt berichtet, den Entwurf für den Forschungsbau des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) von Heine, Wischer und Partner, Freie Architekten aus Dresden.

Das Team bewarb sich im Januar 2016 um die Planung des Vorhabens und konnte sich in der zweiten Phase des Verhandlungsverfahrens im offenen Wettbewerb durchsetzen. Die Entscheidung für diesen Entwurf wurde vom Auftraggeber Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Niederlassung Chemnitz, unter anderem damit begründet, dass dieser den städtebaulichen Leitgedanken eines „Wissenschaftskorridors“ berücksichtige. Hervorgehoben wurde zudem das Konzept der Unterteilung des zu umbauenden Raumes in Labortrakt, Versuchshalle und Büro, die kurze Wege und zweckmäßige Weitungen an besonders hoch frequentierten Bereichen und damit eine optimale Nutzung des ZeHS als Zentrum der Forschung und des wissenschaftlichen Gedankenaustauschs für alle Fakultäten der Hochschule ermöglicht.

¹ Prof. Dr. Dirk C. Meyer (Direktor des ZeHS und des Instituts für Experimentelle Physik), Ass. iur. Theresa Lemser (Referentin)

Das zu errichtende ZeHS wird sich nördlich des Stadtzentrums von Freiberg auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg befinden und eine der Stationen des „Wissenschaftskorridors“ bilden. Vorteilhaft ist seine unmittelbare Nähe zur Neuen Mensa sowie zum Bibliotheks- und Hörsaalzentrum, etwa im Hinblick auf die Ausrichtung von Konferenzen, vor allem

zu Forschungsgegenständen des ZeHS. Das Gebäude des ZeHS soll aus einem vier Geschosse umfassenden Büroteil bestehen, an den sich zweigeschossige Laborspangen anschließen, die einen Innenhof umgeben und im darunter befindlichen Kellergeschoss die erforderlichen Technikflächen vorhalten. Die beiden Labortrakte werden von Technikumshallen begrenzt



Entwurfsansicht des Treppenhauses des ZeHS

© (2) Heine, Wischer und Partner, Freie Architekten

sein, wobei vom Konzept her eine schlüssige Zuordnung zu den beiden Bereichen „Prozesse“ und „Materialien“ vorgesehen wird. Gedacht ist zudem an Nutzungen durch Arbeitsgruppen aller Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg, hauptsächlich aber natürlich eine infrastrukturelle Bündelung der Kompetenzen der Universität im Bereich der Hochtemperaturprozesse und -materialien – mit der Möglichkeit ihres weiteren Ausbaus und/oder ihrer späteren Arrondierung.

Das Gesamtgebäude wird hinsichtlich der Gestalt und Anordnung seiner Geschosse wohlüberlegt in sich abgestuft sein und sich damit gut in den städtebaulichen Rahmen wie auch in den Verlauf der Umgebungskontur einfügen. Der Neubau wird an der fußläufigen Verbindung zwischen Campus und Altstadt situiert sein – mit seinem Haupteingang am auf diese Weise ergänzten Wissenschaftskorridor.

Millionen für eine sichere Mensa



In der Cafeteria war im Sommer noch alles wie gewohnt. Mitte August jedoch wurde auch hier begonnen, die neuen Vorschriften des Brandschutzes umzusetzen.

Die Neue Mensa bedarf einer brandschutztechnischen Ertüchtigung. Vieles wurde bereits im Verborgenen erledigt, jetzt aber gibt es Beeinträchtigungen für unsere Gäste. Der Startschuss fiel in der Cafeteria.

Alles begann vor vier Jahren, als der Ausgabebereich im Großen Saal der Mensa umgestaltet wurde. Bei der Öffnung der Zwischendecken traten Fehler zutage, die das Studentenwerk veranlassten, sicherheitshalber einen Prüfsachverständigen für Brandschutz einzuschalten. Und dann kam es wie befürchtet: Die gefundenen kleineren Probleme zogen die Überprüfung weiterer Areale der Mensa nach sich, sodass letztlich eine Komplettprüfung des gesamten Gebäudes durchgeführt wurde. Das Prüfergebnis besagte: Es besteht dringender Handlungsbedarf!

Was war geschehen? Seit den neunziger Jahren, als die Mensa komplett saniert wurde, haben sich die Vorschriften zum Brandschutz wesentlich verändert. Auf der sehr umfangreichen „to do Liste“ des Prüfsachverständigen standen zum Beispiel

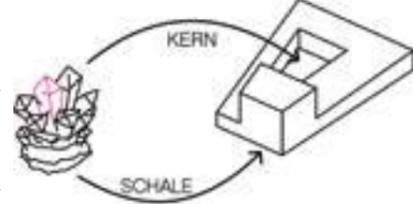
- die offenen Treppen links und rechts des Foyers,
- die Möbel im Chillout-Bereich,
- die Anzahl der Fluchtwege,
- das Alter der Notstromanlage,
- eine mehrsprachige Ansage für den Notfall und
- viele Türen innerhalb des Hauses.

Das Wichtigste jedoch, was eingebaut werden muss, ist eine Hochdruck-Sprühnebel-Anlage, die im Brandfall sofort wirksam wird. Eine solche Anlage besteht zum Großteil aus Rohren, die möglichst ver-

steckt von einem zentralen Punkt aus in jeden Winkel des Gebäudes führen. Die Gäste bemerken einen solchen Umbau nach Abschluss der Bauarbeiten nur an den kleinen Sprinklern, die sich dann in der Decke befinden. Bis dieser Zustand jedoch erreicht sein wird, ist noch viel zu tun.

Um eine Schließung des Gebäudes zu vermeiden, wurde mit dem Prüfsachverständigen ein Ablaufplan entwickelt, den es exakt einzuhalten gilt. Vieles wurde seit diesem Zeitpunkt schon abgeändert, und nur die wenigsten Veränderungen haben unsere Gäste davon bewusst erlebt. Wer hat zum Beispiel bemerkt, dass im kleinen Konferenzraum ein zweiter Fluchtweg eingebaut wurde? Wem fällt es auf, dass das Gebäude noch vor zwei Jahren zwei Ausgangstüren weniger hatte? Und wer kann sich noch daran erinnern, dass die Treppen zum Obergeschoss früher offen waren? Auch die Fenster im Großen Saal haben auf einmal Stellmotoren bekommen, ohne dass dies großartig auffiel. All diese Auflagen wurden bereits erfüllt, und das bei laufendem Betrieb.

Natürlich braucht man für ein solch großes Vorhaben auch das nötige Geld. Der Finanzplan sagt aus, dass die Gesamtheit aller Maßnahmen knapp 3 Mio. Euro kosten wird. Eine solche Summe ist vom Studentenwerk nicht aufzubringen. Eine knappe Million Euro war der maximale Betrag, der aus Eigenmitteln aufzubringen ist. Nach langen Verhandlungen mit verschiedenen Partnern und Unterstützung durch mehrere Abgeordnete des



Die Grundidee eines aufgeschlagenen Minerals, das von einer äußeren Schale umschlossen ist, prägt den Entwurf

Durch Realisierung der vom Auftraggeber vorgeschlagenen besonderen Materialität der Außenfassaden und die dazu gegensätzliche, an ein gespaltenes Mineral erinnernde Innenhofgestaltung wird das Gebäude eindeutig in der Bergstadt Freiberg verortet. Das Ansehen, den Innenhof des ZeHS einem Kristall vergleichbar zu gestalten, regte einen Kommentator im Forum des „BauNetz“ dazu an, den Entwurf als ein Anknüpfen an die vom Architekten Bruno Taut (1880-1938) versuchte „alpine Architektur“ zu interpretieren, mit der dieser sich der Idee der Verschmelzung von Architektur und Natur widmete. Bruno Taut hatte im Jahr 1919 eine Reihe kristallartiger Bauten, mit denen er eine an die Alpen erinnernde fantastisch-expressionistische Kunstlandschaft erschaffen wollte, entworfen. Bekannt wurde Taut vor allem durch Großsiedlungen in Berlin im Stile des Neuen Bauens, einer Bewegung in Architektur und Städtebau in Deutschland in der Zeit vor dem 1. Weltkrieg bis in die der Weimarer Republik.

Sächsischen Landtags stehen wir nun hoffentlich unmittelbar vor der Zusage einer großen Fördersumme, die uns das Projekt wie geplant beenden lassen kann.

Wie bereits erwähnt, müssen für den Einsatz einer Hochdruck-Sprühnebel-Anlage viele Rohrleitungen verlegt werden, und das bedeutet: Im gesamten Gebäude müssen auf beiden Etagen alle Decken demontiert werden, um nach Einbau der notwendigen Technik ihren angestammten Platz wieder einzunehmen. Und das werden unsere Gäste sehr wohl bemerken, denn dafür müssen wir nacheinander die einzelnen Bereiche sperren.

Begonnen wurde mit der Cafeteria, die sich ab August dieser Veränderung unterziehen musste. Wir sind übergangsweise mit dem Cafeteriaangebot in den Kleinen Speisesaal gezogen, um Kaffee und kleine Speisen auch weiterhin anbieten zu können. Einen Trost können wir aber schon an dieser Stelle geben: Wenn die Cafeteria wieder öffnet, wird sie sich einer kleinen Schönheitskur unterzogen haben, und neue Kaffeeautomaten mit vielen Spezialitäten wird es auch geben. Nach zehn Jahren treuem Dienst haben sich die jetzigen Maschinen den Ruhestand auch redlich verdient ...

Über den weiteren Ablauf der Bauarbeiten werden wir unsere Gäste in der Mensa auf dem Laufenden halten. Geplant ist, dass die Bauarbeiten Ende 2018 abgeschlossen sind. Wir wissen, dass diese Zeit sowohl für unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, aber auch für unsere Gäste nicht einfach wird. Aber bei all den großen und kleinen Beeinträchtigungen, die es geben wird, wünschen wir uns nur eins: Bitte bleiben Sie uns und unseren Angeboten treu!

■ Thomas Schmalz



Von den Gästen unbemerkt wird in den hinteren Räumen der Mensa Agricolastraße bereits an der brandschutztechnischen Ertüchtigung gearbeitet. Stück für Stück müssen alle Zwischendecken demontiert und nach Einbau der Sprühnebelanlage wieder montiert werden.

Die Sammlung Ulrich Lipp in Freiberg

Andreas Massanek¹, Gerhard Heide

Es war am 13. März 2016, als der Kustos der Mineralogischen Sammlungen, Dipl.-Min. Andreas Massanek, eine E-Mail erhielt, die sofort sein Interesse weckte. Jose Cole-ro Molina, Mitglied des Vorstands der Stuttgarter Mineralien- und Fossilienfreunde e. V., schrieb ihm im Namen des Vereins, dass er – und über ihn der Verein – von einer Dame kontaktiert worden sei, die die Sammlung ihres Vaters verkaufen wolle. Ihr Vater war Ulrich Lipp, Diplom-Mineraloge aus Schneeberg im Erzgebirge.



Ulrich Lipp

Nach einer ersten Besichtigung der Sammlung durch Vereinsmitglieder kam man zu der Einschätzung, dass kaum Stufen von Museumsqualität darunter waren und dass auf vielen Stufen zwar Nummern angebracht wären, aber die Etiketten

¹ TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen

fehlten. Einige Mitglieder des Vereins wollten trotzdem Teile der Sammlung kaufen. Der Vorstand befand aber, dass es schade wäre, wenn diese Sammlung zerrissen würde. Eben deshalb hatte sich Herr Molina an uns gewandt, um herauszufinden, ob die Sammlung für die Bergakademie von Interesse sein könnte. A. Massanek kannte die Sammlung bis zu dem Zeitpunkt persönlich nicht, wusste aber von ihrer Existenz durch seine langjährigen Kontakte zum Sammler und Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg, Siegfried Flach, dessen umfangreiche, mineralogisch orientierte Lagerstättensammlung im letzten Jahr (2016) als Stiftung übernommen werden konnte. Was lag also näher, als den Siegfried Flach anzurufen und ihn um seine Meinung zur Sammlung Lipp zu befragen? Siegfried Flach wurde sofort hellhörig, denn er kannte die Sammlung seines Freundes



Rauchquarz mit Orthoklas, Granitsteinbruch Naundorf bei Freiberg, Sachsen, 7,5 x 11 cm

sehr gut und hatte nach dessen Ableben auch ein Wertgutachten für die Familie erstellt. Während des Telefonats erfuhr Massanek dann auch, dass Siegfried Flach mittlerweile umfangreiche Unterlagen, die er von Ulrich Lipp persönlich bekommen hatte, wiedergefunden hatte, die er nach

einem Kellerbrand schon verloren geglaubt hatte. Daraus nährte sich die Hoffnung, dass es möglich sein könnte, den vielen Stufen, die kein Etikett mehr hatten, einen exakten Fundort zuweisen zu können.

Wenige Tage später bekamen wir einen Anruf, diesmal von Siegfried Flach. Er hatte sich Tag und Nacht mit der „wieder aufgetauchten Lippschen Sammlung“ befasst und fand die Idee wunderbar, dass seine Sammlung und die von Ulrich Lipp in Freiberg vereint für die Nachwelt bewahrt und für die Wissenschaft zur Verfügung stehen würden. Wir berichteten ihm von unserem nach wie vor nicht vorhandenen Budget zum Ankauf von Mineralien oder gar ganzer Sammlungen. Da wurden wir von Siegfried Flach unterbrochen und er sagte: „Ich kaufe die Sammlung und schenke sie euch!“ Er hat das dann auch ganz schnell in die Tat umgesetzt, so dass A. Massanek schon kurze Zeit später zur Abholung der Sammlung nach Stuttgart fuhr. Hier erhielt er tatkräftige Unterstützung durch die Stuttgarter Mineralienfreunde: „Thomas Jachmann half mir selbst beim Verpacken der Stufen. Dafür möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich bedanken.“

Nachdem die Stufen verpackt waren, fuhr der Kustos gleich am nächsten Tag zu Siegfried Flach nach Damme. Hier wurden sämtliche Stufen wieder ausgepackt. Die Anstrengungen an den folgenden zwei Tagen waren dann sehr erfolgreich, denn wir konnten mit den Aufzeichnungen von Ulrich Lipp und den Nummern auf den Objekten die Fundorte zu fast allen Stufen finden, die kein Etikett hatten und diejenigen mit Etiketten überprüfen und ihre Identität bestätigen. Nun hat die Sammlung einen ganz anderen Wert. Die überwiegende Zahl der Stufen hat Belegcharakter, und die Fundortangaben sind sehr präzise. So finden sich bei den meisten Stufen aus dem Schlema-Hartensteiner Revier im Erzgebirge neben der Angabe



Pyrrhopyrit auf Dolomit und Siderit, Gang Brahma-putra, Schacht 366, Aue-Alberoda, Erzgebirge, Sachsen, 9 x 7,5 cm



Mit Kommilitonen nach einer Befahrung des Lehrbergwerks Reiche Zeche während seiner Freiburger Studienzeit; vorn knieend in der Mitte: Ulrich Lipp

des Schachts auch die Bezeichnung des Ganges, die Teufenangabe und die des Abbauorts. Damit sind diese Stufen von hohem wissenschaftlichen Wert. Doch woher hatte Ulrich Lipp diese genauen Fundortangaben? Das wird schnell klar, wenn wir kurz auf seinen Lebenslauf schauen [nach Flach, 2016]:

Ulrich Lipp wurde am 17. August 1929 geboren und begann bereits als 17-Jähriger im Oktober 1946 als Fördermann und Hauer bei der damaligen SAG Wismut. 1948 schloss er einen sechsmonatigen Lehrgang am ehemaligen Bergtechnikum in Freiberg mit Erfolg ab und wurde dann als Steiger eingesetzt. Nach einem weiteren Lehrgang am selben Bergtechnikum vom Juni 1950 bis Juli 1951 bestand er anschließend an der Bergakademie Freiberg, Hauptabteilung Fernstudium, extern die Sonderreifeprüfung und wurde zum Herbstsemester 1951 an der Bergakademie als Fernstudent, Fachrichtung Bergbaukunde, immatrikuliert. Im Sommer 1952 wechselte er die Fachrichtung und begann schon im Herbst das Direktstudium am Mineralogischen Institut der Bergakademie und legte im Herbst 1957 mit Erfolg die Prüfung als Diplom-Mineraloge ab.

Nach viermonatiger Assistenzzeit wurde Ulrich Lipp als Sachgebietsbeauftragter für Mineralogie im Objekt 09 (Bergbaubetrieb Aue) der SDAG WISMUT eingesetzt. Sein Tätigkeitsgebiet umfasste u. a. die Erfassung und Untersuchung der Begleiterzkomponenten (bspw. der Wismut-, Kobalt-, Nickel- und der Silbererze) in der Uranerzlagerstätte Schlema-Alberoda.

Im Frühjahr 1958 wurde er in eine außerplanmäßige Aspirantur an der

Bergakademie Freiberg aufgenommen und begann mit der systematischen Untersuchung der Lagerstätte Schlema-Alberoda auf Bi-Co-Ni-Ag-Vererzungen mit begleitender Analyse der entnommenen Proben. Diese sehr umfangreichen Arbeiten zogen sich bis Ende 1967 hin. Anschließend arbeitete er an seiner Dissertation.

Ulrich Lipp erfasste nicht nur allein die im Abbau befindlichen Uranerzgänge, um festzustellen, ob bauwürdige Begleiterze mit anstehen. Er unterzog gleichzeitig ältere Archivunterlagen aus der Anfangszeit des Uranerzbergbaues – soweit sie noch vorhanden waren – einer Aufarbeitung, um auch auf dieser Basis zu prüfen, ob Erze der Bi-Co-Ni-Ag-Formation möglicherweise noch anstehen, die infolge lokalen Fehlens von Uranerzen nicht abgebaut worden waren, und wo sich ein Abbau noch lohnen könnte. Er untersuchte die Lagerstätte intensiv auf mögliche Hinweise darauf, wie sich Bi-Co-Ni-Ag-Erzvorkommen an und in den verschiedenen Gesteinsvarietäten



Brotzeit beim Achatesammeln in Halsbach bei Freiberg; ganz links mit vollem Mund: Ulrich Lipp



Stephanit auf Proustit, Scharung der Gänge Löbau und Borna, Schacht 207, Niederschlema, Erzgebirge, Sachsen, 3,5 x 2,5 cm



Chalkopyrit auf Dolomit, Siderit und Kammquarz, Gang Oase, NW-Stoß, Ortsbrust, Oberschlema, Erzgebirge, Sachsen, 9 x 6 cm



Dolomit mit etwas Lepidokrokit auf Dolomit-Ankerit, Gang Geyer, Schacht 250, Niederschlema, Erzgebirge, Sachsen, 9 x 7 cm



Hämatit auf Siderit, 720m-Sohle, Südflanke, II. Zone, Strecke 13, Schlema-Hartenstein, Erzgebirge, Sachsen, 9 x 7 cm

bilden konnten, was die Ursache dafür war, dass es durchaus reiche Erzfälle gab und warum sie bei Veränderung der Gesteinsserien möglicherweise vertauhten. Er untersuchte mit erheblichem Zeit- und Arbeitsaufwand die Genese dieser Erzvorkommen, indem er die verschiedenartigen Erzbildungen und Gangformationen mit zunehmender Entfernung vom unterliegenden Granitkontakt interpolierte und in Diagrammen aufzeichnete. Mit diesen Erkenntnissen entschlüsselte er auch die Bildung der teilweise großen Erzfälle und der mächtigen sog. Erzknotten.

Leider war es Ulrich Lipp nicht vergönnt, seine Dissertation auch mit dem angestrebten akademischen Titel gekrönt zu sehen. Unter den damaligen Verhältnissen wurde seine Arbeit, die in vier Exemplaren angefertigt worden war, von seinem Arbeitgeber, der Sowjetisch-Deutschen Aktiengesellschaft WISMUT, 1971 eingezogen und zur Vertraulichkeit Verschlussstufe erklärt. Diese Geheimhaltungsstufe wurde erst im Jahr 1988 wieder aufgehoben.

Infolge einer schweren Berufskrankheit verstarb Ulrich Lipp am 19. Juli 1996. Seine Dissertation aber blieb erhalten, und Siegfried Flach ist es zu verdanken, dass diese Arbeit als Bergbaumonografie im Rahmen der Reihe „Bergbau in Sachsen“ als Band 10 im Januar 2003 vom Landesamt für Umwelt und Geologie herausgegeben werden konnte.

Die Sammlung Ulrich Lipp kann prinzipiell in drei Teile untergliedert werden. Am wichtigsten ist sicherlich seine mineralogisch-lagerstättenkundliche Spezialsammlung zur Lagerstätte Alberoda-Schlema-Hartenstein von etwa 300 Stufen mit den bereits erwähnten exakten Fundortangaben. Ein zweiter Schwerpunkt sind Mineralien aus seiner Freiburger Zeit, die er bei Exkursionen selbst gesammelt oder eingetauscht hatte. Das sind für das Freiburger Revier typische Mineralien, wobei schöne Rauchquarzstufen aus dem Granitsteinbruch Naundorf bei Freiberg aus den 1950er-Jahren besonders bemerkenswert sind. Den dritten Teil bilden Mineralien aus „aller

Welt“, die er bspw. von Kommilitonen, die in anderen Bergbaurevieren arbeiteten, geschenkt bekommen hatte. Dazu zählen unter anderem filigrane Gipsstufen aus den Kupferschiefergruben um Eisleben.

Nun wartet die Sammlung auf ihre digitale Erfassung und Erschließung.

An dieser Stelle möchten wir uns noch einmal bei den Herren Molina und Jachmann für die fantastische Zusammenarbeit bedanken. Unser Dank gilt vor allem auch Herrn Siegfried Flach, der uns die Übernahme der Sammlung ermöglichte und uns mit umfangreichen Informationen über Ulrich Lipp versorgte.

Quellen:

- Flach, Siegfried (2016): persönliche schriftliche Mitteilung
- Lipp, Ulrich mit Ergänzungen durch Flach, Siegfried: Wismut-, Kobalt-, Nickel- und Silbererze im Nordteil des Schneeberger Lagerstättenbezirks, Schriftenreihe Bergbau in Sachsen/Bergbaumonografie, Band 10, Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Januar 2003, 210 S.
- Massanek, Andreas (2017): Die Ulrich-Lipp-Sammlung jetzt in Freiberg, Sachsen. In: Mineralienwelt 28(2017)1, S. 26-29



Überwältigende Resonanz auf internationalen Fotowettbewerb

Sprachlehrer und -studenten gestalten Unterrichtsräume bunter und attraktiver

Vor ca. zwei Jahren wurde das Schloßplatzquartier fertig gestellt. Daraufhin konnten auch die Mitglieder des Internationalen Universitätszentrums mit dem Fachsprachenzentrum und dem Bereich „Deutsch als Fremdsprache“ das alte Domizil in der Lessingstraße 45 verlassen und neue Räumlichkeiten beziehen. Da diese zunächst jedoch noch etwas „steril“ wirkten, initiierten die Koordinatorin für den Bereich „Deutsch als Fremdsprache“, Kerstin Bellmann, und die Leiterin des Fachsprachenzentrums, Birgit Seidel-Bachmann, im Wintersemester 2016/17 einen „Internationalen Fotowettbewerb“. Der Grundgedanke bestand darin, die neuen Räumlichkeiten unter Mitwirkung der Studierenden interessanter, farbenfroher und lebendiger zu gestalten. Zudem sollte damit auch ein inhaltlicher Bezug bzw. eine Motivation zum „Sprachelernen“ verbunden sein. So wurden Studierende – auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Universität – aufgerufen, sowohl Fotos zu internationalen Erlebnissen, Begegnungen, Landschaften, Kulturen etc. wie auch zum gemeinsamen Studieren einzureichen. Die Resonanz war überwältigend. Insgesamt wurden 125 Fotos übermittelt. Überraschend waren auch die Qualität der eingereichten Beiträge sowie die Auswahl der Motive. Zwar war von vornherein klar, dass das Thema „Internationale Fotos“ Raum für eine große Themenvielfalt bietet – aber die dann eingereichten Fotos übertrafen alle Erwartungen. Mehrere Beiträge kamen sogar aus dem Ausland: so

zum Beispiel aus St. Petersburg oder aus Concepción in Chile, wo einige unserer Studenten derzeit einen Studienaufenthalt absolvieren. Großartige Aufnahmen wurden auch von unseren ausländischen Studierenden, die derzeit hier Deutsch lernen, eingereicht. Damit stand vor der Jury die schwere Aufgabe – und zugleich das Vergnügen –, die besten Fotos auszuwählen. Außerdem gab es eine Publikumsjury: Studenten, die am IUZ Sprachen erlernen, wurden ebenfalls in die Bewertung der Fotos einbezogen. Die Fotos wurden zudem im Lichthof des IUZ-Gebäudes präsentiert. Im Beisein des damaligen Prorektors für Strukturentwicklung und Außenbeziehungen, Prof. Broder Merkel, fand zu Semesterende die Siegerehrung statt. Die besten Fotos wurden prämiert. Die zwanzig schönsten Aufnahmen haben inzwischen einen Platz in den Sprachlaboren und Unterrichtsräumen des Schloßplatzquartiers (Prüferstraße 2) gefunden. Nun ist Sprachenlernen noch attraktiver.

Abschließend bleibt zu sagen, dass wir von unseren tollen, engagierten Studenten begeistert sind. Vielen Dank für die rege Teilnahme am Fotowettbewerb!

■ Kerstin Bellmann und Birgit Seidel-Bachmann

Foto oben: Jose Antonio Albertino, Minutes to Midnight 1

Foto rechts oben: Franz Weidauer, On Top

Foto rechts unten: Jonas Schattling, Sonnenuntergang in der Mongolei





Objektabfrage auf der AQUiLAgeo-Website

Drei Bereiche der Geowissenschaftlichen Sammlungen online verfügbar

Anlässlich eines Workshops zur Digitalisierung geowissenschaftlicher Sammlungen während des 68. Freiburger Universitätsforums – BHT – ging die Datenbank AQUiLAgeo mit drei Bereichen der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg online. Erfahrungen aus weiteren Digitalisierungsprojekten, wie ROHSA 3.1 (Rohstoffdaten Sachsens) des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, aber auch der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover sowie digiCULT der Friedrich-Schiller-Universität Jena, wurden vorgestellt. Der ganztägige Workshop war eine gemeinsame Veranstaltung der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg, der Petrographischen Sammlungen der Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden und des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Im Rahmen der DFG-geförderten Ausschreibung „Erschließung und Digitalisierung von objektbezogenen wissenschaftlichen Sammlungen“ wurden vier Projekte in den Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg mit einem Fördervolumen von über einer Million Euro unterstützt. Drei Sammlungsteile wurden für eine moderne Erschließung, Digitalisierung und Visualisierung ausgewählt: die Äußere-Kennzeichen-Sammlung von Abraham Gottlob Werner, die Sammlung historischer Dünnschliffe und die Brennstoffgeologische Sammlung. In einem weiteren Projekt wird ein geeignetes Sammlungsmanagementsystem entwickelt. In Kooperation mit der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung wurde dafür

das bestehende Sammlungsmanagementsystem AQUiLA völlig überarbeitet, weiterentwickelt und an die geowissenschaftlichen Anforderungen angepasst. Für das neue AQUiLAgeo wurde eine geeignete einheitliche Datenbankstruktur erarbeitet, die für alle drei Teilsammlungen angewandt wird und nachgenutzt werden kann. Dabei werden die prinzipielle Verschiedenheit dieser Sammlungen und deren historische Bedeutung berücksichtigt. Spezifische Thesauri, basierend auf den international gültigen mineralogischen, kristallographischen, petrographischen, paläontologischen und stratigraphischen Standardklassifikationssystemen, sind in die Datenbank integriert.

Um die historische Bedeutung der Sammlungen widerzuspiegeln, sollte ein Ort-Zeit-Thesaurus bzw. ein GIS-Layer in der Datenbank verfügbar sein. Damit können veränderte administrative Zugehörigkeiten der Fundorte abgebildet werden. Mittels retrospektiver Georeferenzierung werden fehlende Angaben zu geographischen Koordinaten sowie ungenaue oder unsichere Lokalisationsbeschreibungen ermittelt oder korrigiert.

Die Digitalisate und die Metadaten der bearbeiteten Kollektionen der Geowissenschaftlichen Sammlungen werden im Sinne des Open-Access öffentlich und frei zugänglich sein unter:

<https://webapp.senckenberg.de/aquila-freiberg>

- Jan-Michael Lange (Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden, Museum für Mineralogie und Geologie), Christin Kehrer, Gerhard Heide, (TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen)

Wenn Sammlungen ihren Dornröschenschlaf beenden dürfen ...

Die numismatische Sammlung der TU Bergakademie gehört zu jenen Sammlungen der TU, denen im Laufe der letzten 200 Jahre eine überaus wechselvolle Geschichte beschieden war. Sie wurde entweder abgeschoben oder als besonders wertvoll bezeichnet und deshalb mit höchstmöglichen Sicherheitsmaßnahmen unter Verschluss gehalten. Beides war sicher nicht gerechtfertigt. Jetzt avanciert sie zur ersten unter den Sammlungen der Bergakademie, die nicht nur digitalisiert wird, sondern auch über ein bundesweites Fachnetzwerk für weltweite Forschung und Lehre zur Verfügung steht. Möglich macht das ein Projekt, das für innovative Grundlagen- und Spitzenforschung im Bereich der universitären Numismatik steht. Unter dem Kürzel NUMiD (Netzwerk Universitärer

Münzsammlungen in Deutschland) haben sich bundesweit 26 Universitäten zusammengeschlossen, um ein gemeinsames Digitales Münzkabinett zu schaffen, das schon in naher Zukunft die Bestände der universitären Sammlungen virtuell zusammenführt, E-Learning-Module bereitstellt, Online-Ausstellungen präsentiert und weitere Angebote aus dem Bereich numismatischer Forschung und Lehre zur Verfügung stellt. Neben den großen Universitäten Frankfurt am Main, Heidelberg, Göttingen, Marburg, Stuttgart oder Tübingen beteiligen sich auch die sächsischen Universitäten Leipzig und Freiberg an diesem Projekt, das die universitäre Numismatik in Deutschland einen wichtigen Schritt voranbringen wird.

Mit ihren ca. 6600 antiken Münzen und den etwa 1500 bergmännischen Geprägen gehört die numismatische Sammlung der TU Bergakademie zu den größeren universitären Sammlungen in Deutschland und wird einen durchaus bedeutenden Beitrag im Verbund leisten können.



Denar, Italien, 32–29 v. Chr. Venuskopf; Revers: CAESAR-DIVI.F. Octavian schreitet mit Mantel und Lanze

© (Z) Jens Kugler



Software und Hardware werden über den Projektträger zur Verfügung gestellt

Mit dem NUMiD-Verbund haben die deutschen Universitäts-sammlungen erstmals die Chance, im Bereich der Dokumentation und Präsentation ihrer numismatischen Sammlungsobjekte koordiniert vorzugehen und für alle beteiligten Sammlungen ein System einzuführen, das sich auf höchstem technischen Niveau befindet, den einzelnen Sammlungen eine umfassende Flexibilität gewährt, die Präsentation ihrer Bestände auf einem eigenen lokalen Portal ermöglicht und zugleich eine gemeinsame Präsentation der universitären Bestände in Deutschland (insgesamt ca. 100.000 Objekte) erlaubt. Die Sichtbarkeit der universitären Münzsammlungen in Deutschland wird sich damit deutlich erhöhen, der Mehrwert für Forschung, Lehre und Öffentlichkeitsarbeit liegt auf der Hand. Die sich nun ergebenden Forschungsvorhaben werden nachhaltige Impulse für weitere Arbeiten an und mit den Beständen der universitären Münzsammlungen in Deutschland setzen.

Die Odyssee der bergakademischen Sammlung ist spannend. Von Abraham Gottlob Werner etwa ab 1806 angelegt, versuchte die Bergakademie nach seinem Tod mehrfach, sie zu veräußern. Das gelang jedoch nicht. Erst als nach dem Zweiten Weltkrieg die Berliner Sammlung als Reparationsleistung in die Sowjetunion gebracht wurde, erinnerte sich die Leitung des Berliner Münzkabinetts an die Sammlung in Freiberg. So trat sie 1951 ihre Reise via Berlin an. Als 1959 die Berliner Sammlung nach Berlin zurückkehrte, wurde auch über die Rückführung der Wernerschen Sammlung nach Freiberg verhandelt. 1966 kamen die Bestände wieder nach Freiberg zurück und wurden zunächst im Depot des Instituts für Mineralogie eingelagert.

Inzwischen sind einige Jahre vergangen; die Sammlung hat einen ihrem Wert entsprechend sicheren Platz erhalten – im Depot der Geowissenschaftlichen Sammlungen im Schloss Freudenstein – und sie darf ihren Dornröschenschlaf nun hoffentlich ein für alle Mal beenden.

- Angela Kugler-Kießling, Susanne Kandler

Sachsen hebt seine Schätze – Abschlusskolloquium zum Projekt ROHSA 3.1

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und das Sächsische Oberbergamt hatten am 29. März 2017 zum Abschlusskolloquium des Projekts ROHSA 3.1 (Rohstoffe Sachsens) in die Alte Mensa nach Freiberg eingeladen. Zu den Vertretern der sächsischen Staatsregierung gehörten der Staatsminister für Umwelt und Landwirtschaft, Thomas Schmidt, und der Staatsminister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Martin Dulig.

In mehreren Fachvorträgen wurden die Ergebnisse des Projekts ROHSA 3.1 vorgestellt. Auch die Geowissenschaftlichen Sammlungen und das Biohydrometallurgische Zentrum (BHMZ) der TU Bergakademie Freiberg sowie die Senckenberg Naturhistorischen Sammlungen Dresden (SNSD) präsentierten aktuelle Projekte, die sich mit Sachsens Rohstoffen beschäftigen, in fünf Vitrinen und wissenschaftlichen Postern.

In der ersten Phase des Pilotprojekts ROHSA 3 (2013–2016) wurden im Rahmen mehrerer Forschungs- und Entwicklungsverträge der Ministerien mit der TU Bergakademie Freiberg geowissenschaftliche und rohstoffgeologische Daten erfasst und digitalisiert.

Am Institut für Geologie wurden Metadaten von über 1.300 Diplom- und Masterarbeiten sowie Dissertationen dokumentiert. Daraus wurden besonders rohstoffrelevante Qualifikationsarbeiten ausgewählt und im Medienzentrum digitalisiert. Im Archiv des Instituts für Geophysik wurden weitere Qualifikationsarbeiten

bibliothekarisch und inhaltlich digital erfasst. Am Institut für Technikgeschichte und Industriearchäologie der TU Bergakademie fanden in Zusammenarbeit mit dem LfULG und dem Bergarchiv Freiberg – Teil des Sächsischen Staatsarchivs – ebenfalls Recherchen zu rohstoffrelevanten Dokumenten statt.

Weiterhin konnten über 1.000 Gesteinsdünnchliffe aus den Geowissenschaftlichen Sammlungen gescannt und die dazugehörigen Daten aufgearbeitet werden. Ein Teil dieser Datensätze lässt sich den über 1.500 Qualifikationsarbeiten des Instituts für Mineralogie zuordnen.

In der zweiten Phase des Projekts ROHSA 3 (2017–2018) werden im Rahmen zweier weiterer Drittmittelprojekte die Recherche und die Digitalisierung von Rohstoffdaten in den Geowissenschaftlichen Sammlungen und im Bergarchiv Freiberg fortgeführt. Die exemplarische Erschließung von Gesteinsdünnchliffen der Petrologischen Sammlung und von Gesteinsanschliffen des Instituts für Mineralogie bereichert die gesammelten Datensätze nicht unerheblich.

Auf diese Weise unterstützt und verdichtet die TU Bergakademie Freiberg die rohstoffgeologische Datenbasis für die Erkundung und die wissenschaftliche Bearbeitung der Lagerstätten des Freistaates Sachsen.

- Peter Tschernay, Christin Kehrer, Gerhard Heide (TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen)



Präsentation der Ergebnisse des Digitalisierungsteams der Geowissenschaftlichen Sammlungen im Rahmen des Projekts Rohsa 3.1 (Rohstoffe Sachsens)

Foto: Susanne Bierspacher

Rohstoffindustrie in Mosambik: Chancen und Herausforderungen

Manfred Goedecke, Carsten Drebenstedt¹

Das Entwicklungsland Mosambik

Mosambik erstreckt sich über eine Fläche von rund 800.000 km² in Ostafrika. Das Klima ist subtropisch bis tropisch. Mit 28,8 Millionen Einwohnern (2016) zählt es zu den bevölkerungsreichsten Ländern im südlichen Afrika. Die Geburtenrate beträgt 2,5 % (2016), so dass sich das dynamische Bevölkerungswachstum fortsetzt, das zu den großen Chancen – aber auch zu den Herausforderungen – für das Land zählt. Schon heute beträgt der Anteil der Altersgruppe von 0 bis 24 Jahren an der Gesamtbevölkerung 66,4 %.

Mosambik war fast 500 Jahre lang portugiesische Kolonie und erkämpfte 1974 mit dem Abkommen von Lusaka seine Unabhängigkeit von Portugal. Die FRELIMO-Regierung unter Samora Machel schlug sofort einen sozialistischen Entwicklungsweg ein und wurde dabei massiv von der Sowjetunion und den anderen RGW-Staaten unterstützt. Da die junge Volksrepublik von Beginn an den Freiheitsbewegungen in den Nachbarländern Rhodesien und Südafrika half, etablierten und finanzierten diese Länder ab 1977 eine Terrororganisation RENAMO in Mosambik. Damit begann ein bis 1992 dauernder, blutiger Bürgerkrieg, der mit dem Friedensvertrag von Rom im Oktober 1992 formell beendet wurde. Er hatte mehr als eine Million Menschenleben gefordert und fast ein Drittel der Bevölkerung in die Flucht getrieben. Die Zerstörungen an der Verkehrsinfrastruktur, im Gesundheitswesen, an Schulen, den Energieversorgungseinrichtungen und in der Landwirtschaft liegen im Größenbereich von mehreren Milliarden US-Dollar und sind noch heute deutlich spürbar. Mit den ersten freien und geheimen Mehrparteienwahlen im November 1994, die die FRELIMO gewann, begann ein kontinuierlicher Aufschwung des Landes, wenn auch auf sehr niedrigem Ausgangsniveau (Abb. 1).

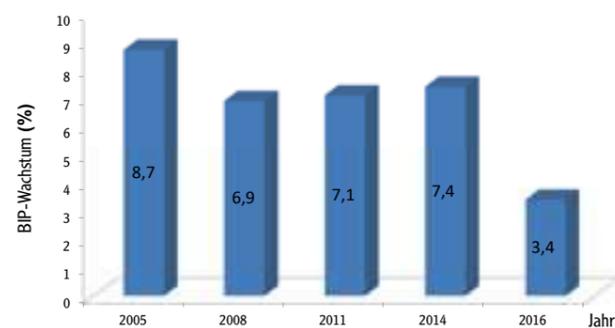


Abb. 1: Jährlicher Zuwachs des Bruttoinlandsprodukts in Mosambik von 2005 bis 2016 in Prozent

Die starken Differenzen zwischen FRELIMO und RENAMO zu Fragen des Staatsaufbaus, zur Provinzautonomie, zur Wahldurchführung und zur Bewertung von Wahlergebnissen haben 2013 zur Aufkündigung des Friedensabkommens von Rom durch die RENAMO geführt. Der jüngste Waffenstillstand vom

Dezember 2016 hat zwar die bewaffneten Auseinandersetzungen der Konfliktparteien eingedämmt, die Situation aber noch nicht grundlegend verbessert. Unter internationaler Moderation wird zumindest weiter verhandelt.

Diese angespannte innenpolitische Lage erscheint umso dramatischer, wenn man die trotz des beachtlichen Wirtschaftswachstums schlechten ökonomischen und sozioökonomischen Kennzahlen Mosambiks betrachtet. Hier nur wenige Belege [1,2,3,4]:

- die Inflationsrate betrug 2016 19,2 %
- die Staatsverschuldung lag 2016 bei 115,2 % des BIP
- die Schulabschlussrate in der Primärstufe betrug 47,6 % (2014)
- die Kindersterblichkeit unter fünf Jahren erreichte 78,5 Sterbefälle je 1.000 Lebendgeborene (2015)
- die Arbeitslosigkeit bei Jugendlichen von 15 bis 24 Jahren lag 2016 bei 41,4 % (Gesamtarbeitslosigkeit 24,4 %)
- nur 51,1 % der Bevölkerung haben Zugang zu sauberem Wasser (2015)
- beim Global Competitiveness Index 2016–2017 rangiert Mosambik auf Platz 133 von 138 Ländern
- nur 43 % der 36 Millionen Hektar Ackerland werden gegenwärtig landwirtschaftlich genutzt (40 % Kleinbauern, 3 % kommerzielle Landwirtschaft)
- der Stromverbrauch pro Kopf erreichte 2014 463 kWh/a, wobei 65 % der Bevölkerung keinen Zugang zu Elektroenergie haben
- beim Corruptions Perceptions Index steht Mosambik auf Platz 142 unter 176 Ländern (2016)

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, wie wichtig und dringlich es ist, Bergbau und Industrie in Mosambik schnell zu entwickeln, Arbeitsplätze zu generieren und mit den Einnahmen aus Steuern und Abgaben die Lebensbedingungen der Bevölkerung spürbar zu verbessern. Die natürlichen Voraussetzungen dafür sind in Mosambik so gut wie in kaum einem anderen afrikanischen Land (Abb. 2).

Bodenschätze und Bergbau in Mosambik

Schon im 19. Jahrhundert begannen die geologische Erkundung des Landes und ein bescheidener Bergbau, vor allem auf Kohle in Moatize (Provinz Tete) sowie auf Gold und Kupfer in der Provinz Manica. 1948 nahmen zahlreiche internationale Ölgesellschaften die Erkundung von Kohlenwasserstoff-Vorkommen entlang der Küste Mosambiks auf, die im Zeitraum 1961–1967 zur Entdeckung der Erdgaslagerstätten in Pande, Buzi und Temane in der Provinz Inhambane führten [5].

Mit der Unabhängigkeit wurden die geologische Landesaufnahme und die Rohstofferkundung mit Unterstützung mehrerer RGW-Länder intensiviert, zahlreiche private Bergbauunternehmen verstaatlicht und die Produktion von Kohle, Baumaterialien, Edelsteinen und Gold gesteigert. Der Bürgerkrieg stoppte diese Entwicklung weitgehend.

Erst nach seiner Beendigung und den freien Wahlen von 1994 sowie der danach beginnenden wirtschaftlichen Liberalisierung nahmen die Explorationsarbeiten und die Bergbauaktivitäten, vor allem südafrikanischer, portugiesischer, brasilianischer und



Abb. 2: Karte der Bodenschätze und der Infrastruktur Mosambiks

angelsächsischer Unternehmen, wieder stark zu. 2003 begann die Firma SASOL (Südafrika) mit der Förderung und dem Export von Erdgas aus der Provinz Inhambane. Der Bergbaukonzern Vale (Brasilien) erschloss ab 2007 die reichen Kohlenvorräte in der Provinz Tete im Tagebau. Seine Moatize Coal Mine nahm 2011 die Produktion auf und förderte 2016 nach Jahren der Stagnation 5,5 Millionen Tonnen Steinkohle (3,5 Mio. t Kokskohle, 2 Mio. t Kraftwerkskohle).

Mit der Fertigstellung der neuen Eisenbahnverbindung nach Nacala (912 km), wo ein neues Kohleterminal entstanden ist, gelang es 2016 erstmals, 8,7 Mio. t Kohle zu verschiffen und damit die hohen Lagerbestände zu reduzieren. Bisher hat Vale in seinen Tagebau und in die neue Eisenbahnstrecke 8 Mrd. US-Dollar investiert, davon 4,4 Mrd. US-Dollar in den Schienenstrang.

Die bisher nachgewiesenen Steinkohlelagerstätten in den Provinzen Tete, Niassa und Zambezi werden mit rund 25 Mrd. t – überwiegend hochwertige Kokskohle! – beziffert [6,7]. An der Erschließung dieser zu den größten noch unverritzten Kohlevorkommen weltweit zählenden Lagerstätten sind auch indische, australische, japanische und chinesische Investoren beteiligt. Wenn die bestehenden Tagebaue in der Provinz Tete ihre geplanten Kapazitäten erreichen, sind Produktionssteigerungen bis 2020 auf 20–25 Mio. t/a realistisch. Weitere vier Projekte mit

voraussichtlich ca. 31 Mio. t Jahresproduktion sind in Planung.

Die fehlenden Transportmöglichkeiten, eine weiterhin instabile Energieversorgung, sehr volatile Weltmarktpreise, insbesondere für Kokskohle, sowie die anhaltenden innenpolitischen z. T. bewaffneten Auseinandersetzungen sind allerdings für diese Großinvestitionen immer wieder stark begrenzende Faktoren. Ein starkes Hoffnungszeichen ist der von einem chinesisch/portugiesischen Konsortium für 2,3 Mrd. US-Dollar geplante Bau einer dritten Eisenbahnverbindung, die von Tamina (Provinz Tete) nach Macuse an der Sambesimündung führt. Sie wird mit 500 km Länge die kürzeste Schienenverbindung aus der „Kohleprovinz“ zu einem Hafen sein [8].

Neben der Steinkohleförderung entwickelt sich die Produktion von Schwermineralsanden, Graphit und Rubinen zur wichtigsten Einnahmequelle für den Staat Mosambik.

Die irische Kenmare Resources plc. fördert seit 2007 in der Provinz Nampula; 2016 wurden 1,4 Mio. t Ilmenit, Zirkon und Rutil produziert. Der Betrieb beschäftigt aktuell 1.323 Arbeitskräfte, davon zu 93 % Mosambikaner [9].

Die reichen Graphitvorkommen in der Provinz Cabo Delgado, aktuell auf 13 Mio. t geschätzt (ca. 5 % der weltweiten Reserven), haben bereits zahlreiche internationale Unternehmen auf den Plan gerufen, darunter auch den deutschen Mittelständler AMG

Kropfmühl GmbH [10]. Im Beisein des mosambikanischen Staatspräsidenten Nyussi wurde seine GK Ancuabe Graphite Mine am 28.06.2017 feierlich eröffnet. Die Investition von 12 Mio. € soll eine Jahresproduktion von 9.000 t Graphit ermöglichen [11]. Bei Realisierung der o. g. weiteren Projekte australischer und chinesischer Investoren könnte Mosambik zu einem bedeutenden Graphitproduzenten der Welt aufsteigen.

Der Rubintagebau MRM der britischen Gemfields plc. in Montepuez/Provinz Cabo Delgado entwickelt sich für Mosambik zu einer wichtigen Einnahmequelle. Das Unternehmen hat 2016 fast 40 % der weltweiten Rubinausbeute geliefert. Die Erlöse der Produktion von 27,1 Mio. Karat seit 2013 liegen bei 225 Mio. US-Dollar [12].

Große Erwartungen setzt Mosambik in die Erschließung der bedeutenden Erdgasvorkommen vor der Küste der Provinzen Nampula und Cabo Delgado, die von der BGR auf 5,2 Billionen m³ beziffert werden [13].

Im Rovuma-Becken sind bedeutende internationale Erdöl- und Erdgaskonzerne aktiv, u. a. Andarko (USA), Statoil (Norwegen), ENI (Italien), Sasol (Südafrika), Petronas (Malaysia), Rosneft (Russland) und ExxonMobile (USA).

Wenn die gegenwärtig bearbeiteten Projekte in Produktion kommen, wird Mosambik zu einem der führenden Flüssiggas-Exporteure der Welt aufsteigen. Prognosen sagen dazu jährliche Wachstumsraten von >20% und Staatseinnahmen für Mosambik von bis zu 20 Mrd. US-Dollar/Jahr voraus [14].

Wesentliche Elemente des mosambikanischen Bergbaus sind – neben diesen Großprojekten des industriellen Bergbaus – der Kleinbergbau und der artisanale Bergbau in fast allen Provinzen Mosambiks, darunter leider ein hoher Anteil illegaler Bergbauaktivitäten, z. T. von Ausländern.

Während in der gesamten Rohstoffwirtschaft Mosambiks 2014 rund 33.000 Beschäftigte tätig waren [15], wird die Zahl der Arbeitskräfte im artisanalen Bergbau auf 150.000, davon allein 60.000 bei der Goldgewinnung, geschätzt [16, 17]. Die Regierung bemüht sich, durch gesonderte Lizenzen für den artisanalen Bergbau (Mining Pass, Mining Certificate), den Ausweis spezieller Gebiete (landesweit 108) und den privilegierten Ankauf der Produktion um die Legalisierung dieser Bergbauaktivitäten – bisher allerdings mit mäßigem Erfolg. Bis Ende 2016 waren 450 Mining Certificate und 866 Mining Pässe vergeben [18]. Vielversprechend ist die Entwicklung bei der Bildung von Kooperativen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kooperativen im Kleinbergbau Mosambiks

Provinz	Rohstoff	Edelsteine	Gold	Kalkstein	Tone	Bau- rohstoffe
Cabo Delgado		3	–	–	4	8
Niassa		3	5	–	–	–
Nampula		11	7	1	–	–
Zambezia		5	5	–	–	2
Tete		2	3	–	–	2
Manica		2	5	–	–	1
Sofala		–	2	–	1	–
Inhambane		–	–	2	4	–
Gaza		–	–	–	4	–
Maputo		–	–	–	5	1

Überwiegend ist der artisanale Bergbau Mosambiks aber auch im 21. Jahrhundert von zumeist archaischen Arbeitsbedingungen, rudimentären Sicherheitskenntnissen und -praktiken gekenn-

zeichnet – mit der Folge hoher Unfallzahlen sowie gravierender Umweltbelastungen. Dazu kommen latente interne und externe Konfliktpotenziale und eine hohe Konfliktbereitschaft von Personen und Gruppen. Die Mehrzahl der schweren und tödlichen Unfälle ereignet sich im Kleinbergbau, der aus objektiven und subjektiven Gründen (noch) nicht im Fokus der Bergaufsicht steht.

An den Darlegungen zum Bergbau Mosambiks wird deutlich, welche großen Entwicklungspotenziale und Chancen das Land in und mit diesem Bereich hat. Sie machen aber auch die bestehenden massiven Hindernisse (unzureichende Infrastruktur, problematische Energieversorgung, Fehlen qualifizierter Arbeitskräfte) sichtbar sowie die große Abhängigkeit des Landes von ausländischen Investoren. Auch die bisher schwache Wertschöpfung auf Basis der gewonnenen Rohstoffe im Land selbst ist kritisch zu hinterfragen.

Ein erster Lichtblick zur Verbesserung dieses Zustands ist das Eisenerz/Stahl-Projekt der britischen BAOBAB Ltd, die gemeinsam mit der International Finance Group (IFC) das von ihr entdeckte vanadium- und tantalhaltige Eisenerzvorkommen 50 km nördlich von Tete (750 Mio. t) abbauen und damit jährlich 500.000 t Stahl produzieren will [19]. Die Standortbedingungen in der Provinz Tete sind dafür sehr gut, da neben der verfügbaren Koks-kohle in der Region vier neue Kohlekraftwerke mit insgesamt 1.280 MW Leistung im Stadium der fortgeschrittenen Planung sind [20]. Diese bevorstehende Stärkung der Energieversorgung ist ein wichtiges Entscheidungskriterium für weitere Industrieansiedlungen in Mosambik.

Seit der Unabhängigkeit 1975 steht das Land vor allen diesen Herausforderungen und fast genau so lange hilft die TU Bergakademie Freiberg im Rahmen ihrer Möglichkeiten mit wechselnder Intensität und Schwerpunktsetzung bei deren Bewältigung.

Die Kooperation der Bergakademie Freiberg mit Mosambik vor 1990

Zu den wichtigsten strategischen Zielen der FRELIMO gehörten nach Erlangung der Unabhängigkeit 1975 die Verbesserung des Bildungsniveaus in Mosambik und die gezielte Ausbildung von Fachkräften für den Aufbau des Landes mit ausländischer Hilfe. Schon während des Kampfes um die Unabhängigkeit hatte der spätere Präsident Eduardo Mondlane (ein USA-Professor) in vielen Ländern um Hilfe für ein modernes Bildungskonzept nachgesucht, darunter auch bei der DDR [21]. Die Erfahrungen, die die mosambikanische Führung mit den DDR-Bildungsexperten während des Exils gemacht hatte, ließen sie die DDR als maßgeblichen Partner für den Aufbau ihres Bildungssystems auswählen – trotz starker Konkurrenz aus Kuba und der Sowjetunion [22]. Das führte nach 1975 zu einer sehr starken Präsenz von DDR-Experten in verschiedenen Bereichen des mosambikanischen Bildungssystems und zur Entsendung von Kindern und Jugendlichen zur Schul- und Berufsausbildung in die DDR.

Im April 1977 wurde zwischen der DDR und Mosambik das erste Handelsabkommen geschlossen, dessen Inhalte nicht nur von der Solidarität mit diesem Entwicklungsland geprägt waren, sondern der DDR auch über akute Devisenengpässe hinweghelfen sollten. Die Bereiche Bergbau und Geologie sowie die Hochschulausbildung waren wichtige Aktionsfelder dieser Wirtschaftsbeziehungen. Die Mitwirkung der Bergakademie Freiberg begann 1978, als die Entwicklung der Rohstoffwirtschaft in Mosambik eine zentrale Säule des Aufbaus werden sollte und mit der DDR umfangreiche Steinkohlelieferungen

vereinbart wurden. Dafür waren Fachkräfte dringend erforderlich – sowohl Facharbeiter und Techniker als auch Ingenieure und Wissenschaftler. Die Leistungen der Bergakademie Freiberg lassen sich in drei Kategorien einordnen:

1. Entsendung von Experten
2. Delegation von Lehrkräften für die Hochschulausbildung in Mosambik
3. Ausbildung mosambikanischer Studenten an der Bergakademie und ihrer Ingenieurschule sowie die Betreuung von Doktoranden

Experten der Bergakademie in Mosambik

Schon seit 1870 wurde in Moatize durch verschiedene Unternehmen, seit 1948 durch die portugiesische Firma „Companhia Carbonifera de Mozambique“ (CCM) Steinkohle abgebaut. Im Jahr der Unabhängigkeit wurden 574.845 t gefördert, 1976 noch 550.838 t [23].

Die sehr gasreiche Kohle (>100m³ CH₄/t) erforderte besondere, strikt einzuhalten Sicherheitsmaßnahmen. Bis zum Ende der Kolonialherrschaft und in der Übergangsphase wurden diese im Zusammenhang mit Raubbau und rigoroser Ausweisung portugiesischer Bergbauexperten sträflich vernachlässigt [24]. Die Folge waren zwei schwere Schlagwetterexplosionen. Am 16. September 1976 starben dabei in der Grube Chipanga VI 98 Bergleute (96 Mosambikaner, zwei Portugiesen), am 2. August 1977 auf Chipanga III 64 Menschen (63 Mosambikaner, ein Portugiese). Die Explosionen führten zu schweren Verwüstungen in den betroffenen Bergwerken. Die Situation verschärfte sich durch einen unmittelbar nach dem zweiten Grubenunglück ausbrechenden Aufstand einheimischer Bergleute und ihrer Angehörigen, in dessen Verlauf neun Mitglieder der CCM-Geschäftsleitung (sieben Portugiesen, zwei Belgier) ermordet wurden [25]. Das Ergebnis waren drastische Einbrüche der Produktion; im 1. Halbjahr 1978 wurden nur noch knapp 30 % der Fördermenge von 1975 erreicht [26].

Zur Aufwältigung der zerstörten Gruben und zur raschen Wiederaufnahme der Produktion, die für den jungen Staat eine große ideelle und wirtschaftliche Bedeutung hatte, bat die mosambikanische Regierung Rumänien, die DDR und Österreich um die Entsendung von Experten. Die DDR entsandte schon Anfang Januar 1978 ein Team aus Bergbausicherheitsexperten und Grubenwehrmännern aus mehreren Bergbaubetrieben der DDR unter Leitung von Dr. Kurt Haisler vom Institut für Bergbausicherheit Leipzig nach Moatize. Kurz darauf, am 12. Mai 1978, wurde das Unternehmen CCM verstaatlicht, und es entstand die Empresa Nacional de Carvão de Mozambique „CARBOMOC“.

Nachdem die schwierigen und gefährlichen Aufräum- und Sicherungsarbeiten erfolgreich abgeschlossen waren, konnte die Förderung in den Gruben schrittweise wieder aufgenommen werden. Aufgrund eines Wirtschaftsvertrags vom 24.4.1978 wurde dieser Neuanfang maßgeblich durch Bergbaufachleute aus der DDR geleitet. In der komplizierten Anlaufphase kam im November 1979 als erster Experte der Bergakademie Freiberg der Spezialist für Abbaufahrten, Dr. Armin Krauß, von der Sektion Geotechnik/Bergbau in Moatize zum Einsatz. Er arbeitete als stellvertretender Leiter der Abteilung Technologie, Markscheidewesen, Geologie, Betriebserkundung und -entwicklung. Seine Aufgaben waren vor allem die Betriebsplanung für die Aus- und Vorrichtung sowie den Abbau, der Anschluss neuer Gruben und Versuche zur Einführung verlustärmerer Abbaufahrten, z. B. des Kammerpfeilerbruchbaus [27, 28]. Nach diesem ersten

Aufenthalt, der im November 1980 endete, weilte Dr. Krauß noch zu drei weiteren Einsätzen in Mosambik: vom 3. Juli 1981 bis zum 31. August 1981, vom 17. Juli 1982 bis zum 20. November 1982 sowie im März/April 1986. Seine Arbeit wurde hoch geschätzt, besonders seine maßgebliche Mitwirkung an der Aus- und Vorrichtung der neuen Grube Chipanga XI sowie bei der Sumpfung von Chipanga VII [29].

Der zweite Experte der Bergakademie, der in Moatize mitarbeitete, war Dr. Jürgen Fenk, ebenfalls von der Sektion Geotechnik/Bergbau, ein erfahrener Markscheider. Er war vom 24. Januar 1981 bis zum 13. November 1982 als Abteilungsleiter der Markscheiderei eingesetzt. In dieser Funktion hatte er die vier produzierenden Gruben Chipanga III, IV, VII und VIII sowie die in Ausrichtung befindliche Chipanga XI zu betreuen. Trotz der bis dahin schon deutlich verbesserten Sicherheitslage in den Gruben wies Dr. Fenk noch 1981 auf die weiterhin problematische Situation in diesem Bereich hin [31]. Ihr Fortbestehen war letztlich mitentscheidend für die Beendigung des DDR-Engagements in Moatize im Frühjahr 1990.

Die beiden Spezialisten der Bergakademie waren im Auftrag des VEB Gaskombinat Schwarze Pumpe in Moatize tätig, des Leitbetriebs für das DDR-Vorhaben „Steinkohle Moatize“. Doz. Dr. Armin Krauß und Doz. Dr. Jürgen Fenk haben durch ihre verantwortungsvollen Praxiseinsätze dem internationalen Ruf der Bergakademie Freiberg alle Ehre gemacht.

Der Einsatz von Lehrkräften der Bergakademie Freiberg an der Universität Eduardo Mondlane (UEM) in Maputo

Die Zusammenarbeit der Bergakademie mit der UEM in Maputo im Rahmen der staatlichen Vereinbarungen DDR/Mosambik begann mit dem Besuch einer hochrangig besetzten Freiburger Delegation. Unter Leitung des Prorektors für Erziehung und Ausbildung, Prof. Dr. Günther Barth, besuchten die Sektionsdirektoren Prof. Dr. Schubert (Verfahrenstechnik) und Prof. Dr. Meixner (Geotechnik/Bergbau) sowie der stellvertretende Parteisekretär der Bergakademie, Dr. Volland, vom 14.10. bis zum 9.11.1978 Mosambik. Sie bereisten das gesamte Land (Maputo, Quelimane, Tete, Moatize, Nampula, Beira, Maputo). Strategisches Ziel war die Unterstützung der UEM durch die Bergakademie bei der Einrichtung einer Fakultät für Bergbauingenieure. Dazu sollten in Freiberg Studenten und Aspiranten ausgebildet werden. Die Vertreter beider Hochschulen unterzeichneten dazu ein Übereinstimmungsprotokoll am 8. November 1978 [31]. Darin waren Studentenzahlen und -strukturen für die Ausbildung mosambikanischer Studenten an der Bergakademie von 1979 bis 1981 fixiert.

Im Dezember 1978 präzisierte eine Studie des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen der DDR zur Bildung einer Fakultät für Bergbau in der Volksrepublik Mosambik den Beginn des Lehrbetriebs, die Ausrüstung, die Raumplanung und die Liste der unterstützenden Wissenschaftler aus Freiberg für den Start dieser neuen Fakultät [32]. Studienbeginn sollte 1982 sein. Dazu sollte folgendes Personal der Bergakademie Freiberg entsandt werden:

- ab 1980: ein Dozent
- ab 1983: acht Dozenten, zwölf wissenschaftliche Assistenten und zwölf sonstige Mitarbeiter
- ab 1984: drei Dozenten, elf wissenschaftliche Assistenten und 17 sonstiges Personal

In den Folgejahren gab es zu diesem Themenkreis intensive Gespräche zwischen Vertretern der Bergakademie und der

UEM. 1980 wurde sogar die Möglichkeit der Einrichtung einer ABF in Mosambik geprüft [33]. Obwohl es – bis heute – an der UEM keine Bergbaufakultät gibt, entsandte die Bergakademie Freiberg bis 1990 überwiegend junge Wissenschaftler zu meist mehrjähriger Lehrtätigkeit nach Maputo (Tabelle 2).

Tabelle 2: Lehrkräfte der Bergakademie Freiberg an der UEM

Name	Bereich der Bergakademie	Einsatzzeit
Dr. Wolfgang Schmidt	Geowissenschaften	09/1979–09/1982
Dr. Manfred Wittig	Geotechnik-Bergbau	09/1979–12/1983
LHD Werner Strobel	ABF	12/1980–01/1983
LHD Anneliese Strobel	ABF	09/1981–01/1983
Dr. Horst Beidatsch	Soz. Betriebswirtschaft	02/1981–07/1984
OL Frank Triebisch	ABF	02/1982–01/1983 04/1988–02/1990
LHD Frank Tannhäuser	ABF	03/1983–12/1985
Dr. Jürgen Keßler	Geotechnik-Bergbau	12/1983–12/1985
Prof. Dr. Günther Barth	Rektorat	06/1984–05/1987
Dr. Peter Beuge	Geowissenschaften	01/1987–12/1990
Dr. Frank Ksienzyk	Maschinen- und Energietechnik	02/1987–08/1990

Prof. Dr. Barth war nicht in die Lehrtätigkeit an der Universität eingebunden, er fungierte im Auftrag des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen als Berater des Rektors [34].

Die sprachliche Ausbildung der Lehrkräfte für Mosambik war äußerst knapp bemessen (Vierteljahreslehrgänge); bei ihrer fachlichen Vorbereitung für die Lehre wurden sie durch ihre „Heim“-Professoren und -Dozenten unterstützt, die ihnen oft Vorlesungsunterlagen bereitstellten. Diese mussten von den jungen Wissenschaftlern vor Ort ins Portugiesische übersetzt und didaktisch an das Bildungsniveau ihrer mosambikanischen Studenten sowie an die Lehrpläne der Universität angepasst werden. Zum Teil trafen die entsandten Lehrkräfte in Maputo auf inzwischen erheblich veränderte Aufgabenstellungen für ihre Lehre, so z. B. Dipl.-Ing. Manfred Wittig [35]. Das machte die völlige Neuarbeitung von Vorlesungsunterlagen erforderlich. Ende Dezember 1990 kehrten die letzten Freiburger Lehrkräfte aus Mosambik zurück und beendeten damit die erfolgreiche Zusammenarbeit beider Hochschulen für längere Zeit. Noch im Juni 1990 hatte sich der Minister für Bildung und Wissenschaft der DDR, Prof. Dr. Meyer, für die Weiterführung dieser Partnerschaft ausgesprochen [36].

Die Entsendung der Hochschullehrer erfolgte auf kommerzieller Basis; verantwortlich für deren Rahmenbedingungen war der DDR-Außenhandelsbetrieb LIMEX (später INTERCOOP), der die Gehälter und Zulagen an die Bergakademie überwies.

Mit sehr großer Einsatzbereitschaft und in hoher Qualität haben alle „Freiberger“ ihre Aufgaben an der UEM erfüllt. Noch heute sprechen sowohl ehemalige Studenten als auch mosambikanische Mitarbeiter lobend und hochachtungsvoll von der Arbeit dieser meist jungen Lehrkräfte. Ehemalige Mitstreiter aus anderen DDR-Hochschulen äußern sich ebenfalls anerkennend über die Hilfsbereitschaft und Unterstützung durch die „Bergakademisten“ [37].

Die Ausbildung mosambikanischer Studenten an der Bergakademie Freiberg bis 1990

Die Unterstützung bei der Ausbildung von Fachkräften mit Hoch- und Fachschulabschluss war ein Schwerpunkt der Zusammenarbeit DDR/Mosambik im Bildungsbereich. Wegen der Bedeutung des Bergbaus und der Rohstoffwirtschaft für den

Aufbau Mosambiks besaßen qualifizierte Fachkräfte für diese Industrie einen besonders hohen Stellenwert. Das betraf den dringenden Bedarf in den Unternehmen und Verwaltungen ebenso wie den in der Wissenschaft.

Schon vor der Unabhängigkeit 1975 hatte die FRELIMO deshalb zwei Studenten an die Bergakademie delegiert. Beide schlossen ihre Ausbildung zum Diplomingenieur im Bergbau 1973 und 1980 erfolgreich ab. Niheriwa Maseliha, der Absolvent von 1980, inzwischen leider schon verstorben, nahm 1988 als stellvertretender Minister mit einem Vortrag am BHT teil und bemühte sich um eine Fernaspirantur [38].

Nach Abschluss der Vereinbarung der Bergakademie mit der Universität Maputo 1978 wuchs die Zahl mosambikanischer Studenten an der Bergakademie bis 1982/83 stark an. Die Mosambikaner stellten mit zeitweilig 27 Direktstudenten die stärkste Gruppe ausländischer Studenten bis Mitte der 1980er Jahre (Tabelle 3).

Tabelle 3: Verteilung der mosambikanischen Absolventen auf Fachrichtungen

Abschluss-jahr Fachrichtung	1970–1980	1981–1985	1986–1992	Summe
Bergbau-Tiefbau	2	3	3	8
Bergbau-Tagebau	–	–	3	3
Markscheidewesen	–	–	3	3
Geologie	–	2	4	6
Mineralogie	–	1	–	1
Geophysik	–	1	3	4
Verfahrenstechnik	–	1	4	5
Chemie	–	1	–	1

Von 35 an der Bergakademie Freiberg eingeschriebenen mosambikanischen Studenten haben 31 das Studium hier erfolgreich beendet – eine sehr gute Bilanz. Diese erfreulichen Ergebnisse spiegeln sich auch in den obligatorischen Jahresberichten der Bergakademie zum Ausländerstudium wider, in denen selten und dann auch nur in Einzelfällen Kritik am Verhalten oder den sprachlichen bzw. fachlichen Leistungen der Mosambikaner geübt wurde [39]. Häufiger wurden sie einzeln oder als Gruppe für Hilfsassistententätigkeiten, gute Praktikumsresultate, gegenseitige Unterstützung oder beispielhafte Kulturarbeit gelobt und ausgezeichnet. Im Bereich Geotechnik und Bergbau wird der Einsatz der beiden mosambikischer Hochschullehrer Dr. Fenk und Dr. Krauß bei der Betreuung der mosambikanischen Studenten besonders gewürdigt [40].

Die bis 1990 in ihre Heimat zurückkehrenden Absolventen der Bergakademie erwartete eine ungewisse Zukunft. Wegen des Bürgerkriegs begannen viele von ihnen ihr Berufsleben in Europa, wo noch heute vier „Freiberger“ tätig sind – oder in den Nachbarländern Südafrika, Sambia oder Namibia. 27 der 31 Diplomingenieure arbeiten heute wieder in ihrem Heimatland und bekleiden verantwortungsvolle Funktionen in der Wissenschaft (vier Professoren), sind angestellte Manager in größeren Unternehmen oder leiten eigene Firmen bzw. besetzen Spitzenpositionen in Ministerien. So haben der Generalinspektor Bergbau Mosambiks (vergleichbar mit dem Sächsischen Oberberghauptmann), Obete Matine, der Berater der Ministerin für Bergbau und Energie, Henrique Cossa, und der Nationaldirektor für Bergbau und Geologie, Geraldo Valoi, an der Bergakademie Freiberg studiert [41]. Ein erfolgreich absolviertes Postgradualstudium, ein Absolvent der Ingenieurschule und die

erfolgreiche Promotion von Frau Dai Kin Fung in der Sektion Geowissenschaften komplettieren die Ausbildungsergebnisse der Bergakademie für Mosambik bis 1990.

Nach der deutschen Wiedervereinigung und der Beendigung des Bürgerkriegs in Mosambik konnte die intensive Zusammenarbeit der Bergakademie Freiberg mit Mosambik trotz der vielen, hohe Funktionen bekleidenden Alumni nicht fortgesetzt werden. Die Ursache, warum das bis 2012 nicht geschah, ist einer vertiefenden Untersuchung wert.

Der Neubeginn der Zusammenarbeit Sachsens mit Mosambik und die Bedeutung der Freiburger Alumni

Zur Vorbereitung des Vorhabens „Verbesserung der Rohstoffgovernance in Mosambik 2013–2016“ der deutschen Entwicklungszusammenarbeit [42] besuchten Vorstände des Geozentrum Freiberg e.V. vom 30.9. bis zum 9.10.2012 Mosambik. Durch die engagierte Mitwirkung von Alumni der Bergakademie konnten Besuche und Gespräche ermöglicht werden, die nicht einmal jede Regierungsdelegation realisieren kann. Ein mehrstündiger Meinungsaustausch mit der Ministerin für Bergbau Mosambiks, Esperanza Bias, ihrem Generalinspektor Bergbau (Alumnus) sowie ihren Nationaldirektoren Bergbau und Geologie (Alumnus) war der protokollarische und fachliche Höhepunkt der Reise, in deren Rahmen weitere hochkarätige Besuche und Gespräche stattfanden (z. B. mit dem Gouverneur der Provinz Nampula sowie zahlreichen Geschäftsführern nationaler und internationaler Firmen).

Der Besuch begründete die neue Etappe der Zusammenarbeit mit Sachsen. Für diese Kooperation formulierte die Ministerin drei Schwerpunkte:

1. Die Schaffung einer leistungsstarken, kontrollfähigen Bergbauverwaltung, besonders wegen des dynamisch wachsenden Interesses ausländischer Investoren am Abbau von Rohstoffen in Mosambik
2. Die Verbesserung der Sicherheit und des Umweltschutzes im Bergbau Mosambiks
3. Die Ausbildung qualifizierter mosambikanischer Fachkräfte im In- und Ausland für den Rohstoffsektor

Auf mosambikanischer Seite waren es immer wieder die Freiburger Alumni, die nachdrücklich für die Nutzung der sächsischen Kompetenzen eintraten. Diese konzentrieren sich ähnlich wie vor 1990 auf folgende Kernbereiche:

1. Die Einbeziehung sächsischer Experten in eigen- oder fremdfinanzierte Projekte für Mosambik
2. Die Aus- und Weiterbildung mosambikanischer Studenten an der TU Bergakademie

Beiträge sächsischer Experten zur Stärkung der Generalinspektion Bergbau in Mosambik

Die zu diesem Schwerpunkt bisher erreichten Ergebnisse können im Rahmen dieses Artikels nicht detailliert vorgestellt werden, hier deshalb nur eine kurze Übersicht.

Aus dem Besuch der mosambikanischen Bergbauministerin Bias in Sachsen vom 18. bis zum 21.9.2013, der sowohl deren hohe Wertschätzung für die Bergbaukompetenz Sachsens als auch die hohe Erwartungshaltung an eine sächsische Unterstützung dokumentierte, resultieren die ersten Aktivitäten unter Mitwirkung von Experten der TU Bergakademie Freiberg (u. a. Prof. Reinhardt Schmidt, Prof. Carsten Drenstedt):

- Projekt „Job Descriptions für die Generalinspektion Bergbau“ im Rahmen des GIZ-Vorhabens [43]

- Projekt „Aufbau eines Grubenrettungs- und Gasschutzwesens in Mosambik“ [bisherige Ergebnisse s. 44, 45]
 - Beginn eines Bund-Länder-Projekts Sachsen/Mosambik (BMZ) „Kapazitätsaufbau und Innovationsförderung zur Verbesserung der Bergbausicherheit in der mosambikanischen Bergbauverwaltung“ ab 2016
 - Initiierung und fachliche/finanzielle Mitgestaltung einer jährlichen Tagung der Bergbauinspektoren Mosambiks zu aktuellen und perspektivischen Themen im Bergbau des Landes (Kontrollschwerpunkte und -ergebnisse, Analyse des Unfallgeschehens, Weiterbildung, Vorstellung von Investoren und Projekten)
 - Besuch des Sächsischen Staatsministers für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Martin Dulig, in Mosambik (9.–12.4.2017)
- Mit dem kürzlich bis 2018 verlängerten Bund-Länderprojekt Sachsen/Mosambik verfügt der Freistaat über ein wirksames, flexibel handhabbares Instrument zur Unterstützung der mosambikanischen Bergbauverwaltung durch sächsische Unternehmen und Institutionen.

Neubeginn der Ausbildung mosambikanischer Studenten an der TU Bergakademie Freiberg

Viele der in der Rohstoffwirtschaft Mosambiks tätigen Investoren sehen in den Schwierigkeiten bei der Gewinnung qualifizierter Fachkräfte ein Hindernis für ihre Vorhaben [46]. Folgerichtig bezeichnete die Bergbauministerin Bias die Unterstützung Mosambiks auf diesem Gebiet als besonders wichtig und dringlich. Bei ihrem Besuch an der TU Bergakademie Freiberg am 19.9.2013 kündigte sie die umgehende Vorbereitung und Entsendung von zehn Studenten ihres Landes zum Studium in rohstoffrelevanten Fächern nach Freiberg an. Schon am 18. Januar 2014 unterzeichnete der Rektor der TU Bergakademie, Prof. Dr. Bernd Meyer, in Maputo einen entsprechenden Vertrag, der zusätzlich den Austausch von Wissenschaftlern beider Länder und gemeinsame Projekte vorsieht [47].

Im Herbst 2014 begann die avisierte Gruppe mit der Sprachausbildung in Sachsen; neun Studenten absolvierten sie erfolgreich und nahmen 2016 ein Studium in Freiberg auf. Eine weitere Gruppe von zehn Mosambikanern kam im Oktober 2015 zur Ausbildung, davon sind zwischenzeitlich acht immatrikuliert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Verteilung der mosambikanischen Studenten auf Fachrichtungen

Studiengang	Studienbeginn	2016	2017
Geotechnik und Bergbau		4	7
Geologie/Mineralogie		3	1
Geoökologie		1	–
Energietechnik		1	–

Im Herbst 2017 wurden weitere zehn junge Mosambikaner zur Vorbereitung auf ein Studium in Freiberg erwartet.

Zur Begleitung und ggf. Unterstützung der mosambikanischen Studenten, die wieder zu den größten Landesgruppen ausländischer Studierender in Freiberg zählen, wurde im Geozentrum Freiberg e. V. ein Arbeitskreis Mosambik gegründet. So konnten mit Unterstützung Leipziger Unternehmen die Studenten der ersten Gruppe mit einem Laptop ausgerüstet und denen der zweiten Gruppe durch Dr. Wittig ein geowissenschaftliches Fachwörterbuch Portugiesisch-Deutsch/Deutsch-Portugiesisch überreicht werden, das er selbst während seiner



Abb. 3: Überreichung des Wörterbuchs durch Dr. Wittig an die Studenten



Abb. 4: Sächsisches Mineral und Flagge für den Alumniverein in Mosambik

Lehrtätigkeit in Mosambik erarbeitet hat (Abb. 3). Zukünftig wollen die Mitglieder dieses Arbeitskreises auch bei der Bereitstellung von Praktikumsplätzen und -themen behilflich sein.

Die sich positiv und schnell entwickelnde neue Kooperation zwischen Sachsen und Mosambik wäre ohne die ständige, engagierte Unterstützung durch die Alumni der Bergakademie so nicht möglich. Sie sind ihrer Alma Mater auch nach Jahrzehnten noch eng verbunden. 2012 hat sich unter Regie des Generalinspektors Bergbau, Matine Obete, der Alumniverein in Maputo gegründet. Die Aufenthalte sächsischer Experten werden regelmäßig zu Treffen mit den Alumni genutzt; meist sind 12 bis 15 Teilnehmer anwesend. Mehrfach haben die Bergbauminister Mosambiks an den Alumnitreffen teilgenommen und sich tief beeindruckt von dieser Verbundenheit gezeigt. Bisheriger Höhepunkt für die Alumnivereinerung war die Übergabe eines Geschenks des VFF der TU Bergakademie am 10. April 2017. In Anwesenheit des deutschen Botschafters in Mosambik, Dr. Detlef Wolter, konnte der sächsische Wirtschaftsminister Martin Dulig voller Stolz feststellen „Die Bundesrepublik hat einen Botschafter in Mosambik, der Freistaat Sachsen hat über 30“.

Ausblick

Die Aktivitäten im Rahmen der wiederaufgenommenen sächsisch-mosambikanischen Zusammenarbeit sind ein realer Beitrag

zur neuen deutschen Afrikapolitik. Die TU Bergakademie ist dabei sowohl handelnder Akteur als auch mit ihren Alumni eine Institution in Mosambik, die für Fachkompetenz, Vertrauen und Kontinuität steht. Die daraus resultierende, privilegierte Rolle Sachsens, zumindest für den Bergbau- und Rohstoffbereich Mosambiks, gilt es zu erhalten und auszubauen. Wichtige Aufgaben für die Zukunft sind:

- die Sicherung einer kontinuierlichen Ausbildung mosambikanischer Studenten an der TU Bergakademie Freiberg
- die Unterstützung der universitären Ausbildung von Bergbauingenieuren in Mosambik
- die Zusammenarbeit von TU Bergakademie Freiberg, mosambikanischen Hochschulen und Bedarfsträgern in der Weiterbildung sowie in Forschung und Entwicklung
- die Unterstützung der Alumni-Arbeit in Mosambik
- die Unterstützung Mosambiks bei der Ausbildung von Technikern und Facharbeitern für den Bergbau
- die Verbesserung der Produktivität, der Bergbausicherheit und der Lebensbedingungen im Kleinbergbau Mosambiks
- die Schaffung einer wirksamen Bergaufsicht in den zehn Provinzen Mosambiks
- die Eröffnung und Unterstützung des Zentrums für Bergbausicherheit, Grubenrettungs- und Gasschutzwesens in Mosambik

Das Literaturverzeichnis ist auf Wunsch bei den Verfassern erhältlich.

Das Laufteam der TU Bergakademie verbindet Ausdauersportler aller Fakultäten

Seit sechs Jahren existiert an unserer Universität das Laufteam TU Bergakademie Freiberg. Außerhalb der klassischen Vereinsstrukturen stellt es eine lockere Vereinigung von Ausdauersportenthusiasten an der Bergakademie dar. Dabei kommen die Sportler aus allen Fakultäten unserer Universität, was zu einer Verknüpfung der zahlreichen Fachbereiche auch auf sportlichem Wege beiträgt. Neben dem gemeinsamen

Training sind Wettkampfteilnahmen für die Gruppe von großer Bedeutung. Längst tritt sie nicht nur bei Laufveranstaltungen auf, sondern ist auch in den Ergebnislisten von Triathlons sowie Skiwettkämpfen zu finden. Für ihre guten sportlichen Leistungen ist die Gruppe in der Region bekannt.

Die Anfänge der Gruppe gehen auf das Jahr 2011 zurück, als Lisa Kühnel

nach dem Ende ihrer Biathlonkarriere in Oberhof ein Maschinenbaustudium an der Bergakademie aufnahm. Zu ihren Erfolgen zählte der Gewinn von Bronzemedailles bei der Biathlon Juniorenweltmeisterschaft. Dort ließ sie beispielsweise die aktuelle Sprintweltmeisterin Gabriela Koukalová hinter sich. Im Rahmen des Unisports übernahm sie die Laufgruppe, die seit einigen Semestern nicht mehr aktiv gewesen war. Durch leistungsorientierte Trainingsmethoden entstand schnell eine Trainingsgruppe von rund



Foto: Cinja Gröndl

Das Laufteam der TU Bergakademie Freiberg bei den Sächsischen Hochschulmeisterschaften im Straßenlauf im Mai 2017. Die 13 Teilnehmer der Bergakademie holten in Dresden 2 x Gold und 5 x Silber. Die Mannschaft umfasste neben Studenten auch Mitarbeiter und Doktoranden. Ein Zeichen hierfür ist auch die große Altersspanne unserer Teilnehmer von 19 bis 55 Jahren.

zehn Sportlern, die sich regelmäßig zum Stabilisations- und Lauftraining im Rahmen des Unisports trafen. Es dauerte nicht lange, bis erste gemeinsame Wettkampfteilnahmen außerhalb des Unisports organisiert waren. Über diese berichteten wir regelmäßig auf unserer Facebookseite und unserem Blog.

In den folgenden Jahren stießen weitere Sportler wie Peter Hoffmann, Georg Semmler und Gert Schmidt zur Gruppe. Letzterer fand nach einigen Jahren mit einem weniger intensiven Sportprogramm durch das gemeinsame Training mit jungen Studenten zu alter Stärke zurück. Der 56-jährige Mitarbeiter vom IKGB beendete Marathonwettbewerbe in deutlich unter drei Stunden und wurde in seiner Altersklasse 2017 Vizeeuropameister über 1500 m für den TVL-Freiberg. Über 800 m holte er die Bronzemedaille. Georg Semmler war nicht nur durch seine Titel bei Sächsischen Hochschulmeisterschaften eine Bereicherung für die Mannschaft, sondern konnte auch seine Erfahrungen vom SV Großwaltersdorf einbringen, wo er als engagierter Nachwuchstrainer tätig ist.

Mit Peter Hoffmann ist ein weiterer ehemaliger Profibiathlet im Laufteam. Außer mit zahlreichen Titeln bei Sächsischen Hochschulmeisterschaften im Laufen und im Triathlon profitierten die Teammitglieder im Winter von seinen Erfahrungen im Bereich Langlauftechnik und Skipräparation.

Bei Wettkämpfen konnte das Laufteam oft mit internationalen Teilnehmern aufwarten. Beispiele sind Sportler aus Kanada, Brasilien, Japan, den Niederlanden,

Polen oder Tschechien. Dies erfreute auch die Organisatoren von regionalen Laufveranstaltungen. Im Wintersemester 2014 konnten wir mit Hana Kolářová aus Tschechien auch eine Profitriathletin in unseren Reihen begrüßen. Nach einer Operation am Meniskus konnte sie in unserer Gruppe ein schonendes Aufbauprogramm absolvieren und holte nebenbei sechs Medaillen bei sächsischen Hochschulmeisterschaften für die Berg-



akademie. Mittlerweile startet sie wieder im Triathlon Europa-Cup für Tschechien.

Auch Kurioses gibt es zu berichten. So flatterte für die Geoökologiestudentin Annelie Ehrhardt ein Autogrammkartenwunsch per Post an die Bergakademie. Sie wurde mit der gleichnamigen Hürdenläuferin, die 1972 für die DDR erste Olympiasiegerin im 100-m-Hürdenlauf wurde, verwechselt.

Außer auf sportliche Leistungen wurde auch auf die Öffentlichkeitsarbeit Wert gelegt, denn für einige Schüler ist sicher auch ein gutes Sportangebot ein ausschlaggebender Punkt für die Wahl ihres Studienortes. Das größte Medienecho

bewirkten wir 2015 mit der Teilnahme an den Deutschen Hochschulmeisterschaften im Triathlon in Tübingen. Unsere Damemannschaft, bestehend aus Katharina Ander, Marlena Götza und Maria Winter, belegte einen hervorragenden vierten Platz in der Mannschaftswertung, und die Freie Presse berichtete im Laufe der Vorbereitung und nach dem Rennen vier Mal über uns.

Doch die Teilnahme an den Deutschen Meisterschaften war mit vielen Hindernissen verbunden. Zunächst müssen Freiburger Sportler ein doppeltes Startgeld entrichten, da die Bergakademie nicht Mitglied im Allgemeinen Deutschen Hochschulsportverband ist. Aufgrund der Förderbedingungen gemäß Vereinsatzung konnte auch der VFF die Wettkampfteilnahme leider nicht finanziell unterstützen. So wurde notgedrungen ein Kuchenbasar vor der Mensa veranstaltet, und mit Hilfe von Zeitungsartikeln gelang es, Unternehmen und private Sponsoren an Bord zu holen, so dass der Etat gedeckt werden konnte.

Im Rahmen der Städtepartnerschaft mit der Freiburger Partnerstadt Pířbram folgten wir im Juni 2017 der Einladung unserer tschechischen Sportfreunde und nahmen mit vier bzw. fünf Sportlern an den Tschechischen Meisterschaften im Olympischen Triathlon sowie am Pířbramer Halbmarathon teil. Außer mit sportlichen Leistungen erfreuten wir unserer Gastgeber mit unseren Tschechischkenntnissen, die drei unserer Sportler in den früher an der Bergakademie angebotenen Sprachkursen erworben hatten. Im Gegenzug empfingen die Sportler der Bergakademie im September eine Gruppe Pířbramer Sportler. Unter ihnen befanden sich auch Schüler, die sich noch für einen Studienort entscheiden müssen.

Auch wenn die Bergakademie keine Sportuniversität ist, zeigen unsere Leistungen doch, dass die Sportler unserer Einrichtung förderfähig sind. Im Vergleich zu Spitzensportlern können nicht immer Meistertitel geholt werden, doch im Rahmen eines anstrengenden Arbeits- bzw. Studienalltags geben alle Sportler ihr Bestes, und die dabei entstehende öffentliche Aufmerksamkeit ist nicht zu verachten. So hoffen wir, dass wir bald auch neue Laufbekleidung im Unidesign organisieren können, denn die aktuellen Leihshirts sind durch die Teilnahme an zahlreichen Wettkämpfen bereits abgetragen.

In diesem Sinne Sport frei!

■ Cornelius Oertel

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2016

Begrüßung

Der geschäftsführende Vorsitzende des Vereins, Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar, begrüßte die Versammlungsteilnehmer und dankte für das zahlreiche Erscheinen. Im Gedenken an die elf verstorbenen Vereinsmitglieder erhoben sich die Anwesenden zu einer Schweigeminute.

Jahresbericht des Vorstands und der Geschäftsführung

Der gemeinsame Tätigkeitsbericht von Vorstand und Geschäftsführung wurde von Prof. Kretzschmar vorgetragen. Er umfasste folgende Punkte:

- Mitgliederstand
- Finanzstand gemäß Einnahmen-Ausgaben-Bilanz
- Schwerpunkte der Fördertätigkeit
- Förderpreise für Studierende
- Alumni-Arbeit
- Zeitschrift ACAMONTA
- Pflege von Professoren-Gräbern
- Erinnerungsstein zur Bergakademie-Gründung 1765.

Die Versammlung wurde über die auf-lagenfrei ausgegangene Finanzprüfung zum Jahr 2015 durch den Wirtschafts- und Steuerprüfer informiert.

Der Bericht des Rechnungsprüfers, vorgetragen von Herrn Knull, enthielt keine Beanstandungen. Der Rechnungsprüfer empfahl die Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2015.

Der Jahresbericht 2015 und der Finanzplan-Entwurf für das Geschäftsjahr 2017 wurden ohne Diskussionsmeldungen einstimmig angenommen, ebenso die Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2015.

Auszeichnungen und Ehrungen

Zur Auszeichnung mit dem Cotta-Preis wurden sechs Diplom- bzw. Masterarbeiten und acht Dissertationen vorgeschlagen.

Die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise erhielten in der

- **Kategorie I, Dissertationen:** Dr.-Ing. Christina Wüstefeld, Fakultät 5, „Defect engineering in transition metal based nitride thin films by energetic treatment during deposition“ (anwendungsorientiert);

- Dr. Markus Dod, Fakultät 1, „Domination in graphs with application to network reliability“ (grundlagenorientiert);
- **Kategorie II, Diplom- und Masterarbeiten:** M.Sc. Philip Rößger, Fakultät 4, „Optimierung eines innovativen Quenchdesigns mit integrierter CO-Konvertierung mit Fluent und modeFRONTIER“ (anwendungsorientiert);
- Dipl.-Ing. E. Frank Sandig**, Fakultät 5, „Untersuchung der spannungs- und verformungsinduzierten Martensitbildung in einem hochlegierten austenitischen Stahl mit 30 % Nickel“ (grundlagenorientiert).

Die Preisträger stellten in kurzen Vorträgen die Ergebnisse ihrer Arbeiten vor und erhielten ihre Urkunden und Preise. Danach folgte – wie auch in den Vorjahren – eine Würdigung anwesender VFF-Mitglieder, die vor 50 Jahren an unserer Universität promoviert haben, durch den VFF: Prof. Dr.-Ing. Horst Brandt, Dr.-Ing. Peter Göhler, Prof. Dr.-Ing. habil. Adolf Kochs und Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz-Joachim Spies. Aus Anlass des 50-jährigen Jubiläums der erfolgreichen Habilitation wurde Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Bilkenroth geehrt.

Vorstandswahl für die Periode 2016 bis 2019

Der Wahlleiter, Prof. Frieder Häfner, erläuterte die einschlägigen Modalitäten und stellte die Kandidaten Jens Hörhold und Thomas Knull als Rechnungsprüfer vor. Die Versammlung stimmte dem Vorschlag per Akklamation zu. Für die Vorstandswahl wurde die mit der Einladung versandte Kandidatenliste um die Namen von Prof. Dr. Bernhard Cramer und Prof. Dr. Hans-Ferdinand Schramm ergänzt. Die Abstimmung über die so vervollständigte Liste erfolgte in geheimer Wahl.

Nach Stimmenauszählung gab der Wahlleiter bekannt, dass alle Kandidaten in einzelner Abstimmung mit großer Mehrheit gewählt wurden. In seiner konstituierenden Beratung benannte der neu gewählte Vorstand Prof. Hans-Ferdinand Schramm als Vorsitzenden, Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar als Geschäftsführer und stellvertretenden Vorsitzenden, Prof. Horst Brezinski als Schatzmeister und Prof. Elias Wegert als Schriftführer. Die Wahl wurde von den Gewählten angenommen. Der Vorstand besteht nun aus folgenden Mitgliedern:

- 1 Prof. Hans-Ferdinand Schramm, Vorsitzender

- 2 Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar, Geschäftsführer
 - 3 Prof. Dr. rer. pol. habil. Horst Brezinski, Schatzmeister
 - 4 Prof. Dr. rer. nat. habil. Elias Wegert, Schriftführer
 - 5 Prof. Dr. phil. habil. Helmuth Albrecht
 - 6 Dipl.-Kfm. Klaus Borrmann
 - 7 Prof. Dr. Bernhard Cramer
 - 8 Dipl.-Verwaltungswirt (FH) Erich Fritz
 - 9 Dipl.-Ing. Reinhard Fuchs
 - 10 Dr.-Ing. habil. Manfred Goedecke
 - 11 Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Groß
 - 12 Oberbürgermeister Sven Krüger
 - 13 Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich
 - 14 Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer
 - 15 Prof. Dr. rer. pol. Silvia Rogler
 - 16 Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dieter Schneider
- Der Rektor, Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, ist gemäß der Vereinssatzung ex officio Mitglied des Vorstands. Als ständiger Gast wird der jeweilige STURA-Vorsitzende zu den Vorstandssitzungen eingeladen.

In seiner Ansprache betonte der neue Vorsitzende seine langfristige Verbundenheit mit der Universität und sein Engagement im Kuratorium der Heinisch-Stiftung. Als wichtigste Aufgaben nannte er die Mitgliedergewinnung, die Alumni-Arbeit, die Redaktion der ACAMONTA sowie eine gute Zusammenarbeit mit dem Rektorat. Er dankte dem scheidenden geschäftsführenden Vorsitzenden und übernahm die Leitung der Versammlung.

Rektor-Informationsbeitrag zur TU Bergakademie Freiberg

Der Rektor der Bergakademie, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, dankte dem Verein und seinem bisherigen Vorstand. In seinem inhaltsreichen Bericht über aktuelle Entwicklungen und geplante Vorhaben an der Universität ging er insbesondere auf folgende Themen ein:

- Entwicklung der Studentenzahlen (Einschreibungen und Absolventen)
- Entwicklung des Personals (aus Haushalts- bzw. Drittmitteln finanzierte Beschäftigte)
- Schaffung einer virtuellen Fakultät im Zuge der Digitalisierung und Internationalisierung
- Position der Universität bei den Drittmitteln (2. Platz in Deutschland bei Drittmitteln pro Professur)
- Beschleunigung von Berufungsverfahren (acht Berufungen im letzten Jahr)

- Entwicklung der Studiengänge, Zahl ausländischer Studierender und Doppelabschlüsse
- Hochschulkooperationen und internationale Beziehungen
- Interdisziplinäre Spitzenforschung (zwei Sonderforschungsbereiche, zwei DFG-Schwerpunktprogramme, Spitzentechnologiecluster, Ressourcentechnologie-Institut der Helmholtz Gesellschaft)
- Promotionen, Patente und Erfindungen
- Gründung von Europas größtem Ressourcennetzwerk „EIT Raw Materials“ mit Geschäftsstelle in Freiberg
- Baumaßnahmen (Wissenschaftskorridor, Forschungsbauten, Forschungs- und Lehrbergwerk)
- Grundsteinlegung zum Chile-Haus
- Geostrategisch wichtige Konferenzen (Arktis-, Südamerika- und Afrika-Konferenzen)
- Abschlussveranstaltung zum 250. Jubiläum am 3. Mai 2016

Festvortrag

„Energie aus Braunkohlen in der Lausitz“

Der Vortragende, Dr. Hartmuth Zeiß, studierte von 1975 bis 1980 an der Bergakademie Freiberg. Als ehemaliger Vorstandsvorsitzender der Vattenfall Europe Mining AG und jetziger Aufsichtsratsvorsitzender der LEAG (Lausitz Energie Bergbau AG und Lausitz Kraftwerke AG) erläuterte er die Chancen und Risiken des Braunkohlentagebaus in der Lausitz und verdeutlichte Konsequenzen der Energiepolitik für die Energieversorgung und die wirtschaftliche Entwicklung der Region.

Abendliche Barbarafeier

Der neu gewählte Vorsitzende des Vereins, Prof. Hans-Ferdinand Schramm, begrüßte die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung im Festsaal der Alten Mensa zur Feier des Fests der Heiligen Barbara.

Die Verleihung des „Ehrenarschleders“ an Herrn Dr. Hartmuth Zeiß durch den Rektor und die „Berggeschworenen“ mit einer Laudatio von Prof. Drebenstedt waren Höhepunkte des Abends.

Die Mitglieder des „Academic Theatre“ gestalteten ein historisierendes Stück über „Bergakademische Geister“ (Papperitz, von Carlowitz, Mohs).

Das Büffet wurde – wie immer – sehr gut angenommen. Die abendliche Bergmusik mit dem „Bergmusikorps Saxonia Freiberg“ unter der Leitung des Dirigenten Jens Göhler und der gemeinsame Gesang des Steigerlieds rundeten den Abend ab.

Vereinsaktivitäten 2017

Mitgliederstand

Zum 15.8.2017 hatte der Verein 1354 Mitglieder, davon 1267 persönliche und 87 juristische Mitglieder. Seit Dezember 2016 wurden 36 Mitglieder wegen ausbleibender Beitragszahlung gestrichen. Künftig werden Absolventen-Mitglieder für drei Jahre ab der Beendigung ihres Studiums beitragsfrei gestellt.

Finanzen

Mit Einnahmen in Höhe von 177.045,- EUR im Jahr 2016 wurde das Ziel von 160.250,- EUR übererfüllt. Mehreinnahmen wurden durch Spenden, Wertpapiereinnahmen und Zahlung von Beitragsrückständen erreicht. Die Ausgaben von 177.366,- EUR im Jahr 2016 liegen über den geplanten 160.250,- EUR, sind aber durch den hohen Kassenstand gerechtfertigt. Zusätzliche Ausgaben sind insbesondere für die Dotierung von Preisen und Auszeichnungen, für die Arbeit der Alumni-Beauftragten und für Zwecke der Studienförderung entstanden.

Außer diesem Vereinshaushalt verwaltet der VFF noch Zweckprojekte für Forschung, Bildung und Begegnungsveranstaltungen unserer Universität mit einem jährlichen Budget zwischen 300 bis 400 T€. Zehn Förderkreise einzelner Institute bzw. Fachrichtungen pflegen das Begegnungsgeschehen. Die Rücklagen des Vereins schwanken um 60 T€ über das Jahr. Dank der Beiträge und Spenden der Mitglieder steht der Verein auch im Jahr 2017 auf einer stabilen finanziellen Basis – in Kontinuität zu den Vorjahren.

Publikationen

Die jährliche VFF-Hauptpublikation ist die jedem Mitglied zugehende Ver-

einszeitschrift ACAMONTA, die gemeinsam mit dem Rektor der TU Bergakademie Freiberg herausgegeben wird. Dem Redaktionsteam ist wie stets sehr für die im Hintergrund geleistete umfangreiche Detailarbeit zu danken.

Der Verein unterstützte die vom Ehrenmitglied Frau Dr. Erika Krüger herausgegebene Publikation „NAMIBIA – Minerals and Localities“, Band II, Bode Verlag, Erscheinungsjahr 2016.

Die Manufaktur Siegfried Werner in Seiffen erweiterte den „Freiberger Gelehrtenzug“ um vier weitere Holzfiguren (Carlowitz, Gellert, v. Trebra, Weisbach).

Der VFF regt zudem die Erstellung eines Modells zum Thema „850 Jahre Silbererzfund in Freiberg“ für die Stadt Freiberg durch die genannte Seiffener Manufaktur an. Im Jahr 2018 ist es der Legende nach 850 Jahre her, dass am Schüppchenberg im Münzbachtal unterhalb der Flur Christiansdorf von Halleschen Salzfuhrlenten Silbererzstücke entdeckt wurden, die das erste „Bergeschrey“ in Freiberg auslösten und somit die Ursache dafür sind, dass man die 850. Wiederkehr des „Gründungsjahrs des sächsischen Erzgebirges“ begehen kann.

Alumni-Arbeit im FAN

Die Alumni-Betreuung der Bergakademie-Absolventen geschieht im Auftrag der Universität durch zwei hochmotivier-te Alumni-Beauftragte im VFF. Obwohl FAN (Freiberger Alumni Netzwerk) und VFF organisatorisch selbstständige Institutionen sind, ergeben sich wegen der inhaltlichen Überschneidungen der zu erledigenden Aufgaben willkommene Synergieeffekte dadurch, dass oft gemeinsame Veranstaltungen für Absolventen und Studierende der Bergakademie vorbereitet und durchgeführt werden. Das sind bspw.



Die neuen Holzfiguren im „Freiberger Gelehrtenzug“ verkörpern Hans Carl von Carlowitz, Christlieb Ehregott Gellert, Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra und Julius Ludwig Weisbach (v.l.).

die studentischen Gesprächsabende, die jährliche Absolventenverabschiedung im November und die Verleihung der Silbernen und Goldenen Diplome. (Eine ausführliche Darstellung der FAN-Arbeit finden Sie im unmittelbar anschließenden Beitrag von S. Preißler und C. Bornkampf.)

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. Bornkampf, für ihr effizientes Wirken.

Heinisch-Stiftung

Die Heinisch-Stiftung wird vom VFF-Vorstand als beispielgebend für analoge Stiftungsaktivitäten betrachtet, wobei immer auch Zustiftungen möglich sind. Auf diesem Weg kann eine zusätzliche Finanzhilfe für die Pflege und Erweiterung der Geowissenschaftlichen Sammlungen – außer durch die Zuweisung öffentlicher Mittel – gewährt werden.

Im Jahr 2016 wurde aus dem Anlagevermögen des VFF heraus ein Gewinn von 40.000,- EUR erzielt. Für den Ankauf einer vorzüglichen Silberstufe für die Geowissenschaftlichen Sammlungen werden 50.000,- EUR in Jahresraten aufgewendet. Der Übergang des Eigentums an dieser Stufe erfolgte bereits im Juli 2017. Sie ist ein besonders wertvolles Sammlungsstück aus der Grube „Weißer Hirsch“ in Schneeberg. Des Weiteren wurde das Projekt des Instituts für Mineralogie „Digitalisierung der Sammlungsstücke“ teilfinanziert.

Gedenken an A. G. Werner

Der 200. Todestag von Abraham Gottlob Werner, dieses bedeutenden Professors an der Bergakademie und „Vaters“ der modernen Geologie sowie Mineralogie, war im Gedenkjahr 2017 Anlass für mehrere Würdigungen, in die sich der Förderverein einbrachte. Das entsprechende mehrtägige internationale Symposium Ende Juni an der TU Bergakademie Freiberg wurde vom VFF finanziell gefördert.

Das Werner-Denkmal am Krüger-Haus/Schloßplatz erfuhr auf VFF-Veranlassung eine Reinigung und Ausbesserung.

Der Werner-Gedenkstein vorm Neuen Annenfriedhof in Dresden erhielt eine neue Erklärungssäule (eine Edelstahl-Basalt-Steile), an deren Kosten sich der VFF beteiligte. An diesem Ort wurde der Leichnam Werners 1817 von einer königlichen Abordnung an die Freiburger Berg- und Hüttenleute zu seinem letzten Zug nach Freiberg übergeben. Das war



Silber auf Calcit, Grube Weißer Hirsch, Schneeberg, Erzgebirge. 6 x 10 cm

genau der Ort, an dem Werner bei damals noch freiem Blick auf die Dresdner Altstadt gern rastete. Die vor vier Jahren erfolgte Restaurierung des Werner-Grabsteins im Kreuzgang des Freiburger Doms, initiiert vom VFF, war Anlass, im Jahr 2017 eine Untersuchungsarbeit zu weiteren Bergakademisten-Grabstellen im Kreuzgang und auf dem Grünen Friedhof auszulösen. Bis dahin waren nur die Grablagen von Werner und v. Ooppel bekannt.

Der Historiker Lasse Eggers führte diese interessante Analyse im VFF-Auftrag durch und erstellte einen soliden Ergebnisbericht, der beim VFF eingesehen werden kann. Weil der Grüne Friedhof bereits 1832 für Grablegungen geschlossen wurde, befinden sich nur noch vier weitere Begräbnisse von Bergakademisten am Ort, dazu allerdings die einiger Direktoren des Oberbergamts, wie der Berghauptleute von Ponickau und Pabst von Ohain.

Der Verein lässt auf dem Donatsfriedhof mehr als 30 Grabstellen von Professoren der Bergakademie im Frühjahr und Herbst grundpflegen. Diese Aufgabe übernimmt dankenswerterweise die Familie Gerber; Herr Gerber ist an der TU Bergakademie Freiberg im Dezernat 1 tätig.

Wenn Sie, liebes Vereinsmitglied, an gelegentlichen Kontrollgängen entlang der

in einer VFF-Broschüre dokumentierten Professorengräber interessiert sind, bitten wir Sie um Kontakt zur VFF-Geschäftsstelle. Sie würden uns damit bei der Grabpflege ggf. unterstützen.

Ausblick auf 2017

Der VFF-Vorstand, der zweimal im Jahr zusammentritt, und die Geschäftsführung, inbegriffen Frau Meister und die beiden Alumni-Beauftragten, werden im Jahr 2017 die Vereinsarbeit kontinuierlich auf solider Finanzbasis fortsetzen. Die Schwerpunkte der Förderaktivitäten sind:

- Förderung von Studierenden und Instituten in der Lehre
 - Unterstützung und Verwaltung von Forschungs- und Weiterbildungsprojekten der Universität
 - Fortsetzung der Alumni-Arbeit
 - Rektorfonds, IUZ-Fonds
 - Preisverleihungen
 - Organisation von Informations- und Festveranstaltungen
 - Publikationen
 - Betreuung der Heinisch-Stiftung
- Anregungen und Signale der Bereitschaft zur Mitwirkung im Rahmen dieser vielfältigen Vereinsarbeit werden gern entgegen genommen.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Diamantenes Diplom erstmals an der TU Bergakademie Freiberg verliehen

Erfolgreiche Arbeit des Freiburger Alumni Netzwerks

Stefanie Preißler, Constance Bornkampf



Freiburger Alumni Netzwerk · Akademiestraße 6 · 09599 Freiberg · alumni@zuv.tu-freiberg.de
Tel. +49 (0) 3731 39-3772, -2675 · Fax -2551



Gruppenfoto Diamantenes Diplom 2017

Am 2. Mai 2017 verlieh der Rektor, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, erstmals an 16 Absolventen das Diamantene Diplom der TU Bergakademie Freiberg. Alle Jubilare hatten 1957 in der Fachrichtung Bergbau ihr Studium abgeschlossen.

Zum 60-jährigen Jubiläum fanden sie sich nun zu einer Feierstunde im festlichen Senatssaal im Universitäts-hauptgebäude ein. Unter den Geehrten waren mit Prof. Klaus-Dieter Bilkenroth und Prof. Norbert Piatkowiak auch zwei emeritierte Professoren der Bergakademie Freiberg. Prof. Bilkenroth ist Ehrensenator der Bergakademie und war langjähriges

Aufsichtsratsmitglied der MIBRAG. Beide Jubilare sind zugleich Mitglieder im VFF.

Auch die anderen 14 Senioren hatten mit ihrem in Freiberg erlangten Wissen und ihrem späteren Wirken einen wesentlichen Anteil am Aufblühen der Schwerindustrie in der DDR und arbeiteten dort vielfach in Führungspositionen. „Ihr Jubiläum ist deshalb auch ein Zeugnis der engen Verbindung zwischen der Industrie und der TU Bergakademie Freiberg in der jüngeren Geschichte“ stellte der Rektor in seiner Ansprache fest. Als die Geehrten 1952 ihr Studium begannen, war das

für diese Kriegsgeneration keine Selbstverständlichkeit. An der Bergakademie Freiberg waren Anfang der 1950er-Jahre insgesamt nur rund 900 Studierende eingeschrieben, darunter 43 Frauen.

Im Anschluss an den informativen Einführungsvortrag des Rektors zur TU Bergakademie Freiberg in der Gegenwart folgte der Höhepunkt der Feier: Prof. Klaus-Dieter Barbknecht übergab jedem der Alumni persönlich die Urkunde zum Diamantenen Diplom. Dabei brachte er seine Anerkennung diesen Alumni gegenüber zum Ausdruck: „Sie haben all das miterlebt, sich auf Ihrem Lebensweg nicht beirren lassen und Ihrer Alma Mater Freibergensis weiterhin die Treue gehalten. Ich hoffe, dass wir mit Ihrem Beispiel eine neue Tradition des Diamantenen Diploms an der TU Bergakademie Freiberg begründen.“ Den Ausklang der Urkundenübergabe bildeten das Singen des Steigerlieds und ein Sekttempfang, bei dem sich die Jubilare angeregt über die alten Zeiten unterhielten.

Es gibt in Deutschland wenige Hochschulen, die ein Diamantenes Diplom an ihre „60er“-Absolventen verleihen, so bspw. noch die TU Clausthal. Für die Bergakademie übernimmt das Freiburger Alumni Netzwerk (FAN) die notwendige Organisation. Die beiden Alumni-Beauftragten des VFF konzipierten die Feier entsprechend. Erfreulicherweise ist bereits eine Anmeldung für ein weiteres Diamantenes Diplom einer Seminargruppe für das Jahr 2018 eingegangen.

Zum Großen Alumni-Treffen anlässlich der „Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft“ 2017 waren am 17. Juni rund 70 Alumni diverser Fachrichtungen und Jahrgänge gekommen. Speziell für diese Absolventen gab es ein Rahmenprogramm im Audimax. Musikalisch gestaltete das Saxophonquartett der Musikschule Mittelsachsen die Feierstunde. Anschließende Höhepunkte waren die Verleihung von Goldenen Diplomen, u. a. an Absolventen des ersten Jahrgangs der Fachrichtung Mathematik, einige filmische Alumni-Interviews und die Fotobox im Audimax-Foyer. Danach erkundeten die Teilnehmer

Großes Alumni-Treffen 2017 im Audimax



© TU Bergakademie Freiberg/Deleiv Müller

bis gegen Mitternacht individuell die zahlreichen Angebote des nächtlichen Treffens auf dem Campus rund um den Clemens-Winkler-Bau. Damit sich der Weg nach Freiberg doppelt lohnte, boten die FAN-Mitarbeiterinnen am Wochenende ein ergänzendes Programm mit exklusiven Alumni-Führungen an. Hier erhielten die Absolventen Einblicke in Bereiche, die während der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft nicht zugänglich waren. Besondere Nachfrage fanden die Hochspannungs-Experimentalvorlesung und der Rundgang durch den historischen Karzer der Bergakademie.

Aktuell sind in der Absolventendatenbank des FAN mehr als 5.300 Alumni¹ registriert. Zur Verbesserung des Komforts für die Nutzer der Datenbank ist die Einführung eines neuen Datenbanksystems vorgesehen. Die beiden Alumni-Beauftragten arbeiteten den Printmedien der TU Bergakademie Freiberg alumnebezogene Beiträge zu (Uni)Journal) oder gaben einschlägige Publikationen selbst heraus (Alumni-Newsletter TUBALUM, Absolventenbuch). Im digitalen Bereich wirkten sie u. a. in der AG Social Media der Universität mit. Der Bereich „Forscher-Alumni/ Technologietransfer“ wurde weiter ausgebaut. Dazu sind auf der FAN-Homepage 25 Alumni-Firmen gelistet.² Diese Liste wird laufend ergänzt. Erste Gespräche mit dem Prorektorat für Forschung bezeugen die Bereitschaft zu einer intensiveren Einbeziehung der Absolventen in den Forschungs- und Technologietransfer.

1 Stand am 01.11.2017: 5.302 Registrierungen
2 <http://tu-freiberg.de/alumni/unsere-alumni/alumni-firmen>

Weiterhin unterstützten die Alumni-Beauftragten zwei DAAD-Anträge auf Durchführung von Alumni-Symposien (IBDEM 2018 Prof. Stephan; Geomechanik 2018 Prof. Konietzky), die bis zum 30. Juni 2017 eingereicht wurden. Der Geomechanik-Antrag wurde im Oktober 2017 durch den DAAD positiv beschieden.

Neben den Absolvententreffen gab es weitere Alumni-Events, so am 12. Januar 2017 den „Report vor Ort“ auf der



Gruppenfoto mit einigen Teilnehmern des 1. Alumni-Stammtisches vor dem Naturkundemuseum in Karlsruhe

© FNV Constance Bernkamp

bergakademieeigenen Karrieremesse ORTE zum Thema „Praktikum extrem“ mit der Alumna Dipl.-Math. Friederike Röver. Sie sprach über ihre Erlebnisse auf zwei Fahrten mit dem Forschungsschiff Polarstern in die Antarktis.

Mit einer Ansprache und der obligatorischen Karzerführung beteiligten sich die beiden FAN-Mitarbeiterinnen Anfang des Jahres 2017 an der jährlichen feierlichen Promovierten- und Habilitiertenverabschiedung.

Bereits zwei Monate im Voraus ausgebaut war die bei den Alumni bestens angenommene Veranstaltungsreihe „ALUMNIght“ Ende März im Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie mit 20 Teilnehmern. Das Gleiche galt für die Besichtigung der Baggerschaden-Demonstrationsanlage am DBI-GTI im September 2017. Die hierfür verfügbaren heiß begehrten 30 Plätze waren bereits zweieinhalb Monate zuvor vergeben.

Premiere hatte am 19. Mai 2017 der 1. Freiburger Alumni-Stammtisch in Karlsruhe mit einer Führung durch das Staatliche Museum für Naturkunde, an dem mehrere Freiburger Absolventen tätig sind. Immerhin acht Alumni verschafften sich da einen durchaus ungewöhnlichen Blick hinter die Kulissen dieses beeindruckenden Museums.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2016:

Optimierung eines innovativen Quenchdesigns mit integrierter CO-Konvertierung Philip Rößger¹

Einleitung

Aktuell beschäftigt sich die Bundesregierung mit dem Thema des Ausstiegs aus der auf Kohle basierenden Energieproduktion. Nach wie vor sind die Kohlevorkommen in Deutschland die wichtigste Energierohstoffquelle. Neben der Verbrennung und der damit einhergehenden Wärmenutzung zur Stromerzeugung bietet Kohle als Kohlenstoffträger die Möglichkeit ihrer stofflichen Nutzung. Aus Kohle, aber auch aus anderen kohlenstoffreichen Substanzen – wie Biomasse oder sonstigen Reststoffen – kann mit Hilfe der Vergasungstechnologie ein Synthesegas erzeugt werden. Das hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid bestehende Synthesegas kann anschließend in einer Gasturbine der Stromerzeugung dienen oder durch Anwendung geeigneter Syntheseverfahren zur Herstellung von Kraftstoffen, chemischen und pharmazeutischen Produkten genutzt werden. Die Ressource Kohle bietet damit eine Alternative zur Erzeugung von erdöl- und erdgasbasierten Produkten.

Bei der Vergasung von kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen wird bei hohen Temperaturen und Drücken bei Zufuhr von Luft und Wasserdampf ein Synthesegas erzeugt. Dieses muss gereinigt und gekühlt werden, bevor es in einer Synthese zu einem Zielprodukt umgesetzt werden kann. Am weitesten verbreitet sind heutzutage Flugstromvergaser. Die Kühlung des Synthesegases (auch Quenchen genannt) erfolgt bei Flugstromreaktoren meist durch das Eindüsen von Wasser in einen sog. Quenchraum, wobei das Gas durch die sofortige Verdampfung des Wassers schlagartig abgekühlt wird. Die Restwärme des Synthesegases ist nicht weiter nutzbar. Anschließend muss das Synthesegas aufwändig gereinigt und konvertiert werden, um den Anforderungen an den Syntheseprozess zu genügen. Entscheidend ist dabei das Mengenverhältnis Wasserstoff zu Kohlenstoffmonoxid (H_2/CO -Verhältnis), das je nach Zielprodukt der Synthese unterschiedlich hoch sein muss.

1 M.Sc. Philip Rößger, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen Fuchsmühlenweg 9, 09599 Freiberg Philip.Roessger@iec.tu-freiberg.de

Am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen der TU Bergakademie Freiberg wurde ein neues Konzept zur energieeffizienten Synthesegaskühlung entwickelt, das durch eine integrierte CO-Konvertierung die Synthesegasqualität in Hinblick auf die daraus zu erzeugenden Syntheseprodukte verbessert und zudem eine Abwärmenutzung möglich macht. Durch Eindüsen von Hochdruckdampf anstatt von Wasser wird das Gas im Flugstromvergaser simultan chemisch konvertiert und gekühlt. Dadurch ergeben sich sowohl prozesstechnische als auch wirtschaftliche Vorteile, wobei der Quenchreaktor selbst noch weiteres Optimierungspotenzial bietet.

Quenchkonzept und Optimierung

Der entwickelte Quenchprozess ist einem Siemens-Flugstromvergaser mit einer thermischen Leistung von 500 MW nachgeschaltet. Die *Abbildung 1* stellt das Wirkprinzip des Quenchreaktors dar. Von oben strömt das heiße Synthesegas (1) direkt aus dem Vergasungsraum in den Quenchraum ein und reagiert (3) mit dem seitlich einströmenden Hochdruckwasserdampf (2). Dabei läuft hauptsächlich die Wassergas-Shift-Reaktion (WSGR) ab ($CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$), wobei die Zusammensetzung des Synthesegases zu

einem höheren H_2/CO -Verhältnis hin konvertiert wird. Das konvertierte und gekühlte Synthesegas (9) strömt nach unten und trifft auf ein Wasserbad (5), von dessen Oberfläche (4) zusätzliches Wasser in den Reaktionsraum hinein verdampft. Die Reaktorwand (7) ist wassergekühlt. Der Synthesegasaustritt befindet sich im oberen Teil des Reaktors (8). Durch Rezirkulation (6) erhöht sich die Verweilzeit des Gases und dadurch die Konversionsrate.

Die im Quenchraum ablaufenden Prozesse umfassen eine turbulente Strömung sowie die Anteile Konvektion, Strahlung und Gasphasenreaktionen; sie werden mithilfe der CFD (*computational fluid dynamics*) modelliert. Das CFD-Modell wurde anhand von Literaturdaten validiert und anschließend zur Begrenzung des Rechenaufwands reduziert. Mithilfe eines mathematischen Optimierungsalgorithmus¹ (modeFRONTIER®) und CFD-Simulationen (ANSYS® Fluent®) sollten vier Parameter variiert werden. Dies sind der Durchmesser d , die Höhe h des Reaktors, die eingedüste Dampfmenge \dot{m}_w sowie der spezifische Wandwärmestrom \dot{q}_w . Die Ziele der Optimierung sind eine Maximierung des H_2/CO -Verhältnisses am Austritt sowie die Minimierung der Temperatur an dieser Stelle. Das Optimierungskonzept umfasst die automatisierte Gittergenerierung und eine CFD-Berechnung.

Ergebnisse

Abbildung 1 (rechts oben) zeigt beispielhaft den Einfluss des h/d -Verhältnisses auf das H_2/CO -Verhältnis im Quench. Die

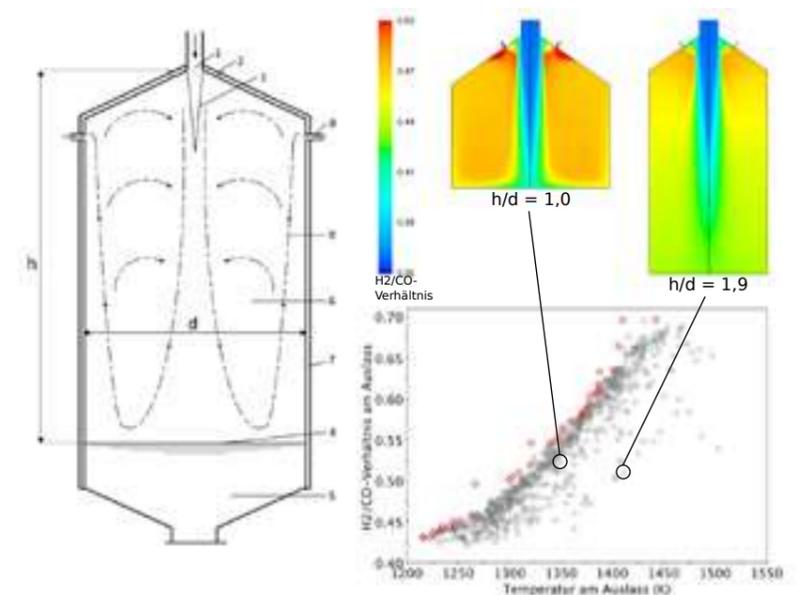


Abb. 1: Schema Quenchkonzept (links) [1,2,3]. CFD-Ergebnisse – Verteilung des H_2/CO -Verhältnisses (rechts, oben). Ergebnis der Pareto-Optimierung. Pareto-optimale Designs sind rot gekennzeichnet (rechts, unten) [4]

Form des Reaktors beeinflusst die Strömungsführung im Reaktor und dadurch den Ablauf der WGS – und umgekehrt das H_2/CO -Verhältnis im Synthesegas. Es zeigt sich, dass ein h/d -Verhältnis zwischen 1,6 und 1,8 vorteilhaft für die Synthesegasqualität ist. Werden zwei oder mehrere Zielgrößen gleichzeitig optimiert, spricht man von einer Pareto-Optimierung. Dabei gilt ein Punkt als Pareto-optimal, wenn eine Zielgröße nicht weiter verbessert werden kann, ohne die andere Zielgröße zu verschlechtern. In *Abbildung 1* (rechts, unten) ist das Ergebnis der Pareto-Optimierung dargestellt. Jeder Datenpunkt in der Abbildung repräsentiert das Ergebnis einer CFD-Simulation (Dauer je ca. 0,5 h) mit unterschiedlichen Werten für die Parameter. Mit zunehmender Temperatur nimmt das maximal erreichbare H_2/CO -Verhältnis zu. Die Analyse der Pareto-optimalen Punkteverteilung zeigt, dass mit höherer Dampfzufuhr statt einer weitergehenden Konvertierung des Synthesegases der Dampf ausschließlich

zur Kühlung genutzt wird. Demzufolge ist eine Dampfzufuhr von 13–15 kg/s optimal im Interesse hoher Konversionsraten. Mit zunehmender Wandkühlung sinken das H_2/CO -Verhältnis und die Temperatur am Auslass. Je nach den Anforderungen an das Synthesegas sollten der Dampfstrom und die Wandkühlung jeweils so variiert werden, dass immer ein Pareto-optimaler Betriebspunkt erreicht wird.

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Optimierung von chemisch reaktiven Systemen mithilfe numerischer Simulationen in Kombination mit mathematischen Optimierungsalgorithmen eine zuverlässige Aussage über die Zusammenhänge zwischen gewünschten Optimierungszielen und variierenden Randbedingungen ermöglicht. Dabei konnten für das untersuchte Quenchkonzept Verbesserungspotenziale gefunden werden, die zur Effizienzsteigerung in der Gesamtprozesskette beitragen.

Mit Blick auf die dargelegten Ergebnisse sind weitere Untersuchungen zur numerischen Optimierung von reaktiven Systemen geplant und auch wirtschaftliche Optimierungen möglich.

Literatur

- K. Boblenz, K. Uebel, B. Meyer, Verfahren und Vorrichtung zur Teilkonvertierung von Rohgasen der Flugstromvergasung, DE 10 2015 219 455.5, 03.26.2015.
- B. Meyer, K. Uebel, K. Boblenz, Method for Partly Converting Crude Gases from an Entrained Flow Gasification Process, WO 2015/044273 A1, 02.04.2015.
- K. Uebel, P. Rößger, U. Prüfert, A. Richter, B. Meyer, A new CO conversion quench reactor design, Fuel Processing Technology, 2016, 148, 198–208.
- K. Uebel, P. Rößger, U. Prüfert, A. Richter, B. Meyer, CFD-based multi-objective optimization of a quench reactor design, Fuel Processing Technology, 2016, 149, 290–304.

Danksagung: Mein besonderer Dank gilt dem VFF der TU Bergakademie Freiberg e. V. für die Auszeichnung mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis. Weiterhin bedanke ich mich für die Betreuung und Begutachtung meiner Masterarbeit durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer. Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern am IEC für die mir gewährte Unterstützung.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2016:

Untersuchung der spannungs- und verformungsinduzierten Martensitbildung in einem hochlegierten Stahl mit 30% Nickel

Eckhard Frank Sandig

Einleitung

Das Institut für Eisen- und Stahltechnologie (IEST) der TU Bergakademie Freiberg erforscht im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 799 (SFB 799) „TRIP-Matrix-Composite“ neuartige austenitische Stahlwerkstoffe [1, 2]. Das Kennzeichen dieser Werkstoffe ist das Vorhandensein von metastabilem Austenit, der durch das Aufbringen einer mechanischen Spannung eine verformungsinduzierte Phasenumwandlung – Transformation Induced Plasticity (TRIP)-Effekt – und/oder Zwillingsbildung – Twinning Induced Plasticity (TWIP)-Effekt – im Material ermöglicht. Durch diese Effekte erreichen die metastabilen Stähle bereits im Gusszustand wesentlich höhere Festigkeits- und Dehnungswerte als vergleichbare Stahlwerkstoffe ohne TRIP-/TWIP-Effekt. Die Diplomarbeit des Autors entstand 2014/15

im Rahmen des o. g. SFB am IEST. Sie wurde von Dipl.-Ing. Michael Hauser betreut und von Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Weiß sowie von Dr.-Ing. Thilo Kreschel begutachtet. Dieser Artikel stellt ausgewählte Methoden und Ergebnisse der Diplomarbeit vor.

Ziele der Diplomarbeit

Hauptziel der mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis 2016 des VFF prämierten Arbeit war die isolierte Betrachtung und Quantifizierung des α' -TRIP-Effekts. Dazu diente die Modelllegierung Ni30Fe70 (Fe-Ni30), die auf Grund ihrer hohen Stapelfehlerenergie nur diese eine Form der induzierten Martensitbildung und keinerlei Zwillingsbildung zeigt. Erstmals wurde dabei eine Legierung mit zwei ferromagnetischen Phasen mit einer magnetischen Messmethode auf ihren Martensitanteil hin untersucht. Eine Besonderheit von hoch nickelhaltigen Eisenlegierungen ist das Vorhandensein ferromagnetischen Austenits [3, 4]. Dieser Umstand machte eine Kalibrierung der magnetischen Bestimmung des Martensitanteils am Metis

MSAT notwendig. Dabei wurde der geringe Unterschied der magnetischen Momente von Austenit und Martensit bei Raumtemperatur ausgenutzt.

Methoden

Quasistatische Zugversuche im Temperaturbereich von -40 °C bis 120 °C dienen zur Ermittlung von Fließkurven, aus denen die temperaturabhängigen mechanischen Eigenschaften von Ni30Fe70 abgeleitet worden sind. Zur Untersuchung der Gefügeentwicklung kamen die metallografischen Methoden Lichtmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie zum Einsatz. Der Ermittlung der Umwandlungstemperaturen dienen thermomagnetische Messungen. Magnetische Sättigungsmessungen am Metis MSAT ermöglichten es, aus den magnetischen Eigenschaften unterschiedlicher Materialzustände auf den jeweiligen Martensitgehalt zu schließen. Die thermomagnetische Messung dient dazu, die temperaturabhängige Änderung der magnetischen Eigenschaften in metallischen Proben zu bestimmen. Diese können induktiv erwärmt oder mit Stickstoff gekühlt werden. Messwerte sind die Differenzen der Induktionsspannungen in Mess- und Vergleichsspule U_{mag} sowie die Proben temperatur T_{mag} , die beide über der Messzeit t aufgetragen werden. Unstetigkeit im Spannungs-Zeit-Verlauf ist ein Beleg für magnetische Umwandlungen

bzw. die Bildung von Phasen mit voneinander abweichenden magnetischen Eigenschaften im Probenmaterial. Die Zeit an der Unstetigkeitsstelle wird über ein Tangentenverfahren im Spannungs-Zeit-Diagramm ermittelt.

Ergebnisse
Thermomagnetische Untersuchungen

Während einer Versuchszeit von rund 18 min wurde eine Probe des Materials Ni30Fe70 von Raumtemperatur induktiv auf rund 120 °C erhitzt und anschließend im Versuchsstand frei abgekühlt. Im über der Versuchszeit abgetragenen Spannungsverlauf (durchgehende Linie in *Abb. 1*) zeigt sich, dass es beim Aufheizen zu einem Abfall der Spannung U_{mag} kommt und dass beim anschließenden Abkühlen die Spannung sprunghaft wieder ansteigt. Der Abfall bzw. Anstieg der Induktionsspannung beträgt jeweils rund 330 mV. Damit ist eine große Änderung des magnetischen Moments der Probenlegierung verknüpft, was für eine magnetische Umwandlung charakteristisch ist. Über ein Tangentenverfahren wurde die mittlere Temperatur an beiden Stellen ermittelt. Deren arithmetisches Mittel ist die charakteristische Temperatur des Übergangs vom ferromagnetischen zum paramagnetischen Verhalten: die Curie-Temperatur des Austenits $T_c \approx 67$ °C

Magnetische Sättigungsmessungen
Kalibrierung

Zur Kalibrierung wurden Proben mit 0%, 1%, 37,1% und 100% Martensit am Metis MSAT untersucht. Dem an diesem Messgerät ermittelten scheinbaren ferromagnetischen Volumenanteil V_{Fs} wurde jeweils der metallografisch (Punktanalysen) ermittelte Martensitanteil V_M zugeordnet. Über die vier Kurvenpunkte wurde eine lineare Regression vorgenommen. Anschließend wurden alle Messwerte des Metis MSAT für die spontane und die verformungsinduzierte Martensitbildung mit der Ausgleichsfunktion kalibriert. Diese Kalibrierung ist ein neuer Ansatz, der sich dazu eignet, Legierungen mit zwei ferromagnetischen Phasen am Metis MSAT zu untersuchen.

Ergebnisse

Der Martensitanteil in den Proben nimmt infolge spontaner Umwandlung zu; siehe Verlauf des Martensitanteils V_M über der Temperatur T in *Abbildung 2* (blaue Kurve). Dieses Diagramm stellt eine erweiterte Zusammenfassung mehrerer

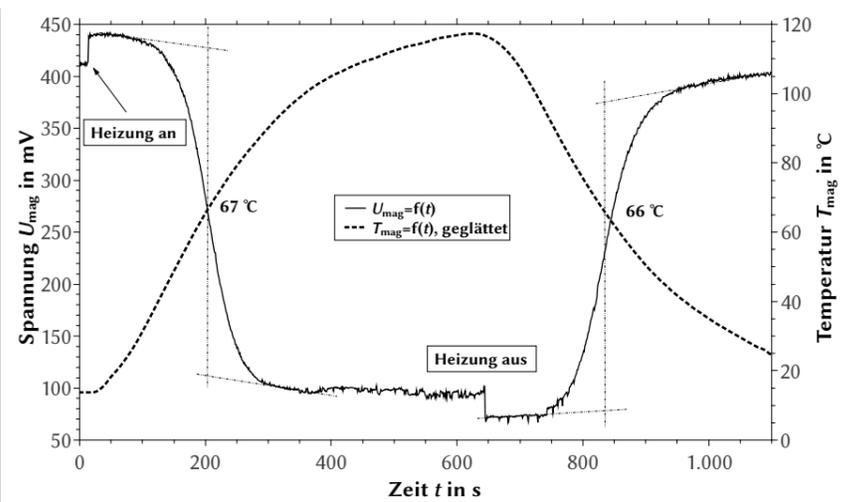


Abb. 1: Thermomagnetische Bestimmung von T_c ; Spannung und Temperatur über der Versuchszeit

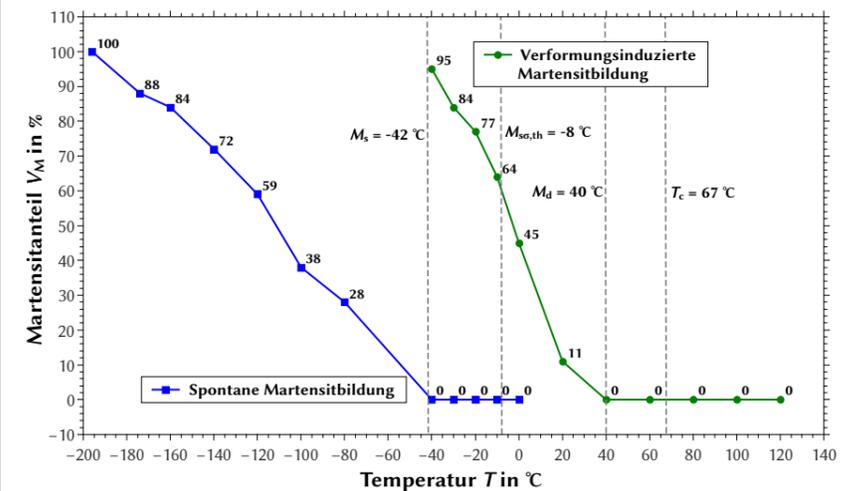


Abb. 2: Volumensatzkurven zur Martensitbildung der Legierung Ni30Fe70 – spontane und verformungsinduzierte Martensitbildung in Abhängigkeit von der Temperatur

Diagramme aus der Diplomarbeit dar. Während die auf -196 °C gekühlte Probe vollständig martensitisch ist, besteht das Gefüge der auf -80 °C gekühlten Probe zu weniger als einem Drittel aus Martensit. Der Verlauf der Kurve dazwischen steht typisch für eine Umsatzkurve. Die auf -60 °C gekühlte und alle bei höheren Temperaturen behandelten Proben weisen einen Martensitanteil von 0% auf. Dieses Verhalten entspricht den Erwartungen, da über die thermomagnetische Messung die charakteristische Temperatur der spontanen Umwandlung $M_s = -42$ °C ermittelt worden ist. Darüber hinaus lässt sich aus *Abbildung 2* schließen, dass es bei den Zugversuchen im Temperaturbereich von -40 bis 120 °C nicht zu einer Bildung von Abkühlmartensit gekommen sein kann. Der Verlauf des verformungsinduzierten

Martensitanteils V_M über der Temperatur T in *Abbildung 2* (grüne Kurve) zeigt, dass im Bereich der Gleichmaßdehnung der Anteil an Verformungsmartensit mit fallender Temperatur zunimmt. Das Gefüge der bei -40 °C bis zum Bruch gezogenen Probe weist einen Martensitanteil von $V_M \approx 95$ % auf. Ein Verformungsmartensitanteil von nahezu 100% wird nahe der M_s -Temperatur von -42 °C erreicht, was für die M_s -Temperatur kennzeichnend ist. Die Mengensatzkurven für Abkühl- und Verformungsmartensit sind annähernd parallel verschoben, was auf vergleichbare Thermodynamik und Kinetik der beiden Prozesse hindeutet.

Quantifizierung des TRIP-Effekts

Abbildung 3 zeigt die temperaturabhängigen mechanischen Eigenschaften

der Legierung Ni30Fe70, gewonnen aus einer Analyse der Fließkurven für verschiedene Temperaturen. Zusätzlich ist der theoretische Verlauf der erforderlichen temperaturabhängigen Auslösespannung σ_{trig} eingezeichnet, die für die Bildung von 1% Verformungsmartensit aufzubringen ist. Es ist zu erkennen, dass die Zugfestigkeit R_m unterhalb von 40 °C gegenüber der extrapolierten Zugfestigkeit des Austenits R_m^y erhöht ist. Diese Festigkeitserhöhung ist der spannungs- und verformungsinduzierten Martensitbildung bei niedrigen Temperaturen zuzuschreiben. M_d wurde damit zu 40 °C bestimmt. Die Fließspannung σ_f steigt mit fallender Temperatur. Die Gleichmaßdehnung der Probenlegierung A_g bei niedrigen Temperaturen ist gegenüber der extrapolierten Gleichmaßdehnung des Austenits A_g^y erhöht. Es wird ein anomaler Temperaturverlauf der maximalen Gleichmaßdehnung ab dem Unterschreiten der M_d -Temperatur registriert. Bei 0 °C bis -10 °C liegt das Maximum von A_g bei rund 36%, was einem Dehnungszuwachs gegenüber der extrapolierten Gleichmaßdehnung des Austenits A_g^y von zehn Prozentpunkten entspricht. Ein solches Verhalten ist für den TRIP-Effekt charakteristisch [5]. Bei der M_{so} -Temperatur wird der Höchstwert der plastischen Dehnung beobachtet, weil bei dieser Temperatur der Anteil an verformungsinduziertem Martensit am höchsten ist. Die Temperatur

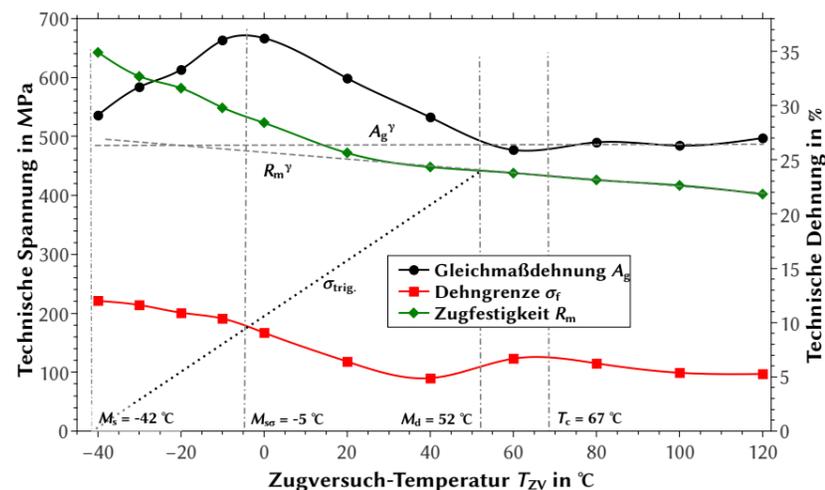


Abb. 3: Mechanische Eigenschaften von Ni30Fe70; Spannung und Dehnung über der Temperatur im Zugversuch

M_{so} ist durch den Schnittpunkt der Kurven für die Auslösespannung (theoretischer Verlauf im Diagramm) und die Fließspannung des Austenits festgelegt und beträgt somit rund -8 °C. Unterhalb der M_{so} -Temperatur wandelt sich ein Teil des Austenits im elastischen Deformationsbereich in Martensit um.

Literatur

1 Biermann, H., Aneziris, Ch. G. und Kuna, M.: Collaborative Research Center TRIP-Matrix-Composite. In: ESOMAT 2009 (2009), 05002-p1-p5. doi: 10.1051/esomat/200905002.

2 Hauser, M. et al.: Modeling of deformation mechanisms in Fe-19Cr-3Mn-4Ni-0.15N-0.17C cast austenitic steel with TRIP/TWIP effects. In: Asia Steel International Conference 2015. The Iron and Steel Institute of Japan, 2015, S. 100-101.

3 Schumann, H. und Oettel, H.: Metallografie. 15., überarb. und erw. Aufl. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011, S. 545-747. isbn[ISBN?]: 978-3-527-32257-2.

4 Pepperhoff, W. und Acet, M.: Konstitution und Magnetismus des Eisens und seiner Legierungen. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2000, S. 15-53, 109-121.

5 Bhadeshia, H. K. D. H.: TRIP-Assisted Steels? In: ISIJ International 42.9 (2002), S. 1059-1060. doi: 10.2355/isijinternational.42.1059.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2016:

Defect engineering in transition metal based nitride thin films by energetic treatment during deposition

Christina Wüstefeld

Einleitung

Dünne nitridische Schichten auf der Basis von Ti-Al-N zeichnen sich durch eine hohe Härte, gute Oxidationsbeständigkeit sowie Verschleißfestigkeit - auch bei höheren Temperaturen - aus. Ti-Al-N-Schichten werden hauptsächlich als Schutzschichten für Zerspanungswerkzeuge in der metallverarbeitenden Industrie verwendet, da sie aufgrund ihrer thermischen Stabilität auch hohe Schnittgeschwindigkeiten erlauben.

Obwohl Ti-Al-N-Schichten bereits seit Mitte der 1980er-Jahre bekannt und heutzutage in industriellen Anwendungen weit verbreitet sind, gibt es nach wie vor Bestrebungen, die Schichten weiter zu verbessern, um vor allem die Standzeiten und die Schnittgeschwindigkeiten zu erhöhen. Die Konzepte für die Optimierung der

Schichteigenschaften umfassen die Zugabe weiterer Legierungs- und Dotierelemente, einen mehrlagigen Schichtaufbau sowie die Anpassung der Abscheideparameter. Auf diese Art und Weise wird versucht, die chemische Zusammensetzung und die Mikrostruktur im Hinblick auf Phasenzusammensetzung, Größe der Kristallite, Eigenspannungen, Grenzflächen, Art und Dichte der Mikrostrukturdefekte so zu beeinflussen, dass die gewünschten Eigenschaften resultieren.

Im Fokus dieser Arbeit stand die Modifizierung von Ti-Al-N-Schichten und mehrlagigen, mit Ruthenium dotierten Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Schichten (sog. Multilagenschichten) durch eine energetische Behandlung während der Schichtabscheidung. Beide Schichtsysteme

wurden mittels reaktiver kathodischer Bogenverdampfung, einem speziellen Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung, erzeugt. Dabei wird in einem Beschichtungsreaktor das metallische Ausgangsmaterial durch einen Lichtbogen verdampft und fast vollständig ionisiert. Durch die Zugabe von Stickstoff als Reaktivgas, das ebenfalls teilweise ionisiert wird, bildet sich auf dem zu beschichtenden Werkstück, dem sog. Substrat, ein Nitrid. Die Energie der am Substrat auftreffenden Ionen wird durch die Potentialdifferenz zwischen Substrat und Plasma bestimmt. Mittels einer angelegten negativen Spannung – der sog. Biasspannung – am Substrat kann die kinetische Energie der auftreffenden schichtbildenden Ionen gesteuert werden. Der Hauptteil dieser Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der Biasspannung auf die Mikrostrukturentwicklung in Ti-Al-N-Schichten und Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Multilagenschichten im abgeschiedenen Zustand. Für die Anwendung dieser Schichten als Schutzschicht

für Zerspanungswerkzeuge ist auch deren thermische Stabilität von Interesse, da an der Schneidkante der beschichteten Werkzeuge Temperaturen im Bereich von 800–900 °C auftreten. Daher wurde auch der Einfluss des über die Biasspannung eingestellten Ausgangszustands auf die Mikrostrukturentwicklung bei erhöhten Temperaturen bis 950 °C in dieser Arbeit betrachtet.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Untersuchung der wurtzitären (w) AlN-Phase, die sich bei höheren Al-Gehalten neben der kubisch flächenzentrierten (kfz) metastabilen (Ti,Al)N-Phase bildet. Es sollte geklärt werden, ob die Bildung von w-AlN durch eine energetische Behandlung während der Schichtabscheidung gesteuert werden kann und ob deren Präsenz tatsächlich einen negativen Effekt auf die Härte von Ti-Al-N-Schichten hat, wie es bisher in der Fachliteratur dargestellt wurde.

Methoden

Die Ti-Al-N-Schichten wurden mit vier unterschiedlichen Al-Gehalten und die Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Multilagenschichten mit drei verschiedenen Konzentrationen des Dotierelements Ruthenium bei jeweils vier verschiedenen Biasspannungen mit kathodischer Bogenverdampfung abgeschieden. Die chemische Zusammensetzung der Schichten wurde mit wellenlängendispersiver Elektronenstrahlmikroanalyse und Glimmentladungsspektroskopie bestimmt. Mittels röntgenographischer Beugungsmethoden wurde die Mikrostruktur hinsichtlich Phasenzusammensetzung, Eigenspannungen erster Art, spannungsfreier Gitterparameter, Kristallitgrößen und Vorzugsorientierungen charakterisiert. Untersuchungen am Transmissionselektronenmikroskop (TEM) dienen der Visualisierung der Kristallitgröße, der Bestimmung der lokalen Orientierungsbeziehungen zwischen kubischer und wurtzitischer Phase und der lokalen chemischen Analyse mittels Elektronenenergieverlustspektroskopie und energiedispersiver Spektroskopie. Für die Charakterisierung der thermischen Stabilität der Schichten wurden Röntgenbeugungsexperimente an wärmebehandelten Schichten durchgeführt. Diese Ex-situ-Messungen wurden durch In-situ-Hochtemperatur-Röntgenbeugungsversuche ergänzt, die am Europäischen Synchrotron in Grenoble durchgeführt wurden. Die ermittelten Mikrostrukturen im Ausgangszustand und nach der Wärmebehandlung wurden mit

der Schichthärte korreliert. Für ein gezieltes Grenzflächendesign zwischen kubisch flächenzentrierter TiN- und wurtzitischer AlN-Phase wurde ein Schichtstapel, bestehend aus kfz-TiN/w-AlN/kfz-TiN, auf unterschiedlich orientierten MgO-Einkristallen heteroepitaktisch abgeschieden und mittels Elektronenbeugung im TEM hinsichtlich der Orientierungsbeziehungen analysiert.

Ergebnisse

Die Analysen zeigten, dass die Mikrostruktur der $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten durch eine Variation des Al-Gehalts und durch eine energetische Behandlung während der Schichtabscheidung gezielt eingestellt werden kann [1].

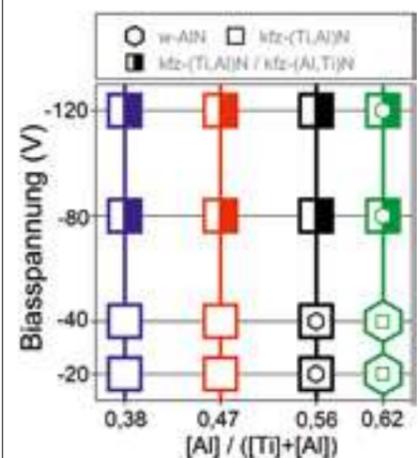


Abb. 1: Einfluss der Biasspannung und des Al-Gehalts auf die Phasenzusammensetzung der $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten

Eine Erhöhung der Biasspannung führt zu einer höheren Defektdichte und zu lokalen Konzentrationsfluktuationen der Ti- und der Al-Atome in (Ti,Al)N. Dies wirkt sich auf die Eigenspannungen, die Phasenzusammensetzung (Abb. 1) und auf die Kristallitgröße aus und beeinflusst schließlich die Schichthärte (Abb. 2).

Mit zunehmender Biasspannung steigen die Druckeigenspannungen in den Schichten. Stärkere Konzentrationsfluktuationen bewirkten eine zunehmende Fragmentierung der (Ti,Al)N-Cluster, und die Kristallitgröße wird reduziert. Bei konstanter chemischer Zusammensetzung der Schichten kann die Phasenzusammensetzung durch die Höhe der Biasspannung modifiziert werden (Abb. 1). Bei hohen Biasspannungen (-80 V und -120 V) konnten die metastabile kfz-(Ti,Al)N-Phase und die Al-reiche kfz-(Al,Ti)N-Phase bis zu einem Al-Gehalt

von $x=0,56$ stabilisiert werden. Im Gegensatz dazu führte die Verwendung von geringeren Biasspannungen (-20 V und -40 V) zur Erzeugung der thermodynamisch stabilen wurtzitären w-AlN Phase, die bereits ab einem Al-Gehalt von $x=0,56$ in geringen Volumenanteilen nachgewiesen werden konnte und bei $x=0,62$ die Hauptphase darstellte. Hohe Biasspannungen wirken der Ausbildung der wurtzitären Phase entgegen, so dass nur geringe Gehalte dieser Phase in den Al-reichsten Schichten mit $x=0,62$ nachweisbar sind.

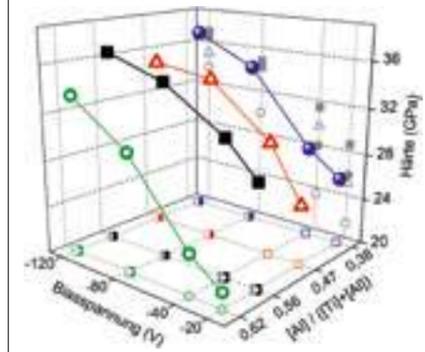


Abb. 2: Einfluss der Biasspannung und des Al-Gehalts auf die Härte der $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten. Die Symbole in der Horizontalebene zeigen die Phasenzusammensetzung; deren Bedeutung entspricht der Legende in Abb. 1.

Es konnte gezeigt werden, dass sich geringe Volumenanteile der wurtzitären Phase nicht nachteilig auf die Härte von Ti-Al-N-Schichten und Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Multilagenschichten auswirken [1,2,3]. Dies wird in Abbildung 2 besonders an den $Ti_{0,44}Al_{0,56}N$ -Schichten deutlich, die bei geringen Biasspannungen (-20 V und -40 V) abgeschieden wurden. Hier wurde die Härte gegenüber den einphasigen $Ti_{1-x}Al_xN$ -Schichten gesteigert. Die Härtesteigerung konnte auf die Ausbildung von teilkohärenten Grenzflächen zwischen w-AlN und kfz-(Ti,Al)N zurückgeführt werden, die Gitterdehnungen hervorrufen. Eine derartige mögliche Grenzfläche ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Ihre Existenz konnte anhand der lokalen Analyse der Orientierungsbeziehung von benachbarten Kristalliten aus kfz-(Ti,Al)N und w-AlN in verschiedenen Schichten auf der Basis von Ti-Al-N abgeleitet werden. Weitere mögliche teilkohärente Grenzflächen zwischen kfz-Phase und wurtzitischer Phase wurden in den heteroepitaktisch aufgewachsenen TiN/AlN/TiN-Schichtstapeln (Abb. 4) nachgewiesen [2,4].

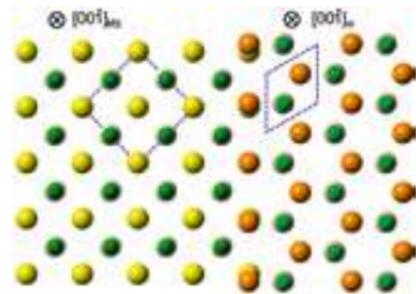


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Grenzfläche zwischen kfz-TiN und w-AlN – Ti-Atome sind gelb, Al-Atome orange, N-Atome grün und die Elementarzellen sind blau markiert.

Die Untersuchungen zur thermischen Stabilität der Ti-Al-N-Schichten und der Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Multilagenschichten zeigten, dass die für die Abscheidung verwendete Biasspannung sich auf die Kinetik des Entmischungsprozesses auswirkt [2,5]. Die Schichten, die bei geringer Biasspannung abgeschieden wurden und im Ausgangszustand die kfz-Phase als Hauptphase enthielten, erwiesen sich aufgrund einer verzögerten Entmischung bei 850 °C für eine Anwendung bei erhöhten Temperaturen besser geeignet. Die Schichten, die bei hohen Biasspannungen abgeschieden wurden, sind durch eine hohe Härte im Ausgangszustand, aber durch eine beschleunigte Entmischung bei 850 °C gekennzeichnet. Sie eignen sich daher für Anwendungen im Temperaturbereich unter 850 °C.

Zusammenfassung

Durch Mikrostrukturanalysen von Ti-Al-N-Schichten und Ti-Al-N/Al-Ti-(Ru)-N-Multilagenschichten, die mittels kathodischer Bogenverdampfung hergestellt wurden, konnte die Rolle einer energetischen Behandlung während der

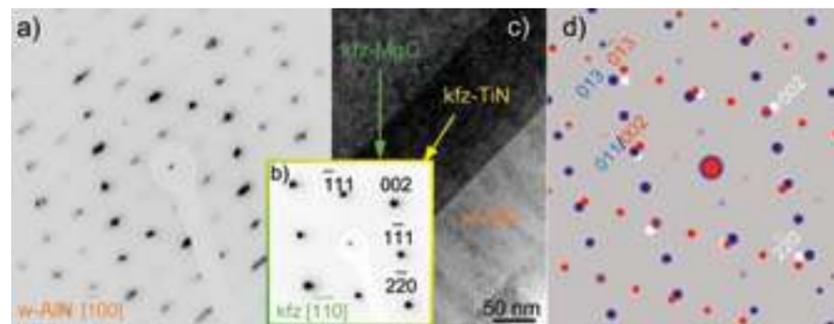


Abb. 4: Analyse des heteroepitaktisch aufgewachsenen TiN/AlN/TiN-Schichtstapels – Elektronenbeugungsbilder der w-AlN Schicht (a), des MgO-Substrats sowie der TiN-Schicht (b) – TEM-Hellfeldaufnahme des Schichtstapels (c) und simuliertes Beugungsbild (kfz-TiN = weiß, w-AlN = blau/rot) (d)

Schichtabscheidung aufgeklärt werden. Die Wirkung der Biasspannung auf die Phasenzusammensetzung, die Eigenspannung, die Kristallitgröße und die Ausbildung teilkohärenter Grenzflächen zwischen kfz-(Ti,Al)N und w-AlN im Ausgangszustand konnte gezeigt und erklärt werden. Die über die Biasspannung eingestellte Mikrostruktur der Schichten korreliert mit der Härte. Die Untersuchungen belegten, dass geringe Volumenanteile der wurztitischen Phasen sich nicht schädlich auf die Härte auswirken. Teilkohärente Grenzflächen zwischen kubischer und wurztitischer Phase führen zur Härtesteigerung. Die für die Abscheidung verwendete Biasspannung beeinflusst die thermische Stabilität der Hartstoffschichten auf der Basis von Ti-Al-N.

Danksagung: Ich danke allen, die mich auf unterschiedliche Art und Weise unterstützt haben. Besonders bedanke ich mich bei meinem Doktorvater, Prof. Dr. David Rafaja, für die ausgezeichnete Betreuung meiner Arbeit wie auch bei Dr. Mykhaylo Motylenko für seine großartige fachliche Unterstützung. Weiterhin danke ich der Europäischen Union und dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst für die finanzielle Förderung der Forschungsarbeiten im Rahmen des Sächsischen Spitzentechnologieclus-

ters „Funktionales Strukturdesign neuer Hochleistungswerkstoffe durch Atomares Design und Defekt-Engineering (ADDE)“.

Referenzen

- 1 C. Wüstefeld, D. Rafaja, V. Klemm, C. Michotte, M. Kathrein, Effect of the aluminium content and the bias voltage on the microstructure formation in $Ti_{1-x}Al_xN$ protective coatings grown by cathodic arc evaporation, *Surface and Coatings Technology* 205 (2010) 1345-1349.
- 2 C. Wüstefeld, M. Motylenko, D. Rafaja, C. Michotte, C. Czettel, Defect engineering in Ti-Al-N based coatings via energetic particle bombardment during cathodic arc evaporation, in: *Functional structure design of new high-performance materials via atomic design and defect engineering*, SAXONIA Standortentwicklung- und -verwaltungsgesellschaft mbH, (2015) 200-223.
- 3 C. Wüstefeld, M. Motylenko, D. Rafaja, D. Heger, C. Michotte, C. Czettel, M. Kathrein, Microstructure of TiAlN/AlTiRuN multilayers grown by cathodic arc evaporation, *Conference Proceedings 18th Plansee Seminar* (2013) HM 140.
- 4 C. Wüstefeld, M. Motylenko, D. Rafaja, Crystallography of internal interfaces in TiAlN and TiAlN/AlTi(Ru)N coatings, *Freiberger Forschungsheft B359* (2014) 26-30.
- 5 C. Wüstefeld, D. Rafaja, M. Dopita, M. Motylenko, C. Baetz, C. Michotte, M. Kathrein, Decomposition kinetics in $Ti_{1-x}Al_xN$ coatings as studied by in-situ X-ray diffraction, *Surface and Coatings Technology* 206 (2011) 1727-1734.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2016:

Domination in graphs with application to network reliability

Markus Dod

Viele technische Systeme wie Kommunikationsnetzwerke, Stromnetze, Verkehrsmanagementsysteme sowie betriebliche Datennetzwerke haben eine in der Tat netzartige Struktur. Das mathematische Modell für ein solches Netzwerk ist ein ungerichteter Graph. Nehmen wir zum Beispiel ein Computernetzwerk. Hier sind die Computer (oder allgemeiner: Komponenten) des Netzwerks die Knoten des

Graphen, und die Verbindungen zwischen den Computern werden durch Kanten im Graphen dargestellt (siehe Abb. 1). Aus diesem praktischen Hintergrund erwachsen etliche Untersuchungsgegenstände. Angenommen, wir wollen die Funktionsfähigkeit der Rechner in einem solchen Netz durch möglichst wenige Computer überwachen lassen. Dabei kann ein Computer nur seine direkten Nachbarn im Netz

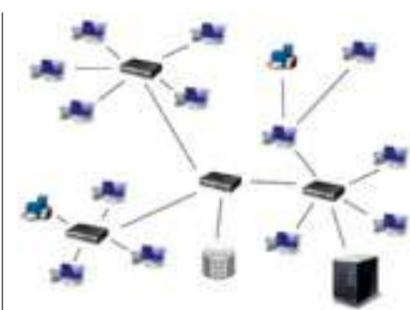


Abb. 1: Ein Computernetzwerk

observieren. In der Graphentheorie werden diese Kontrolleure „dominierende Knoten“ genannt. Eine ganze Reihe von Fragen kann nun in diesem Zusammenhang ge-

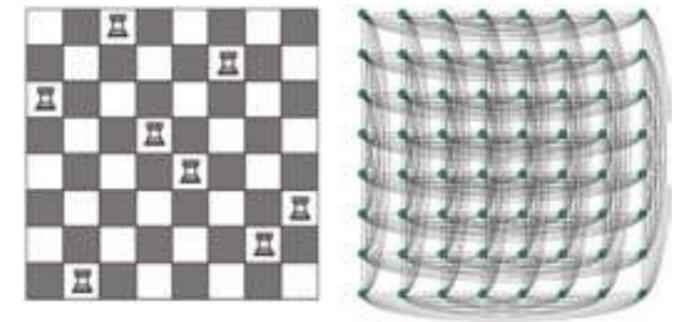
stellt werden: Was ist die minimale Anzahl an Computern, die benötigt werden, um das Netz komplett zu überwachen? Und wie können wir so eine minimale Menge finden? Die minimale Anzahl von nötigen Knoten wird auch die Dominationszahl eines Graphen genannt. Diese Grapheninvariante wurde zuerst von König [1] im Jahr 1950 untersucht. Garey und Johnson gelang im Jahr 1979 der Beweis [2], dass die Berechnung der Dominationszahl in die Klasse der NP-vollständigen Probleme einzuordnen ist. Auch eine der bedeutendsten noch offenen Vermutungen der Graphentheorie, die Vizing-Vermutung [3], handelt von der Dominationszahl.

Im Zusammenhang mit minimalen dominierenden Mengen ist aber nicht nur deren Mächtigkeit, sondern auch die Anzahl der minimalen dominierenden Mengen in einem Graphen interessant. Oder allgemeiner: Wie viele dominierende Mengen einer bestimmten Mächtigkeit gibt es in diesem Graphen? Diese Frage führt uns zu Zählproblemen in Graphen. Zählprobleme betreffen dabei das Zählen von Untergraphen¹ mit bestimmten Eigenschaften in einem umfassenderen Graphen. Ein mächtiges Werkzeug zur Analyse dieser Probleme sind Graphenpolynome. Die Berechnung der meisten Graphenpolynome ist aber NP-schwer, und sie sind mithin schwer² zu berechnen.

Das erste in der Literatur betrachtete Graphenpolynom ist das Chromatische Polynom. Es wurde von Birkhoff im Jahr 1912 [4] definiert und zählt die Anzahl der zulässigen³ Färbungen eines Graphen. Dieses und andere Graphenpolynome, wie z. B. das Tutte-Polynom, waren in den letzten 100 Jahren Gegenstand intensiver Forschung. J. L. Arocha und B. Llano definierten im Jahr 2000 [5] erstmals das Dominationspolynom. Es ist eine gewöhnliche, erzeugende Funktion für die Anzahl der dominierenden Mengen in einem Graphen. Seitdem wurde eine ganze Reihe wissenschaftlicher Artikel über dieses Polynom, dessen Eigenschaften und dessen Berechnungsmöglichkeiten publiziert.

- 1 Untergraphen sind Graphen, die nur eine bestimmte Teilmenge der Knoten und Kanten des ursprünglichen Graphen enthalten.
- 2 Schwer meint hier, dass es keinen Algorithmus gibt, der in jedem beliebigen Graphen in *polynomialer* Zeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Knoten des Graphen das Graphenpolynom berechnet.
- 3 Eine Färbung der Knoten eines Graphen heißt zulässig, wenn benachbarte Knoten jeweils verschieden gefärbt sind.

Abb. 2: Stellung von acht Türmen auf einem Schachbrett und Repräsentation des Schachbretts als ungerichteter Graph



In meiner Dissertation wurden neben dem Dominationspolynom noch weitere Graphenpolynome untersucht, bei denen zusätzliche Bedingungen an die dominierenden Mengen gestellt wurden. So zählt das unabhängige Dominationspolynom die dominierenden Mengen eines Graphen, deren Knoten im Graphen nicht mit einer Kante verbunden sind, wohingegen das zusammenhängende Dominationspolynom diejenigen dominierenden Mengen zählt, die alle miteinander verbunden sind. Für diese verschiedenen Dominationspolynome wurden allgemeine Eigenschaften, Rekurrenzgleichungen, Wege zur Berechnung von Koeffizienten, verschiedene Darstellungen der Polynome, die Unterscheidbarkeit von nichtisomorphen Graphen sowie Ergebnisse für verschiedene Graphenprodukte und spezielle Graphen bewiesen bzw. aufgezeigt.

Die Anwendung und Berechnung des unabhängigen Dominationspolynoms kann gut am folgendem Beispiel verdeutlicht werden: Auf einem Schachbrett sollen acht Türme so platziert werden, dass die Türme sich gegenseitig nicht bedrohen, aber jedes leere Feld von ihnen bedroht wird. In *Abbildung 2* ist eine solche Aufstellung zu sehen. In diesem Fall ist recht offensichtlich, dass man genau acht Türme für eine solche Aufstellung benötigt. Aber wie viele verschiedene Aufstellungen genügen?

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, stellen wir das Schachbrett als Graph dar (Abb. 2). Ein Knoten des Graphen steht für ein Feld des Schachbretts, und jeweils zwei Knoten sind über eine Kante verbunden, falls ein Turm in einem Zug von dem einen zum anderen Feld ziehen kann. In diesem Graphen ist nun die Anzahl der unabhängig dominierenden Mengen gesucht, oder m. a. W.: das unabhängige Dominationspolynom. Mit Hilfe eines Ergebnisses aus der Dissertation für die Berechnung dieses Polynoms in Produktgraphen konnte gezeigt werden,

dass es $8! = 40320$ Möglichkeiten gibt.⁴ Ausgehend von diesen univariaten Graphenpolynomen wurde in der Dissertation ein verallgemeinertes Polynom, das trivariate Dominationspolynom, definiert, das sowohl das Dominationspolynom als auch das unabhängige und totale Dominationspolynom sowie das Unabhängigkeitspolynom als Spezialfälle enthält. Für dieses Polynom konnten interessante Eigenschaften und in ihm enthaltene Grapheninvarianten bewiesen sowie der „Graph der Graphenpolynome“ [6] erweitert werden, der in Zusammenhang mit der Klassifikation der Graphenpolynome steht.

Das Dominationspolynom und seine verwandten Polynome haben, besonders in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeitstheorie, eine erhebliche Relevanz bei der Analyse von Netzwerken. Ungeachtet dieser großen Relevanz sind noch viele Fragen offen, die insbesondere – aber nicht nur – die effiziente Berechnung der Graphenpolynome betreffen. Auch Fragen zu allgemeinen Eigenschaften und zur Unterscheidbarkeit von nicht-isomorphen Graphen sind spannend und offen in diesem Forschungsgebiet.

Literatur:

- 1 König, Denes. *Theorie der endlichen und unendlichen Graphen*. Chelsea, New York, 1950.
- 2 Garey, Michael R.; Johnson, David S. (1979), *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W. H. Freeman, problem GT2.
- 3 Vizing, Vadim G. „Some unsolved problems in graph theory.“ *Russian Mathematical Surveys* 23.6 (1968): 125-141.
- 4 George D Birkhoff. „A determinant formula for the number of ways of coloring a map“. In: *The Annals of Mathematics* 14.1/4 (1912), pp. 42-46.
- 5 Jorge L. Arocha and Bernardo Llano. „Mean value for the matching and dominating polynomial“. In: *Discusiones Mathematicae Graph Theory* 20.1 (2000), pp. 57-70.
- 6 Martin Trinks. „Graph polynomials and their representations“. PhD thesis. Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2012.
- 4 Das unabhängige Dominationspolynom für einen $n \times n$ -Turmschachgraphen ist $n! \cdot n^n$.

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.

Exkursion des Instituts für Experimentelle Physik zum Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY und zum European XFEL in Hamburg

Falk Meutzner



Bei der Führung in einem Teilabschnitt des HERA-Beschleunigers während der diesjährigen Exkursion zum Hamburger DESY und dem noch in der Fertigstellung befindlichen Röntgen-Freie-Elektronen-Laser XFEL

Jahrelang wurde gebaut. Seit dem 1. September 2017 ist der Röntgenlaser „European X-ray Free Electron Laser“ (XFEL) nun fertig. Dieser Röntgenlaser – eine Art Superkamera für den Nanokosmos – steht ab sofort Forschern in Hamburg zur Verfügung. Betreiber und Vertreter der elf an dem Projekt beteiligten Länder feierten den Beginn des Betriebs.

Die 1,2 Milliarden € teure Anlage befindet sich zum größten Teil unter der Erde. Sie soll dreidimensionale Detailaufnahmen von Molekülen, Zellen und Viren möglich machen. Auch das Filmen chemischer Reaktionen ist geplant. Dafür werden in einem 3,4 Kilometer langen unterirdischen Tunnel ultraschnelle Röntgenblitze erzeugt. Der European X-ray Free Electron Laser ist eine weltweit einzigartige Anlage der Spitzenforschung, die bahnbrechende Erkenntnisse über die Nanowelt verspricht.

Freiberger Doktoranden und Studenten haben – dank fruchtbarer Kontakte der Physiker unserer Universität zu den Betreibern dieser wissenschaftlichen

Großgeräte – schon über mehrere Jahre das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) kennen gelernt und konnten dieses auch für ihre wissenschaftliche Qualifizierung aktiv nutzen. Im Zusammenhang damit hatten sie auch stets die Gelegenheit, sich über den Fortgang der Aufbauphase der XFEL-Anlage und deren unikale Leistungsfähigkeit zu informieren.

Auch im Jahr 2017 konnte die Exkursion des Instituts für Experimentelle Physik zum Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY und zum European XFEL in Hamburg durchgeführt werden. Durch die großzügige finanzielle Unterstützung seitens des European XFEL selbst und des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg wurde insgesamt 25 Studenten und Mitarbeitern verschiedener Fachrichtungen der Universität der Besuch dieser Forschungseinrichtungen ermöglicht. Das Hauptziel der Exkursion war, wie auch in den Jahren zuvor, aktuelle Forschung an solchen Großgeräten schon während der akademischen

Ausbildung aktiv mitzerleben und selbst durchzuführen. Vor Ort führen erfahrene Wissenschaftler die Studenten durch alle Bereiche des Forschungszentrums und erläutern anhand konkreter Experimente die dort bearbeiteten wissenschaftlichen Fragestellungen.

Das Helmholtz-Zentrum DESY ist gegenwärtig – vor allem in der mit Photonen befassten Wissenschaft – eines der führenden Zentren weltweit. Mit den DESY-Großgeräten erkunden die Forscher den Mikrokosmos in seiner ganzen Vielfalt – vom Wechselspiel kleinster Elementarteilchen über das Verhalten neuartiger Nanowerkstoffe bis hin zu jenen lebenswichtigen Prozessen, die zwischen Biomolekülen ablaufen. Die dafür erforderlichen Beschleuniger wie auch die Nachweisinstrumente, die DESY entwickelt und baut, sind einzigartige Werkzeuge für die Forschung: Sie erzeugen das stärkste Röntgenlicht der Welt. Insbesondere durch das im Jahr 2009 in Betrieb gegangene Synchrotron Petra III



Die Freiberger Studenten bei der Führung zum Röntgen-Freie-Elektronen-Laser XFEL

wird hier Forschern aus vielen Bereichen die derzeit weltweit brillianteste Röntgenstrahlung bereitgestellt.

Das diesjährige dreitägige Programm der Freiberger startete mit einer Einführungsvorlesung, gehalten durch Herrn Prof. Serguei Molodtsov, den wissenschaftlichen Direktor und Mitglied der Geschäftsführung des European XFEL. In seinem Vortrag erklärte er die prinzipiellen Funktionsweisen der verschiedenen Beschleuniger und gab Einblicke in die zukünftige Forschung am XFEL. Im Anschluss erfolgte die Besichtigung der Fortschritte bei der in Bau befindlichen European XFEL-Anlage in Schenefeld. Professor Molodtsov leitet den Lehrstuhl für „Strukturforschung mit XFELs und Synchrotronstrahlung“ an der Bergakademie, wodurch zu einem die Anbindung Freibergs nach Hamburg gestärkt wird und zum anderen Freiberger Studenten Ende September dieses Jahres bereits zum dritten Mal die Möglichkeit hatten, eine dediziert auf XFELs zugeschnittene Vorlesung ausgewiesener Experten im Feld zu besuchen.

Der darauffolgende Tag umfasste außer einer allgemeinen Führung über das DESY-Gelände und durch Teile des stillgelegten HERA-Beschleunigers speziell auch die Demonstration von Experimenten am Linearbeschleuniger Flash (Dr. Stephan Klumpp) und am Speicherring Petra III (Dr. D. Novikov). Die Bergakademie war hier beim Aufbau eines chemischen Kristallographie-Experiments maßgeblich beteiligt, das in der neuen PETRA-Halle aufgebaut wurde und zum ersten Mal durch die



Fotos (4): Falk Meutzner



Ansichten der Beschleuniger und Nachweisinstrumente, die während des Exkursionsprogramms gezeigt und vorgeführt wurden; oben: Im Aufbau befindliche Untersuchungshütten für XFEL-Experimente; Mitte: Experimente in der Flash-I-Halle; unten: Dr. Novikov erklärt Synchrotronexperimente



Freiberger Exkursionsgruppe besichtigt werden konnte. Hier werden in Zukunft Absorptions- und Diffraktionsmethoden so miteinander kombiniert, dass Parameter der lokalen atomaren Umgebung resonant angeregter Atome in einzigartiger Weise gewonnen werden können.

Die Freiberger Studenten und Mitarbeiter haben die Exkursion sehr positiv aufgenommen und die Verbindung zu den Hamburger Kollegen weiter ausgebaut. Wir hoffen, auch im folgenden Jahr eine derartige für uns so lehrreiche Exkursion durchführen zu können.

Abb. 1: Entfernen der Sedimentbedeckung am Tauchspot Area 26 in 26 m Wassertiefe



Tauchen für die Wissenschaft

Vergleichsstudie rezenter und paläontologischer, (semi-)aquatischer Ökosysteme unter vulkanisch-hydrothermalen Beeinflussung – petrografische und vulkanologische Lithofaziescharakterisierung in Panarea, Italien Richard Stanulla¹

Einleitung

Vulkane, Hydrothermalsysteme und ihre angrenzenden Ökosysteme sind weltweit vertreten und durch sehr spezielle und variable geologische, ökologische und physiko-chemische Parameter charakterisiert. Das CMAS Scientific Diving Center der TU Bergakademie Freiberg erforscht daher seit 2006 das Vulkansystem von Panarea, Italien. Dieses ist ein herausragendes Beispiel für ein aktives, flachmarines Extremökosystem [1]. Im Bereich der vor Ort relevanten Wassertiefen (8–40 m) stehen den Forschern insgesamt neun Tauchlokalitäten unterschiedlicher geologischer Beschaffenheit zur Verfügung (Abb. 2). Das langfristige Ziel der Untersuchungen ist die Vorhersage vulkanischer Aktivität. Einzelne Projektgruppen arbeiten interdisziplinär auf verschiedenen Themengebieten (z. B. auf dem der Geologie, der Wasser- und Gaschemie sowie der Thermodynamik), deren Ergebnisse im Gesamtkontext des Forschungsvorhabens ausgewertet werden.

¹ Richard Stanulla, Institut für Geologie / Scientific Diving Center, TU Bergakademie Freiberg, D-09596 Freiberg

Im Jahr 2017 lag der Fokus der Arbeitsgruppe „Geologie“ auf der Detailuntersuchung und -charakterisierung vulkanischer und sedimentärer Lithofaziestypen. Deren Eigenschaften bestimmen maßgeblich die sekundären bzw. postsedimentären Prozesse und haben somit einen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtsystem. Die Vor-Ort-Arbeiten umfassten Kartierungen, Probenahmen und die zugehörige Dokumentation als Voraussetzung für weiterführende Untersuchungen und Laboranalysen in Deutschland.

Zielstellung

Hauptaufgabe waren die Identifizierung und Beschreibung charakteristischer Lithofaziestypen sowie deren repräsentative Beprobung. Dies erforderte große Sorgfalt bei der Wahl und der Anwendung geeigneter Methoden, die an die Gesteinseigenschaften jeweils angepasst werden mussten. Zusätzlich fanden umfangreiche Kartierungsarbeiten statt, die in die Auswertung einbezogen werden. Die Gesamtinterpretation der Befunde erfolgt unter Berücksichtigung der Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen (z. B. Hydrochemie).

Methoden

Alle Geländearbeiten wurden unter Wasser mit Gerätschaften des wissenschaftlichen Tauchens durchgeführt. An den meisten Lokalitäten mussten die jeweils interessanten Gesteine und Strukturen zunächst händisch von einer oft dezimetermächtigen Sedimentüberdeckung befreit werden (Abb. 1). Erst danach ging es an die Probenahme und die zugehörige Dokumentation. Mit speziell an den Unterwassereinsatz angepasster Ausrüstung folgten diese dem gleichen Schema wie über Wasser üblich: Beschreibung, Skizze, (Foto-)dokumentation, Vermessung, Beprobung. Je nach Tiefe und voraussichtlichem Arbeitsaufwand stand hierfür unterschiedlich viel Zeit zur Verfügung, wobei die Arbeiten nicht selten unterbrochen werden und beim nächsten Tauchgang wieder aufgenommen werden mussten.

Vorläufige Ergebnisse

Die Geländearbeiten lieferten insgesamt etwa 50 Proben verschiedener Faziestypen (Abb. 3a–c). Erste Ergebnisse zu Petrografie, Mineralogie und vulkanologischen Eigenschaften bestätigen die

bisherigen Hypothesen zum Themenkomplex „Entwicklung von Strukturen durch Fluidaustritte“ sowie zur geologischen Situation im Untersuchungsgebiet. Es konnten insgesamt zwei Festgesteins- und fünf Lockergesteinsfazies unterschieden werden. Die Gesteine repräsentieren dabei das gesamte Spektrum der nach aktuellem Genesemodell zu erwartenden Lithotypen.

Die Proben werden im weiteren Verlauf laborativ nach verschiedenen Verfahren analysiert (z. B. RFA, XRD, CT) und für Strukturuntersuchungen aufbereitet (An- und Dünnschliffe). Eines der Ziele ist, alle vorkommenden Gesteinsarten eindeutig zu erfassen und zu beschreiben. Somit können Lücken oder Unschärfen in der geologischen Erfassung des Systems geschlossen bzw. berichtigt werden. Diese Informationen helfen anschließend dann dabei, ein integriertes Ablagerungsmodell für das Gesamtsystem zu entwickeln und erbringen somit einen Beitrag zum Verständnis der Ablagerungsprozesse und der Gesteinsbildung im Vulkankrater vor Panarea. Zudem decken sich die Beobachtungen mit Erkenntnissen früherer Untersuchungen an vergleichbaren Lokalitäten, wie bspw. den Hydrothermalschlotten „Strýtan“ in Nord-Island [2].

© Scientific Diving Center Freiberg, 2017



Abb. 3a: Fluid-Austrittsstruktur (tube, Typ TS) mit schwefeldominierten Mineralpräzipitaten (La Calcarà; 23 m Wassertiefe)

Danksagung: Ausdrücklicher Dank gebührt dem Verein Freunde und Förderer der TU Freiberg sowie dem Verein zur Förderung der Freiburger Geowissenschaften für ihre finanzielle Unterstützung – sowie dem DAAD für die partielle Übernahme der Reisekosten über das Programm IDP4all. Vielen Dank an die Mitglieder des SDC Freiberg für die technische Hilfeleistung und die hervorragende Zusammenarbeit.

Referenzen

- 1 Stanulla, R., Pohl, T., Müller, C., Engel, J., Hoyer, M., Merkel, B. (2017a): Structural and mineralogical study of active and inactive hydro-thermal fluid discharges in Panarea, Italy. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 76, pp. 404–430, 2017. DOI: 10.1007/s12665-017-6714-6.
- 2 Stanulla, R., Stanulla, C., Pohl, T., Merkel, B. (2017b): Structural and mineralogical study of active hydrothermal fluid discharges at Strýtan hydrothermal chimney, Akureyri Bay, Eyjafjörður region, Iceland. *Geothermal Energy*, Vol. 5, pp. 8–19, 2017. DOI: 10.1186/s40517-017-0065-0.

Abb. 2: Übersichtskarte zum Einsatzgebiet mit Angabe der Probenahmelokalitäten [1]

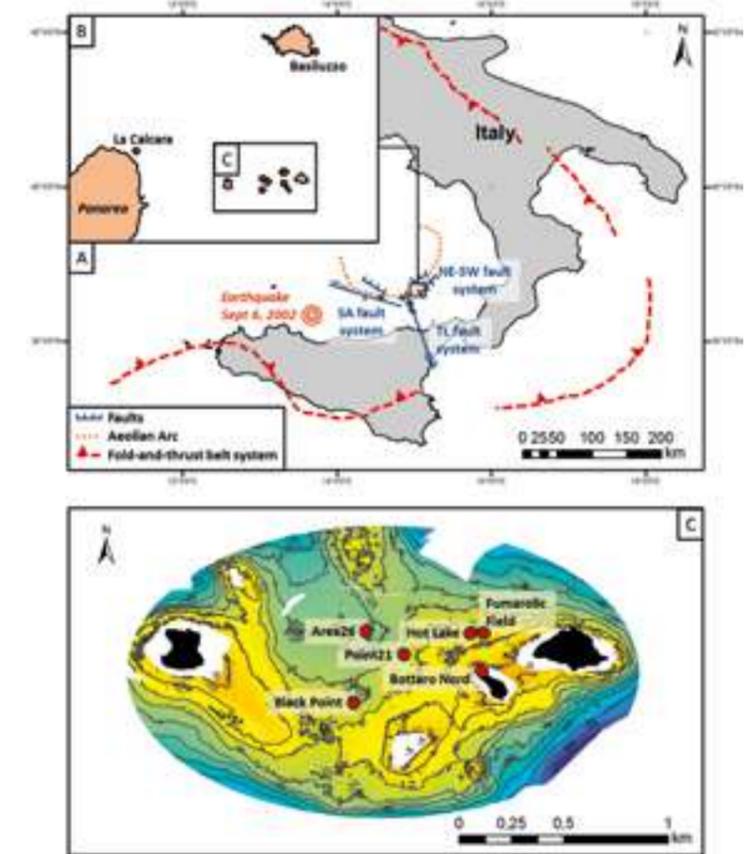


Abb. 3b: Fluid-Austrittsstruktur in konglomeratischer Fazies in 26 m Wassertiefe (Area 26)



Abb. 3c: Fluid-Austrittsstruktur in sandiger Fazies mit Massiv-Sulfid-Zementation (?Markasit) in La Calcarà (23 m Wassertiefe). Die Mineralisierung ist eng mit aktiven Gasaustritten assoziiert.



Exkursion des Instituts für Geologie in den Westen der USA

Freiberger Master-Geologen entdecken die Wunder der Rocky Mountains

Sebastian Reimann¹



Die Exkursionsteilnehmer im Canyonlands Nationalpark

Unter der Leitung von Prof. Dr. Christoph Breitreuer und Dr. Carlo Bodo Ehling (Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt) bereisten vom 25.08. bis zum 15.09.2016 22 Studenten des Masterstudiengangs Geowissenschaften in der Vertiefung Sedimentologie und Vulkanologie der TU Bergakademie Freiberg die westlichen USA.

Auf der Tour durch das Land wurden die Bundesstaaten Washington, Idaho, Oregon, Utah, Nevada, Arizona und Kalifornien besucht. Die gesamte Strecke belief sich auf über 5000 Meilen, die in vier Dodge Caravans zurückgelegt wurde.

Der thematische Auftakt der Reise waren die quartären Flutereignisse des Lake Missoula. Durch eine Gletscherzunge wurde vor rund 15 ka der Clark-Fork River blockiert. Dieser Eisdamm brach wenige Jahre später und löste so das bisher größte bekannte Süßwasser-Flutereignis der Erdgeschichte aus. Im Laufe der darauffolgenden Eiszeit wiederholte sich dieses Spektakel und hinterließ die heute bekannten Scablands im Bundesstaat Washington. Diese entsprechen der Erosionsfläche der einstigen Fluten, über die das Wasser hinwegschoss und Spuren hinterließ, die bis heute deutlich erkennbar sind. Außer mit der Sedimentologie befasste sich die Exkursion auch mit der Paläontologie. So

wurde das Thomas Condon Paleontology Centre im Bundesstaat Oregon besucht. Hier wird die Bedeutung des John Day Beckens als Fossilagerstätte klar vor Augen geführt. Bisher wurden an dieser Stelle rund 750 Fossilagerstätten kartiert, der Rekord an Fossilfunden aus den letzten 44 Ma. Im John Day Becken kam es immer wieder zu vulkanischen Aktivitäten, denen die bemerkenswerte Qualität der Fossilien zu verdanken ist.

Schwerpunkt der Exkursion war jedoch der Vulkanismus in den westlichen USA. So wurden u. a. die Columbia River Flutbasalte, die Yellowstone Caldera, die Henry Mountains Lakkolithe und der Bishop Tuff im Owens Gorge besucht. Eine wahre Rarität stellte sich uns mit dem Obsidian Flow der Newberry Caldera dar, da das Phänomen eines Obsidian-Lava-Vorkommens



Dr. Peterson erläutert die Bildung von Dykes in diesem Gebiet

weltweit nur sehr selten anzutreffen ist. Ein Höhepunkt war der Besuch im Tintic Mountain District – in Zusammenarbeit mit Dr. Eric Peterson vom Geoscience Department der University of Utah. In diesem Gebiet ist das Zusammenspiel zwischen vulkanischen Gesteinen (ca. 32 Ma alten Latiten) und einer hydrothermalen Überprägung durch Fluide sehr deutlich. Auch ist dort das Mineral Alunit zu finden, das in aktuellen Arbeiten als wichtiger Proxy für Paläoklima, geothermale Aktivitäten und metamorphe Überprägung dient. Finaler vulkanologischer Höhepunkt war der Mount Saint Helens im Süden des Bundesstaates Washington. An ihm wurden die rezenten katastrophalen Auswirkungen vulkanischer Aktivität noch einmal sehr deutlich.

Das Ende der Reise wurde durch ein Treffen mit Prof. Shanaka de Silva von der Oregon State University abgerundet. Als führender Geologe dieser Universität gab er uns einen Einblick in die regionale Geologie sowie speziell zu den akkretionären Terrains des Staates Oregon.

Ein großer Dank geht an den VFF der TU Bergakademie Freiberg, an den Förderkreis Freiberger Geowissenschaften, an die Beak Consultants (Manometer!) GmbH, an die Freiberger Präzisionsmechanik (FPM Holding GmbH), an die GEOMONTAN Gesellschaft für Angewandte Geologie mbH in Freiberg sowie an die Deutsche Vulkanologische Gesellschaft für die großzügige finanzielle Unterstützung dieser Exkursion.

¹ Teilnehmer der Exkursion und Student an der TU Bergakademie Freiberg im Masterstudiengang Vulkanologie und Sedimentologie

Chronik 2018

1168 – 850 Jahre

– Erster Fund von Silbererzen in der Freiberger Region; Zuzug von Bergleuten vor allem aus Goslar und Entstehung einer bergmännischen Siedlung, die zum Ausgangspunkt der späteren Bergstadt Freiberg wird.

1218 – 800 Jahre

– (11.06.) Erste urkundliche Erwähnung Freibergs

1518 – 500 Jahre

– Wolf von Schönberg geboren, wird 1558 nach dem Tod Heinrich von Gersdorfs zum „Hauptmann der Erzgebirge“ berufen; ihm unterstehen auch sämtliche Bergämter und Bergstädte sowie die gesamte Bergverwaltung.

1693 – 325 Jahre

– Oberberghauptmann Abraham von Schönberg (1640–1711) veröffentlicht das Handbuch „Ausführliche Berginformation“.

1718 – 300 Jahre

– Carl Ernst Richter geboren, Markscheider und Bergamtsassessor, gibt ab 1766/1780 Unterricht in „praktischer Markscheidekunst“ sowie 1772/74 in Bergbaukunde.

– (08.04.) Carl Eugen Pabst von Ohain geboren, 1765/1769 Vize-Berghauptmann und 1769/1784 Berghauptmann am Oberbergamt in Freiberg, Namenspatron einer Freiberger Schule

1743 – 275 Jahre

– (03.10.) Johann Friedrich Mende geboren, Student 1767, 1770 Kunstmeister, 1789 Maschinenbauingenieur, Erbauer der ersten Wasserrädermaschine im sächsischen Bergbau und des „Churprinzler Bergwerkskanals“ mit einem Kahnhebehau für den Erztransport

1768 – 250 Jahre

– (23.01.) Johann Karl Ludwig Gerhard geboren, Student 1787/89, 1793 Oberbergmeister, 1810 Oberberghauptmann und Leiter des gesamten preußischen Berg- und Hüttenwesens

1793 – 225 Jahre

– (08.02.) Carl Gottlieb Schneider geboren, Student 1812/14, Hüttenmeister bei der Halsbrückner Hütte, lehrt 1846/48 Probierkunst an der Bergakademie

– (26.02.) Carl Friedrich Wenzel †, Oberhüttenamtsassessor in Freiberg, 1789/1793 nebenamtlich Unterstützung von Christlieb Ehregott Gellert bei dessen Vorlesungen an der Bergakademie als Assistent

– (15.11.) Carl Friedrich Selbmann geboren, Student 1811/15, Chemiker, später Betriebsinspektor der Porzellanmanufaktur Meißen

– (17.12.) Georg Ludwig Wilhelm Dörell geboren, Student 1815/19, Bergbeamter in Zellerfeld, zuletzt Bergmeister; Erfinder der ersten maschinellen Fahrkunst für Mannschafsförderung

1818 – 200 Jahre

– Der Professor für Geognosie und Bergbaukunst K. A. Kühn beginnt mit dem Aufbau einer „geognostischen“ Sammlung (später Lagerstättenammlung)

– (03.07.) Karl Michael Zerrenner geboren, Student 1837/39, Direktor von Gold-, Platin- und Diamantgruben sowie von Eisenhütten im Ural, ab 1858 Regierungsrat, Bergrat und Vortragender Rat im Staatsministerium in Gotha

– (02.08.) Werner-Stipendium durch dessen Schwester Christiane Sophie Glaubitz errichtet

1843 – 175 Jahre

– Bergakademie erhält vom Oberbergamt das Dis-

ziplinarrecht; Einrichtung eines Karzers zur Ahndung von Disziplinarvergehen der Studenten

– (15.02.) Otto Friedrich Freiesleben geboren, Student 1858/61, 1872/74 Lehrer sowie 1874/1876 Professor für Bergrecht und Allgemeine Rechtskunde, 1922 Ehrensenator

– (17.02.) Grundsteinlegung für das von Eduard Heuchler (1800–1879) geschaffene „Schwedendenkmal“

– (24.03.) Johann Gotthold Klemm †, Student 1792, Hüttenmeister, später Bergwardein, lehrte 1834/43 Probierkunst an der Bergakademie

– (30.04.) Ottokar Hofmann geboren, Student 1864/66, Hütteningenieur in den USA und in Mexiko, führte dort u. a. die Silber-Laugerei ein

– (23.06.) Paul Heinrich Ritter von Groth geboren, Student 1862/65, Professor für Mineralogie in Straßburg und München, dort gleichzeitig Konservator der mineralogischen Sammlung des bayerischen Staates

– (25.08.) Wilhelm Buderus geboren, Student 1865/67, Betriebsleiter der zum Familienunternehmen gehörigen Sophienhütte in Wetzlar

– (20.09.) Karl Hermann Scheibner geboren, Student 1861/64, 1877 Direktor des Lugauer Steinkohlenbauvereins, 1891 Gründer der Allgemeinen Knappschaftspensionskasse für Sachsen

1868 – 150 Jahre

– (24.02.) Albert Hoppstaedter geboren, 1929 Ehrendoktor, Generaldirektor der Gewerkschaft „Constantin der Große“ in Bochum

– (26.03.) Paul Wilski geboren, 1905/16 Professor für Markscheidekunde und Geodäsie, Institutsdirektor; 1916 Professor für Markscheidekunde an der TH Aachen

– (21.06.) August Otto Krug geboren, 1902/07 Bergamtsrat und Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht, 1907 Bergamtsdirektor, 1919 an das Finanzministerium in Dresden berufen

1893 – 125 Jahre

– Sprengung der seit dem 16. Jahrhundert existierenden „Altväterbrücke“ an der Alten Meißner Landstraße

– (11.03.) Heinrich Ehlers geboren, Student 1912/21, Bergingenieur der Braunschweigischen Kohlenwerke Helmstedt, Leiter der Bergbauabteilung und Vorstandsmitglied der Aktiengesellschaft Sächsische Werke (ASW)

– (31.03.) Franz Schultze geboren, Student 1913/19, Betriebsleiter eines Großtagebaus im Geiseltal bei Mülcheln, 1947 Direktor bei den Braunschweigischen Kohlenwerken Helmstedt, Ehrendoktor der TH Braunschweig

– (10.05.) Eduard Theodor Böttcher †, Student 1847/51, 1853 Professor für Maschinenlehre und mechanische Technologie, 1866/1876 Direktor der Königlichen Gewerbeschule Chemnitz, Preisrichter Weltausstellungen

– (30.07.) Einweihung des neuen Bergschulgebäudes in der Neugasse (jetzt Prüferstraße 9), heute u. a. Sitz des Universitätsarchivs

– (06.08.) Ernst-Joachim Ivers geboren, Student 1919/22, 1957–1962 Professor für Aufbereitung an der Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar

– (08.08.) Heinz Uhlitzsch geboren, 1927/45 Professor für Eisenhüttenkunde, insbesondere Gießereiwesen, 1944/45 Rektor der Bergakademie

1918 – 100 Jahre

– (13.01.) Theodor Kellerbauer †, Student 1857/61,

1870/1910 Professor für Maschinenkunde an der Königlichen Gewerbeschule

– (11.02.) Friedrich Wilhelm Matthiesen †, Student 1853/57, Partner von Eduard Carl Hegeler (Vater unserer ersten Studentin Mary Hegeler) bei der Firma „Matthiesen u. Hegeler“, USA

– (17.05.) Gründung der Braunkohlenstiftung an der Bergakademie Freiberg; bis dahin mit Abstand größte Stiftung an der Bergakademie

– (20.06.) Max Arno Däbritz †, Student 1882/86, ab 1890 beim Erzgebirgischen Steinkohlen-Aktienverein in Zwickau, zuletzt Technischer Direktor und Betriebsleiter; danach ab 1906 Leitung des Zwickau-Oberhondorfer Steinkohlenbauvereins

– (18.11.) Hans Kleine geboren, 1966/1969 Professor für Zivil-, Berg- und Arbeitsrecht, 1969/1974 Professor für Sozialistisches Wirtschaftsrecht (Bergrecht); bis 1968 Direktor des Instituts für Rechtswissenschaften

– (10.12.) Siegfried Herzog geboren, 1968/75 Professor für Anorganische Chemie

– (31.12.) Rossiter Worthington Raymond †, Student 1860/61, beratender Ingenieur von Montan-Betrieben in den USA, 1872/75 Präsident und 1884–1911 Sekretär des American Institute of Mining Engineers

1943 – 75 Jahre

– (03.01.) Karl Richard Michael †, 1907/14 Bergamtsrat und Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht, 1914 an das Finanzministerium in Dresden

– (06.02.) Friedrich Kolbeck †, Student 1883/84, 1893 Dozent, ab 1896 Professor für Probier- und Lötrohrprobierkunde bzw. Professor für Mineralogie und Lötrohrprobierkunde, 1913/15 und 1922/23 Rektor der Bergakademie

– (16.03.) Richard Lippmann †, Student 1886/88, 1926 Ehrendoktor, Direktor Stahlwerk Gröditz

– (01.09.) Otto Krause †, 1928/29 Dozent für Chemie und Technologie der feuerfesten Baustoffe

– (09.10.) Karl Fertig †, Student 1883, 1927 Ehrendoktor, Generaldirektor der Grube Leopold A. G. in Edderitz bei Köthen/Anhalt

– (28.10.) Der Professor für Metallkunde, Maximilian Freiherr von Schwarz, errichtet zum Gedenken an seinen gefallenen Sohn die „Max Richard Freiherr von Schwarz-Stiftung“.

– (25.12.) Max Hell †, Student 1887/91, 1923 Ehrendoktor, Generaldirektor der Haleschen Pfännerschaft A.G.

1968 – 50 Jahre

– Im Rahmen der 3. Hochschulreform in der DDR Bildung völlig neuer Strukturen an der Bergakademie; Auflösung der Fakultätsstruktur, Abschaffung der traditionellen Institute und Bildung von zehn Sektionen mit Lehr- und Forschungsbereichen, später Wissenschaftsbereiche, sowie Veränderungen in der Hochschulleitung und -verwaltung

– Neue Fachrichtung Geotechnik gegründet

– (26.02.) Alfred Lange †, Student 1925/30, 1950/68 Professor für Metallhüttenkunde, Elektrometallurgie u. Probierkunde, Institutsdirektor

– (11.03.) Genehmigung der Namensführung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“ durch das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

– (26.09.) Johannes Teubel †, 1970/81 Professor für Verfahrenschmelze sowie 1981/89 für Technische Chemie

■ Roland Volkmer

Moritz Hochschild (1881–1965)

Michael Düsing

In Freiberg erinnert nur noch wenig an den am 17. Februar 1881 im hessischen Biblis geborenen Moritz Hochschild, der 1905 an der Bergakademie das Diplom als Bergingenieur erwarb und 1921 hier zum Dr.-Ing. promoviert wurde. In einer kleinen Vitrine in der Lagerstätten-Sammlung im Werner-Bau sind einige Erzproben zu sehen, die Hochschild bei Studienreisen und später als Erzhändler und Bergwerksunternehmer in Südamerika zusammengetragen hatte. Fast vergessen scheint, dass der sehr gute Ruf, den die TU Bergakademie Freiberg in Lateinamerika genießt, auch aus der anhaltenden Achtung entspringt, die ihr einstiger Absolvent als einer der drei großen „Zinnbarone“ Boliviens in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in Bolivien und anderen südamerikanischen Ländern erworben hatte. Mit den Kupfer- und Zinnunternehmen, die Hochschild seit den 1920er-Jahren in Chile, Bolivien, später auch in Argentinien und Peru aufbaute, leistete „Don Mauricio“, wie er dort bald genannt wurde, einen nachhaltigen Beitrag zur Intensivierung der bis dahin eher schwach entwickelten und wenig ertragreichen Kupfer- und Zinnerzindustrie in diesen Ländern. Als bestens ausgebildeter Bergingenieur und ausgerüstet mit dem Können seiner im Erzhandel erfahrenen hessisch-jüdischen Großfamilie¹, entwickelte Hochschild geniale Wirtschaftskonzepte für Erzhandel und Minenbetrieb in Chile und Bolivien. Er verband das von ihm zum eigenständigen Wirtschaftsunternehmen entwickelte Aufkaufen und Handeln kleiner Erzpartien (das sog. „Rescate“-Geschäft) mit solider finanzieller und technologischer Unterstützung, vor allem aber auch mit umfassender Beratung der vielen bisher einzeln und mit hohem Risiko agierenden kleinen Minenbetreiber. Bahnbrechend war zudem seine Idee, das im I. Weltkrieg in Deutschland in den Berzelius-Zinnhütten in Duisburg genutzte Volatilisierungsverfahren zur Gewinnung von Zinn aus Glocken und anderen Bronzestücken auf die Zinnengewinnung aus niedrigerhaltigen, bis dahin ungenutzt auf Halde geworfenen

1 Zacharias Hochschild (1854–1912), Cousin seines Vaters, gehörte zu den Mitbegründern der Frankfurter Metallgesellschaft AG und war deren erster Vorstand. Leopold Hirsch, Onkel mütterlicherseits, war Agent des südafrikanischen Minenkonzerns De Beer in London.



Porträtaufnahme Dr. Moritz Hochschild, undatiert

Zinnerzen in Bolivien anzuwenden. Hochschilds Unternehmenskonzept sicherte tausende neue Arbeitsplätze, schuf ein neues, Gewinn bringendes Exportprodukt für Bolivien und weitere südamerikanische Länder und machte ihn selbst dort in nur wenigen Jahren zu einem der wohlhabendsten und einflussreichsten Erzunternehmer, der gleichwohl als „Ausländer“ immer umstritten und gefährdet blieb.² Hochschild wurde 1933 argentinischer Staatsbürger. Er lebte ab 1934 in New York und Paris und setzte sich nach Ausbruch des II. Weltkriegs intensiv für die Unterstützung der Anti-Hitler-Koalition durch südamerikanische Staaten ein. Für die erste eigene Zinnhütte, die die USA nach dem japanischen Angriff auf Pearl Harbor in Texas errichteten, wurde Hochschild Hauptlieferant mit bolivianischem Erz.³ In Bolivien wurden seine Unternehmen 1952 enteignet und verstaatlicht. Von Paris aus, wo sich Hochschild nach dem II. Weltkrieg dauerhaft niederließ, warb er intensiv für ein vereintes Europa.⁴ Für

2 Ausführlich bei: Helmut Waszkis, Dr. Moritz (Don Mauricio) Hochschild 1881–1965. The Man and His Companies. A German Jewish Mining Entrepreneur in South America; Frankfurt a. Main 2001; zugl.: Berlin, FU, Diss. 2000

3 Hierzu auch: Helmut Waszkis, Dr. Moritz (Don Mauricio) Hochschild – ein bedeutender Bergakademiker (1881–1965. In: M. Düsing (Hrsg.), Glück Auf, mein Freiberg! Erinnerungen und Lebensschicksale jüdischer Bürger in den sächsischen Bergstädten Freiberg und Oederan; Freiberg 1995, S. 140–150, hier: S. 145

4 Moritz Hochschild, Europas letzte Chance. In: Der Volkswirt, Nr. 35 (1956), S. 12–14

seine Verdienste um die Entwicklung der deutschen Wirtschaft in Südamerika erhielt „Dr. Mauricio Hochschild“, wie es in der Verleihungsurkunde hieß, am 15. Juli 1961 das Große Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland.⁵ Am 12. Juni 1965 starb Moritz Hochschild in Paris.

Zeit seines Lebens war Moritz Hochschild der Bergakademie Freiberg, vor allem seinen einstigen akademischen Lehrern, verbunden geblieben. Zu Ostern 1900 hatte er sich unter Matrikel-Nummer 4398 an der Bergakademie Freiberg eingeschrieben.⁶ Er absolvierte aber zunächst, nach ersten Vorlesungen bei dem Mathematiker Erwin Papperitz, seinen Militärdienst als Einjährig-Freiwilliger beim Königlich-Sächsischen Jägerbataillon Nr. 12 in Freiberg. Nach seiner Rückkehr an die Bergakademie im Oktober 1901 hörte er u. a. Mineralogie und Kristallografie bei Friedrich Kolbeck und Bergbau- sowie später Aufbereitungskunde bei Emil Treptow, dessen kristallografisches Praktikum er gleichfalls belegte, Eisenhüttenkunde bei Adolf Ledebur, Chemievorlesungen bei Clemens Winkler, Bergrecht und hüttenmännisches Rechnungswesen bei August Otto Krug und ab 1904 auch Maschinenlehre bei Hermann Undeutsch. Ausgedehnte Exkursionen führten ihn bereits während der Studienzeit in russische Kupfergruben im Ural und im Kaukasus, aber auch nach Spanien und ins Mansfeldische. Am 15. Dezember 1905 bestand Hochschild die Diplom-Prüfung als Bergingenieur mit der Note „Gut“. Sein Berufsweg begann in der Metallgesellschaft Frankfurt, wo er bald darauf erste praktische Erfahrungen im Erzaufkauf in Spanien erwarb. Nur ein Jahr nach Abschluss seines Studiums gehörte Hochschild zu den ersten, die eine Dissertationsschrift einreichten, nachdem die Bergakademie Freiberg 1905 das Recht zur Durchführung von Promotionsverfahren zum Dr.-Ing. erhalten hatte, zunächst allerdings nur in Verbindung mit der Technischen Hochschule Dresden.⁷

5 Schreiben des Bundespräsidialamts, Ordenskanzlei, an den Autor vom 05.07.2017 sowie Schriftgutbestand Bundespräsidialamt, Ordenskanzlei zur Ordensverleihung an M. Hochschild im Bundesarchiv Koblenz, Bestand BArch B 122/38739

6 UniArch TU BAF, Akte Hochschild 364 416

7 Otfried Wagenbreth, Norman Pohl, Herbert Kaden, Roland Volkmer: Die Technische

Seine „Beschreibung der Erzlagerstätten von Sidi Joussef in Tunis und Erklärungsversuch ihrer Genesis“ wurde nach einigem Hin und Her zwischen Dresden und Freiberg im Juni 1907 allerdings – gegen das zunächst positive Gutachten des Geologen Richard Beck – abgelehnt.⁸ Der kürzlich verstorbene Biograf Hochschilds, Helmut Waszkis⁹, hegte die Vermutung, die Ablehnung, die vor allem der Zweitgutachter Ernst Kalkowsky, Ordinarius für Mineralogie und Geologie an der TH Dresden, betrieben hatte, sei der nicht zuletzt über das Promotionsrecht ausgeprägten Konkurrenz zwischen der TH Dresden und der Bergakademie Freiberg zuzuschreiben gewesen. Auch antisemitische Abneigungen könnten eine Rolle gespielt haben.¹⁰

Immerhin ließ sich Moritz Hochschild nicht entmutigen. Um viele praktische Erfahrungen reicher, unternahm er im Herbst 1921 einen neuen Anlauf zur Promotion an der Bergakademie Freiberg. Inzwischen hatte er eine Kupfergrube in Australien geleitet und während des I. Weltkriegs seine „vaterländische Gesinnung“ für Deutschland als Verbindungsoffizier im deutschen Heer unter Beweis gestellt. In Chile und später auch in Bolivien war er davor und danach zunehmend erfolgreich im Kupfer- und Zinnhandel und in der Leitung und in dem Betrieb von Erzgruben- und Hüttengesellschaften tätig. Die Bergakademie besaß seit 1920 das volle Promotionsrecht.¹¹ Hochschilds nun eingereichte „Studien über die Kupfererzeugung der Welt“ bewertete der Vorsitzende der Prüfungskommission, Rektor Otto Fritzsche, als eine Arbeit, in der „das Bergmännische, das Hüttenmännische, Geologische und Wirtschaftliche“ gelungen „miteinander verkuppelt“ seien. Erstgutachter Karl Kegel lobte Hochschild als „guten Kenner der wichtigsten Kupfererzeugungsgebiete“, während Friedrich Schumacher dessen „eingehende, vielfach auf persönlichen Erfahrungen beruhende Kenntnis“ hervorhob und in Hochschilds „Darstellung der rapiden Entwicklung des gesamten Kupferbergbaus“ den

Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte; Freiberg 2008, S. 47

8 Ablehnungsmittelung v. 06.06.1907 durch Rektor Erwin Papperitz an M. Hochschild; UniArch Akte 364 416

9 Helmut Waszkis verstarb am 08.03.2017 in seiner Wahlheimat USA

10 Dazu H. Waszkis 1995 (wie Anm. 3), S. 141

11 Otfried Wagenbreth, Norman Pohl, Herbert Kaden, Roland Volkmer 2008 (wie Anm. 7), S. 47



Moritz Hochschild als Einjährig-Freiwilliger in Freiberg, 1900

„wertvollsten Teil der Arbeit“ ausmachte.¹² Das Promotionsverfahren endete am 8. Oktober 1921 mit „gut bestanden“. Auch nach seiner Rückkehr nach Chile und Bolivien hielt Hochschild enge Kontakte zur Bergakademie aufrecht. Er überließ immer wieder Lagerstättenproben und bergmännische Ausrüstungen von seinen Exkursionen und aus seinen Gruben den Sammlungen der Bergakademie. Er blieb in Kontakt zu Friedrich Schumacher, der ihm bis weit in die NS-Zeit hinein den Bezug der Zeitschrift „Die Bergakademie“ ermöglichte. Noch nach dem II. Weltkrieg soll Hochschild in Verbindung mit der Familie seines einstigen akademischen Lehrers Friedrich Kolbeck gestanden und dessen in Not geratener Tochter finanziell geholfen haben. In seinem Firmenimperium arbeiteten nicht wenige Familienangehörige, einstige Freiburger Studienkollegen und deutsch-jüdische Ingenieure und Bergbauexperten, die ihm in allen Phasen seines bewegten Lebens durch Können und Kreativität aufgefallen waren.

Moritz Hochschild war indes nicht nur einer der erfolgreichsten Erzunternehmer Südamerikas in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Nachdem die Nationalsozialisten 1933 an die Macht gekommen waren, galt Hochschilds Sorge der Rettung nicht nur seiner eigenen Familie, sondern auch jüdischer Studienfreunde und Berufskollegen vor den immer dramatischeren

12 UniArch TU BAF, Akte Hochschild 364 416

Judenverfolgungen in Deutschland.¹³ Besonders nach den Novemberpogromen 1938 in Deutschland dehnte Hochschild diese Hilfe entschieden aus und setzte endgültig erhebliche Teile seines Vermögens und seinen ganzen politischen Einfluss daran, verfolgten Juden die Emigration nach Bolivien und in andere südamerikanische Länder zu ermöglichen. Bolivien öffnete, nicht zuletzt aufgrund der Interventionen Hochschilds, für einige Jahre seine Grenzen für jüdische Flüchtlinge aus Deutschland und Europa.¹⁴ In Kontakt mit Hilfsorganisationen wie dem American Jewish Joint Distribution Committee, aber auch durch die Gründung eigener Hilfsorganisationen, vor allem der Sociedad Colonizadora de Bolivia (SOCOBO), in deren Vorstand leitende Manager seiner Unternehmen saßen, schuf er ein riesiges personales, finanzielles und logistisches Netzwerk, das die Aufnahme jüdischer Flüchtlinge und deren Integration in Bolivien sichern sollte. Das tatsächliche Ausmaß seiner Hilfe wird erst in den letzten Jahren genauer bekannt. Seit Monaten berichten internationale Agenturen und fast alle nationalen Medien – zum Teil leider unter unangebracht reißerischen Überschriften¹⁵ – über Aufsehen erregende neue Funde im Aktenbestand des von Hochschild überkommenen Minenarchivs der seit 1952 staatlichen Bergbaugesellschaft COMIBOL in El Alto, Bolivien. Sie liefern Belege dafür, dass Hochschild bis zu 10.000 Juden aus Europa vor der Vernichtungspolitik der Nazis gerettet haben könnte. Seit 2016 ist dieser Aktenbestand daher in das UNESCO-Weltregister „Memory of the World“ aufgenommen und soll schrittweise online zugänglich werden.¹⁶

Nicht zuletzt deshalb wird es der TU Bergakademie Freiberg zur Ehre gereichen, sich dieses bedeutenden Absolventen in würdiger Form zu erinnern. Erste Vorschläge dazu liegen aus dem Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte auf dem Tisch.

13 Vgl. dazu M. Düsing, Dr. Moritz Hochschild – ein unbekannter Bergakademiker. In: Bergakademie. Zeitschrift der TU Bergakademie Freiberg, Nr. 15/16 (August 1995), S. 36

14 Ausführlich bei H. Waszkis 2001 (wie Anm. 2), S. 32–40; auch: Margarete und Alois Payer, Chronik Boliviens Teil 2, 1937–1943. Die Geschichte Boliviens. In: <http://www.payer.de/bolivien2/bolivien0218.htm>; Abruf 24.07.2017

15 So bei FAZ, 16.03.17; STERNonline, 23.06.17; Freie Presse, 13.07.17: „Der Oskar Schindler Boliviens“

16 DPA-Meldung v. 24.07.17

An der Bergakademie zu Gast

Das Besucherbuch der Bergakademie Freiberg

Annett Wulkow

Das zwischen 1769 und 1820 geführte Besucherbuch der Bergakademie Freiberg zählt zu den bedeutendsten Kulturschätzen unserer Universität. Mit seinen knapp 2.800 Einträgen von teilweise noch heute berühmten Persönlichkeiten ist es eine bedeutende Quelle zur Geschichte der Bergakademie und ihrer Wissenschaftsbeziehungen im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert.

Das im Universitätsarchiv aufbewahrte Buch hat eine bewegte Geschichte. Nachdem es lange Zeit als „verschollenes Objekt“ geführt wurde, gelangte es durch glückliche Umstände und mithilfe der finanziellen Unterstützung des VFF der Bergakademie vor reichlich zehn Jahren und kurz vor dem bereits geplanten Verkauf auf einer Auktion wieder zurück an unsere Universität.

Das Gästebuch widerspiegelt die hohe Anziehungskraft, die Fächer wie Bergbaukunde, Mineralogie und Geologie seit den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts auf gewisse Gesellschaftsschichten ausübten. Sowohl in Gelehrtenkreisen als auch bei Adel und Bürgertum avancierte die Mineralogie zu einer Modewissenschaft, und das Sammeln von Steinen und Fossilien wurde zu einem beliebten Hobby. Die Fähigkeit, die genannten Fächer ernsthaft zu betreiben, wurde damals sowohl Spezialisten als auch Laien zugesprochen. Politische Ereignisse, wie der Siebenjährige Krieg, in dessen Folge die Suche nach neuen Lagerstätten intensiviert und der Bergbau in teilweise bereits verlassenen Revieren wieder aufgenommen wurde, förderten die Sammelleidenschaft privater Kreise und führten dazu, dass hier und da Mineralienkabinette unter Berücksichtigung durchaus auch wissenschaftlicher Gesichtspunkte zusammengestellt wurden. Die wissenschaftliche Reputation der Bergakademie und nicht zuletzt das charismatische Wesen Abraham Gottlob Werners (1749–1817) zogen eine Vielzahl von Interessenten mit unterschiedlichem gesellschaftlichen und Bildungshintergrund in ihren Bann. Das breite Spektrum der Interessentengruppen spiegelt sich auch im Besucherbuch wider. Wenn gleich die Unterschriften von berühmten Studenten oder Besuchern, wie Alexander von Humboldt, Leopold von Buch

oder William Maclure fehlen, weist das Gästebuch doch zahlreiche Einträge auch heute noch bekannter Persönlichkeiten auf. Unter ihnen finden sich Naturforscher, Künstler, Schriftsteller, Industrielle, Ingenieure, Berg- und Verwaltungsbeamte, Diplomaten und viele weitere Personen aus Adels- und bürgerlichen Kreisen aus dem In- und Ausland. Auch Studenten und Lehrer der Bergakademie trugen sich in das Buch ein.

Wenngleich bei einer großen Zahl der Eingetragenen der Lebenslauf und damit auch deren Wohnort zur Zeit des Besuchs an der Bergakademie nicht mehr nachvollziehbar sind, ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Einträge von in Sachsen ansässigen Personen stammt. Eine diesbezüglich genauere Auswertung der Einträge aus Deutschland wird aufgrund mehrmaliger Änderungen der territorialen Zuordnung der Wohnsitze an der Wende zum 19. Jahrhundert jedoch noch längere Zeit in Anspruch nehmen. Für Gäste aus dem nicht-deutschen Ausland ergeben sich mit jetzigem Bearbeitungsstand die in *Tabelle 1* dargestellten Zahlen. Ihre Herkunftsangaben beziehen sich dabei auf den zum Zeitpunkt des Freiberg-Besuchs angegebenen Wohn- oder Arbeitsort. Dabei stammt ca. ein Zehntel der Einträge von Besucherinnen.

Tabelle 1: Übersicht zu den Einträgen im Besucherbuch von Personen aus nicht-deutschen Gebieten

Herkunft	Anzahl
Russisches Reich (ohne Kurland)	119
England (inkl. Irland/Schottland)	89
Habsburger Monarchie (ohne Schlesien)	67
Frankreich	59
Schweiz	40
Dänemark (inkl. Norwegen)	40
Italien	32
Niederlande	30
Schweden (inkl. Finnland)	29
Spanien (inkl. Kolonien)	20
Portugal	5
Vereinigte Staaten von Amerika	4
Osmanisches Reich	3

Im Folgenden soll auf einige wenige dieser Einträge eingegangen werden, die exemplarisch (1) für die Positionierung

der Bergakademie in den deutschen wie in internationalen Gelehrtennetzwerken, (2) für den Wissenstransfer bis ins außereuropäische Ausland und (3) für die enge Verbindung und gegenseitige Befruchtung von Naturwissenschaften und Kunst/Literatur zur damaligen Zeit stehen.

Als Beispiele für die besonders auf namhafte Naturforscher wirkende Anziehungskraft der Bergakademie sollen die Einträge des aus dem Habsburgerreich stammenden Ignaz von Born, des Schweden Johann Jacob Ferber, des lange Zeit in englischen Diensten stehenden Johann Reinhold Forster und der beiden französischen Gelehrten Jean-Baptiste Lamarck und Antoine-Grimald Monnet vorgestellt werden.

Ignaz von Born (1742–1791) stand über Jahre hinweg im Gedankenaustausch mit Freiburger Gelehrten; A. G. Werner informierte er bspw. über geologische Beobachtungen, die er auf seinen Reisen gemacht hatte. Seine mehrmaligen Aufenthalte in Freiberg sind mit drei Einträgen im Gästebuch dokumentiert. Für die Freiburger Region von Bedeutung war die von ihm federführend betriebene Entwicklung eines innovativen Verfahrens zur Amalgamierung von Silber und Gold, das er während eines internationalen Kongresses 1786 in Schemnitz, an dem u. a. die damaligen Freiburger Bergbeamten von Charpentier und von Trebra teilnahmen, vorstellte. Dieses Verfahren kam mit Anpassungen in dem zwischen 1787 und 1790 errichteten Amalgamierwerk in Halsbrücke zur Anwendung. Das bis 1857 betriebene Werk war weit über Europas Grenzen bekannt und galt lange Zeit als „achtes Weltwunder“.

Der Eintrag von v. Born auf Seite 6 des Besucherbuchs (*Abb. 1*) zeigt die Bedeutung der Bergakademie als Treffpunkt und Ort des Gedankenaustauschs unter Gelehrten des Berg- und Hüttenfachs. Direkt nach seiner Unterschrift folgt die des Geologen und Mineralogen Johann Jacob Ferber (1743–1790). Diese enge Aufeinanderfolge lässt vermuten, dass beide bei einem ihrer Aufenthalte in Freiberg zusammentrafen. Ferber, der unter anderem bei Carl von Linné (1707–1778) in

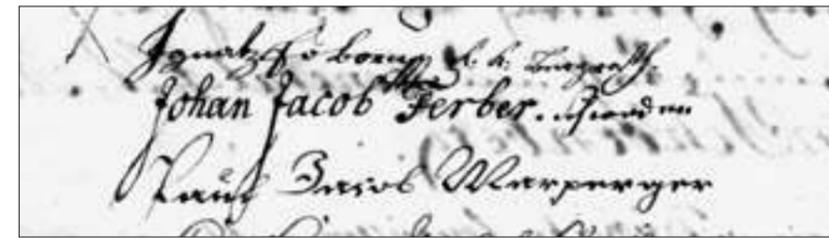


Abb. 1: Einträge auf Seite 6, ohne Datum (zwischen Einträgen von 1770 und 1773), Ignatz von Born [kaiserlich] k[öniglicher] Bergrath und Johann Jacob Ferber. Schweden



Abb. 2: Einträge auf Seite 29, d[en] 5ten July [1781] Joh[an]n Reinhold Forster LL.M. [Legum Magister] & Ph.D. [Philosophiae Doctor] P. P. O. [Professor Publicus Ordinarius] und d[en] 4ten Sept. [1781] le chevalier [Jean-Baptiste] de Lamarck de l'academie Royale des Sciences de Paris

Abb. 3: Eintrag auf Seite 4 ohne Datum, [Antoine-Grimald] Monnet mineralogiste français

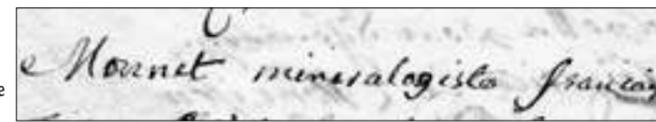


Abb. 4: Eintrag auf Seite 46, den 7ten Sept[em]b[er] [1789] [Luis] d'Onís, Baron Quarles und Chevalier de Valdés

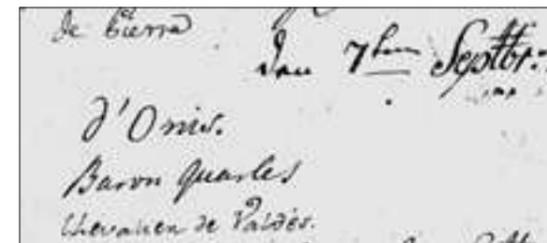
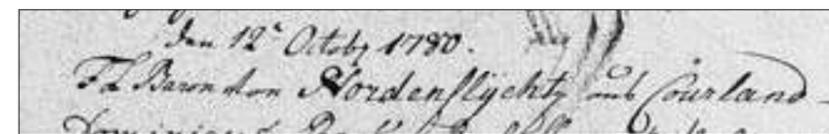


Abb. 5 (unten): Eintrag auf Seite 28, den 12n Octob[er] 1780. F[ür]chtegott L[e]berecht Baron von Nordenflicht aus Courland



Uppsala studiert hatte, befand sich zzt. des genannten Eintrags auf einer mehrjährigen Forschungsreise durch Europa, die er jedoch wegen fehlender finanzieller Mittel 1773 abbrechen musste. Anstellungen in der Folgezeit führten ihn nach Mitau (Kurland), St. Petersburg und Berlin. In Preußen wurde er durch Bemühungen des preußischen Ministers Heynitz 1786 – dem Jahr seines letzten Eintrags in das Besucherbuch – zum Oberbergrat und Mitglied der Akademie der Wissenschaften berufen.

Nur wenige Jahre zuvor trugen sich in das Besucherbuch zwei heute noch berühmte Naturforscher ein: Mit Datum vom 5. Juli 1781 unterschrieb dort der Weltreisende Johann Reinhold Forster (1729–1798) (*Abb. 2*). Forster, dem es

aufgrund von Differenzen mit der englischen Admiralität nicht gelungen war, aus seiner Bekanntheit als Teilnehmer an der zweiten Weltumsegelung mit James Cooks zwischen 1772 und 1775 Kapital zu schlagen und in England eine dauerhafte Anstellung als Wissenschaftler zu erhalten, hatte 1779 eine Professur für Naturgeschichte und Mineralogie an der Universität in Halle angenommen. Mit seinem Besuch an der Bergakademie erhoffte er sich Unterstützung bei der Vervollständigung seines Mineralienkabinetts, die ihm jedoch nicht in gewünschtem Maße gewährt wurde.

Seiner Unterschrift folgt die des französischen Botanikers und Begründers der modernen Zoologie der wirbellosen Tiere, Jean-Baptiste de Lamarck (1744–1829).

Lamarck stand zu Zeiten seines Aufenthalts in Freiberg am Anfang seiner wissenschaftlichen Karriere. Zu seinen Förderern zählte der berühmte Naturforscher Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon (1707–1788), dessen Sohn er auf seiner Europareise begleitete. Von letzterem gibt es allerdings keinen Eintrag im Gästebuch.

Ebenfalls aus Frankreich stammte der Geologe Antoine-Grimald Monnet (1734–1817) (*Abb. 3*), der sich zu Studienzwecken in Freiberg aufhielt und sich 1770 ins Gästebuch eintrug. Nach der Rückkehr in sein Heimatland wurde er ab 1776 zum Generalinspekteur des französischen Bergbaus ernannt. Ab 1780 veröffentlichte er einen *Atlas minéralogique de la France*, der der erste seiner Art in Frankreich war und als Vorgängerversion für die ab 1840 von Armand Dufrénoy (1792–1857) und Jean-Baptiste Élie de Beaumont (1798–1874) herausgegebene *Carte géologique de France* gelten kann.¹

Nach diesen Einträgen, die den Ideenaustausch mit international bekannten Gelehrten belegen, folgen nun zwei Beispiele für den Transfer Freiburger Wissens in alle Welt, die durch Unterschriften von Vertretern ausländischer Gesandtschaften dokumentiert sind: Für den 7. September 1789 findet sich ein Eintrag des die spanischen Interessen in Dresden vertretenden Diplomaten Luis d'Onís (1762–1827) (*Abb. 4*). Zu den Aufgaben von Onís, der 1819 Bekanntheit durch seine Beteiligung an den Verhandlungen zum Adams-Onís-Vertrag² erlangte, gehörte die Anwerbung von sächsischen Bergleuten für die südamerikanischen Kolonien. Unterstützt wurde er dabei von dem ehemaligen Freiberg-Studenten und mittlerweile zum Direktor des mexikanischen Bergbaus berufenen Fausto d'Elhuyar (1755–1833), der u. a. seinen früheren Kommilitonen Fürchtegott Leberecht von Nordenflicht (1752–1815) (*Abb. 5*) für den Eintritt in spanische Dienste gewinnen konnte.

Ebenfalls nach Südamerika führt uns der aus dem Jahr 1799 stammende Eintrag des in Den Haag stationierten portugiesischen Diplomaten António de Araújo e Azevedo, des späteren Conde de Barca (1754–1817) (*Abb. 6*). Seine Bemühungen im Nachgang seines Bergakademie-Besuchs resultierten im Kauf der 1791 und 1793 von A. G. Werner katalogisierten

1 Siehe auch den Artikel im Anschluss von Dietrich Stoyan zu einem Werner-Porträt in Paris.
2 Der Vertrag regelt die Festlegung der Grenzen zwischen Neu-Spanien (Mexiko) und den Vereinigten Staaten von Amerika.

Mineraliensammlung, die die Erben von Karl Eugen Pabst von Ohain (1718–1784) zum Verkauf anboten.³ Die Kollektion gelangte danach zunächst nach Lissabon und durch die aufgrund der napoleonischen Invasion bedingte Flucht des portugiesischen Königshauses 1808 nach Brasilien. 1818 wurde sie in das neugegründete Nationalmuseum in Rio de Janeiro eingegliedert, zu dessen Hauptattraktionen sie in den Anfangszeiten zählte.

Abschließend sollen noch einige Einträge von Personen Erwähnung finden, deren Interessen sowohl auf naturwissenschaftlichem als auch auf künstlerischem Gebiet lagen: Exemplarisch für diesen Personenkreis sollen die Unterschriften von Achim von Arnim (1781–1831) (Abb. 7), Theodor Körner (1791–1813) (Abb. 8), Carl Ludwig Giesecke (1761–1833) (Abb. 9), Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832) (Abb. 10) und Carl Gustav Carus (1789–1869) (Abb. 11) genannt werden.

Achim von Arnims Eintrag fällt in die Zeit nach seinem Studium der Naturwissenschaften in Halle und Göttingen. Er befand sich damals auf einer bis 1804 währenden Europareise mit seinem Bruder. Über Begegnungen mit Ludwig Tieck und Clemens Bretano hatte Achim von Arnim während des Studiums zur Schriftstellerei gefunden. Seinen ersten Roman Hollin's Liebesleben verfasste er im Jahr seines Freiberg-Besuchs.

Körners Unterschrift stammt aus der Zeit seines Studiums an der Bergakademie, für das er ab 1808 in Freiberg weilte. Seine Begeisterung für Bergbau und Naturwissenschaften wich jedoch schon bald danach. Er wandte sich der Dichtkunst zu, in der er zunächst als Theaterdichter am Wiener Burgtheater und später als patriotischer Dichter und Kämpfer im Lützowischen Freikorps gegen Napoleon brillierte. Giesecke dagegen hatte zur Zeit seines Aufenthalts an der Bergakademie im Jahr 1801 seine Karriere als Schauspieler und Theaterdichter in Wien beendet und erwarb sich – u. a. angeregt durch Ignaz von Born – auf ausgedehnten Reisen durch Mittel- und Nordeuropa und durch Studien bei Gelehrten wie Werner in Freiberg oder Karsten in Berlin Kenntnisse in Mineralogie und angrenzenden Fachgebieten. 1813 wurde er nach einem langjährigen

³ Werner, Abraham Gottlob (1791/1792): Ausführliches und systematisches Verzeichnis des Mineralien-Kabinetts des weiland kurfürstlich sächsischen Berghauptmans Herrn Karl Eugen Pabst von Ohain. Zwei Bände. Freiberg und Annaberg



Abb. 6: Eintrag auf Seite 71 von 1799 ohne Datum, Le Commandeur (Antônio) d'Araujo [e Azevedo] mit Begleitern (Mr. Pereira, Mr e(t) Madame Capadose, v(on) Fragoso aus Portugal)

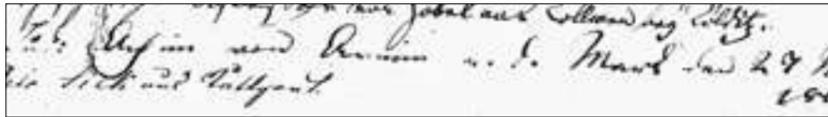


Abb. 7: Eintrag auf Seite 85, Lud(wig) Achim von Arnim a[us] d[er] Mark den 27 Nov(ember) 1801

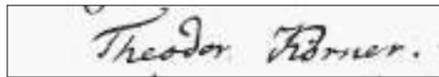


Abb. 8: Eintrag auf Seite 107 von 1808 ohne Datum, Theodor Körner

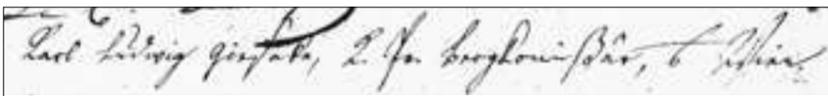


Abb. 9: Eintrag auf Seite 81 von 1801 ohne Datum, Carl Ludwig Giesecke, k[öniglich] Pr[eu]ßischer Bergkomis[s]är, [aus] Wien

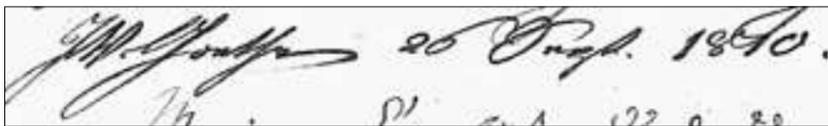


Abb. 10: Eintrag auf Seite 112, J[ohann] W[olfgang] Goethe 26 Sept(ember) 1810

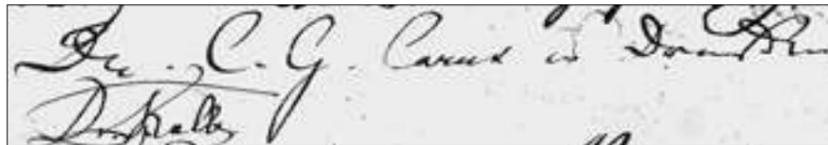


Abb. 11: Eintrag auf Seite 127 von 1815 ohne Datum, Dr. C[arl] G[ustav] Carus aus Dresden

Forschungsaufenthalt in Grönland auf die neu gegründete Professur für Mineralogie an der Royal Dublin Society berufen, die er bis zu seinem Lebensende 1833 innehatte.

Die Unterschrift von Goethe stammt vom 26. September 1810. Mit A. G. Werner stand dieser seit langem in Kontakt und tauschte sich mit ihm unter anderem zu Mineralfunden und deren Klassifizierung aus. Die Debatte um die Entstehung der Gebirge und Gesteine griff Goethe in seinem Drama Faust auf.

Der Eintrag des Mediziners, Naturphilosophen und Malers C. G. Carus im Herbst 1815 ging auf sein Interesse an der „Gebirgskunde“ zurück, über die er seine Kenntnisse bei A. G. Werner zu erweitern wünschte. In welchem Umfang er Erfolg hatte, beschreibt er in seinen Lebenserinnerungen: „Ich hatte diesen merkwürdigen Mann [Werner] ein Jahr vorher in Freiberg, dem eigentlichen Grund und Boden seines vieljährigen Wirkens, aufgesucht und einen

lehrreichen Tag in seinem Umgange zugebracht. ... Dabei war ihm die Sonderbarkeit eigen, in seinen Unterhaltungen scheinbar für alles andere, und namentlich für Medizin, ein weit größeres Interesse zu zeigen als für sein wahres Fach, die Gebirgskunde.“⁴

Mit dieser für Werners Interessen und Wirken sehr charakteristischen Beschreibung soll der kurze Einblick in das Besucherbuch enden. Die nur wenigen Beispiele daraus belegen die Anziehungskraft der Bergakademie Freiberg, die diese schon im ersten halben Jahrhundert nach ihrer Gründung entfaltete. Die Einträge künden auch von der Kontinuität der weit über die Landesgrenzen hinausreichenden Wissenschaftsbeziehungen der Bergakademie, die über Jahrhunderte hinweg bestanden und selbstverständlich heute noch bestehen.

⁴ Carus, Carl Gustav (1865): Lebenserinnerungen und Denkwürdigkeiten. Erster Theil. Leipzig, S. 202

Was zählt der Prophet im eigenen Land ...

Zum 200. Todestag Abraham Gottlob Werners (1749–1817)

Angela Kugler-Kießling

Im eigenen Land zählt der Prophet bekanntlich nur wenig. Für den Geologen, Mineralogen, Berg- und Hüttenmann Abraham Gottlob Werner scheint sich diese alte Weisheit einmal mehr zu bewahrheiten. Bis heute zählt er zu den umstrittensten Gelehrten seiner Zeit – von den einen vergöttert, von den anderen verlacht und schließlich im Fach der Geschichte abgelegt.

... und dennoch hat die TU Bergakademie Freiberg im Sommer 2017 unter Schirmherrschaft von Staatsministerin Dr. Eva-Maria Stange, mit einem internationalen Symposium an jenen Gelehrten erinnert, der zu seinen Lebzeiten eine Legende war. Seine Porträts und Büsten aus Eisenguss oder wertvollem Porzellan schmückten die Räume zahlreicher naturforschender Gesellschaften in ganz Europa. Eine Bergkette in Ostgrönland wird nach ihm „Werner-Mountains“ genannt und Robert Jameson gründet 1808 in Edinburgh die Wernerian Natural History Society. Die École des Mines in Paris präsentiert bis heute den Besuchern ihrer Bibliothek das Porträt Abraham Gottlob Werners und noch in den 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts entsteht an der Oklahoma State University ein Werner-Forschungsinstitut. Die Kette internationaler Würdigungen ließe sich beliebig fortsetzen. Es ist unbestritten – er war und ist ein anerkannter Gelehrter.

Wissenschaftler aus acht europäischen Ländern und Mexiko diskutierten u. a. darüber, was Abraham Gottlob Werner so bedeutend erscheinen ließ, dass namhafte Persönlichkeiten unbedingt bei ihm und nur bei ihm studieren wollten. Was zeichnet diesen Werner aus, der als Kind durch die Gräflich-Solmsschen Hüttenwerke streift, seine Profession schließlich in der Entwicklung der Geowissenschaften findet, der mit Begeisterung ordnet und strukturiert und der schon von Kindheit an eine besondere Begabung für Sprachen zeigt, der bis heute als Vater der Geognosie bezeichnet wird, dem es gelang, den Weltruf der jungen Bergakademie Freiberg zu begründen, der mit seinem neptunistischen Gedankengut sogar einen Paradigmenwechsel in der Naturphilosophie

provoziert haben soll. Wer war der Mensch, dem Kollegen, Schüler und Freunde ein Denkmal setzen, das *nicht seine Verdienste um die Wissenschaft hervorhebt, sondern seine Irrtümer verewigt?*

1775 wird der junge Werner als Lehrer an die Bergakademie nach Freiberg berufen. Er bringt die Praxisbezogenheit im wissenschaftlichen Denken und Dank seiner pietistischen Erziehung humanistische Grundtendenzen in seiner Weltanschauung mit. Beides lässt ihn die Naturwissenschaften auf neue Weise betrachten. Er reformiert sehr schnell und zielgerichtet die Lehre, die zu dieser Zeit offensichtlich



Shijia Gao, Doktorandin am Institut für Mineralogie

noch stark vom Bergschulprinzip geprägt wird. Klare Lehrpläne, neue Unterrichtsmethoden und vor allem systematische Studienunterlagen bringen ihm bald hohe Anerkennung sowohl bei den Studenten als auch beim Lehrkörper. „Das bloße Dozieren trägt nicht viel zur Bildung guter und zu allerlei Dienstgeschäften geschickter Bergleute bei ...“ Eine Verbindung von Theorie und Praxis ist ihm wichtig. Mit gezielten Beobachtungen bringt er seine Studenten zu neuen Erkenntnissen und folgt damit genau dem Leibnizschen Prinzip der Verbindung von Theorie und Praxis. Diesem Prinzip nach wirkend, holt er u. a. Wilhelm August Lampadius nach Freiberg und setzt sich eindringlich für die Einrichtung eines chemischen

Lehrlaboratoriums ein. Mit der Einführung seiner Elaboratorien (studentische Berichte) führt er die Studenten zu selbstständiger wissenschaftlicher Arbeit.

Um sich mit Studenten und Gelehrten noch besser auszutauschen, nutzt Abraham Gottlob Werner seine Begabung für Sprachen. Er erlernt elf Sprachen in Wort und Schrift und kann somit auch in mehreren Sprachen lehren und wissenschaftliche Dispute führen. Die Bergakademie entwickelt sich in dieser Zeit zu einer der deutschen Hochschulen mit der überzeugendsten internationalen Ausstrahlung, neben Halle und Göttingen.

Als eine wichtige Grundlage für erfolgreiche Lehre und Forschung sieht Werner die Bibliothek. Immer wieder setzt er sich für einen zielgerichteten Bestandsaufbau und erweiterte Ausleihzeiten ein.

Genau wie wir heute nutzen Werner und seine Schüler nationale und internationale Netzwerke, über die wissenschaftliche Disputationen stattfinden. Zu diesen Netzwerken gehörten damals die naturwissenschaftlichen Gesellschaften und die Freimaurerlogen. Sowohl die Sozietäten als auch die Logen ermöglichen einen interdisziplinären Austausch von Forschungsergebnissen. Eben diese Netzwerke waren im vergangenen Sommer Gegenstand des Freiburger Werner-Symposiums. Junge Wissenschaftler sollten die Möglichkeit erhalten, ihre Forschungsergebnisse vorzustellen und mit anderen Teilnehmern zu diskutieren. Spannend war dabei, dass nicht nur rein geowissenschaftliche Probleme diskutiert wurden.

Ein weiteres Ziel der Veranstaltung war der Blick über den hauseigenen Tellerrand hin zu interdisziplinären Fragen. Daher wurden bspw. auch linguistische oder kunsthistorische Aspekte erörtert. So scheint sich der Verdacht zu erhärten, dass sich von Werner und Freiberg aus die Farben und Farbnamen als neuer Standard in den Naturwissenschaften etabliert haben. Ein wesentliches Indiz dafür sind vier Ausgaben von Abraham Gottlob Werners äußerlichen Kennzeichen der Fossilien,

die in mehreren Ländern (u. a. Mexiko und USA) existieren und als sogenannte durchschossene Exemplare mit umfangreichen handschriftlichen Anmerkungen des Gelehrten versehen sind. Sie belegen zweifelsfrei die Entwicklung der Farben und ihrer Bezeichnungen.

Auch für die Linguistik, die sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts als Wissenschaft etabliert, könnte Werner und damit die Bergakademie wichtige Impulse geliefert haben. Bisher galten Franz Bopp, die Brüder Grimm oder Wilhelm von Humboldt als Wegbereiter. Werners

Arbeiten liegen zeitlich jedoch vor ihnen. So hat W. v. Humboldt erst nach seiner letzten Auslandsmission als Botschafter in London 1817/18 ernstlich sprachliche Studien betrieben. Werners Sprachstudien und vergleichende Vokabularien mit 67 weltweiten Dialekten entstehen ca. zwei Jahrzehnte davor. Es stellt sich also die Frage: Ist er nun Linguistik-Pionier (vergleichende Linguistik!) oder hat er von irgendwo Anregungen bekommen?

Diese Frage wird Wissenschaftler in den nächsten Jahren ebenso beschäftigen wie die Behauptung, dass Werners

Neptunismus-Modell die romantische Landschaftsdarstellung beeinflusst haben soll. Tatsache ist, dass ab 1805 in der Landschaftsmalerei Caspar David Friedrichs neptunistische Ideen erkennbar sind.

Inspiziert von den Forschungsideen rechts und links der in Freiberg ansässigen Geowissenschaften sind neue Netzwerke entstanden, die auf internationaler Ebene interdisziplinäre Forschungen vom Gestern zum Heute bringen und die damit der historischen Forschung eine Zukunft ermöglichen.

Ein Werner-Porträt in Paris

Dietrich Stoyan, Roland Volkmer, Annett Wulkow

In der 1783 gegründeten *École des Mines* in Paris, die sich seit 2008 *Mines Paris Tech* nennt, hängt ein Porträt von Abraham Gottlob Werner in einem prunkvollen Rahmen in den Räumen der dortigen Bibliothek. Dort sahen es Angela Kugler-Kießling¹ und Prof. Helmuth Albrecht² von der TU Bergakademie Freiberg. Letzterer informierte den erstgenannten Autor dieses Beitrags. Der nahm Kontakt mit den Pariser Kollegen auf, die ihm ein Foto des Gemäldes sandten. Die Bildunterschrift lautet zu Deutsch: Geschenk des Oberbergamts Freiberg an die königliche Bergakademie zu Paris 1844. Das Bild wurde also vom Freiburger Oberbergamt an die *École des Mines de Paris* geschenkt – zu einer Zeit, als Frankreich noch ein Königreich war, 1844 unter dem sog. Bürgerkönig Louis-Philippe.

Wie aber kam das Bild nach Paris? Wir vermuten: 1823/24 weilte Professor Ferdinand Reich in Frankreich. Bekanntlich brachte er von seiner Reise viele wertvolle Gegenstände mit nach Freiberg, darunter eine Kopie des Urmeters. Wahrscheinlich wurde er dabei von der Pariser Bergakademie zuvorkommend unterstützt, mit der dann weiterhin kollegiale Kontakte bestanden.

Speziell zu dem Werner-Bild fanden wir dazu in den Unterlagen des Universitätsarchivs eine dicke Akte vom Oberbergamt mit zahlreichen Briefen. Der damalige Direktor der *École des Mines*, Pierre Armand Dufrénoy (1792–1857), schrieb am 22. Juni 1843 dem Oberberghauptmann Friedrich Constantin Freiherr von Beust (1806–1891), dass er eine geologische Beschreibung von Frankreich, deren Verfasser er zusammen mit Jean Baptiste Armand Louis Léonce Elie de Beaumont (1798–1874) sei, als Geschenk übersandt habe. Er bat dafür um ein Bild von Bergrat Werner, wobei er unter heutigen Verhältnissen wohl an etwas wie ein Foto gedacht haben würde, vielleicht an eine einfache Grafik oder ein Aquarell. Vom Oberbergamt Freiberg ging daraufhin am 6. Juli 1843 eine entsprechende Anweisung an die Professoren Ferdinand Reich und August Breithaupt sowie den Architekten Eduard Heuchler, denen das Anliegen aus Paris kurz dargelegt wird: „ist von Herrn Dufrénoy zu Paris ein Exemplar einer geologischen Carte v[on] Frankreich als Geschenk und zur Einverleibung in die bergakademische Bibliothek von dort mit dem Wunsche abgesendet worden, ihm dagegen ein Portrait des verewigten Bergrath Werner zukommen zu lassen.“ Die drei Herren missverstanden diese Bitte produktiv und bemühten

¹ Universitätsbibliothek

² Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte



Das Werner-Porträt in den Räumen der Bibliothek der früheren *École des Mines de Paris*, heute *Mines Paris Tech*

sich um die Anfertigung eines Ölbildes. Dazu mussten sie das Oberbergamt von diesem Anliegen überzeugen, was ihnen offenbar ohne allzu viel Mühe gelang. Wesentlich komplizierter war es dann, die erforderliche Zustimmung betreffs der Kosten durch das sächsische Finanzministerium zu erlangen.

Breithaupt, Reich und Heuchler schlugen am 16. Juli 1843 vor, eine Kopie nach dem Gemälde von „G. von Kügelchen“, unter Berücksichtigung des „Gemäldes von Müller“ sowie der

persönlichen Erinnerung von Breithaupt anfertigen zu lassen. Dem stimmte das Oberbergamt nicht zu, sondern ordnete am 22. Juli an, „daß eine vollständige Copie des Wernerschen Bildnisses nach dem Kügelchen Gemälde, nicht aber eine, wie sie von den Professoren ... vorgeschlagen worden ... angeschafft werde.“ Dagegen wurde der Vorschlag, die Kopie in Öl vom Dresdner Maler Ernst Otto (1807–1847) anfertigen zu lassen, akzeptiert, und es sollte der „diesfallsige Kostenaufwand“ von ihm angefordert werden. Die Korrespondenz dazu führte Heuchler, und mit einigen Abstrichen (ein Rahmen wurde nicht genehmigt) gab sich das Oberbergamt damit zufrieden. Einer berühmten Pariser Institution, und gar einer Schwesterinstitution unserer Bergakademie einen Gefallen zu tun – das war schon etwas! Dem Finanzministerium in Dresden wurde am 9. September 1843 der Sachverhalt geschildert und um Genehmigung ersucht, die Kosten aus der Bergakademiekasse zu entnehmen. Diese wurde aber nicht erteilt, sondern beim Oberbergamt nachgefragt, ob ein Ölgemälde überhaupt notwendig sei. Die drei Herren, vom Oberbergamt befragt, mussten einräumen, dass das ihre Idee war und begründeten sie sehr geschickt mit dem Ansehen Werners und damit, dass ein Ölgemälde der Bergakademie gut zu Gesicht stehen würde. Daraufhin folgte wieder ein Brief nach Dresden, aber das Finanzministerium war immer noch nicht endgültig umzustimmen. Es sollte nun sogar in Paris über die Notwendigkeit nachgefragt werden. Die endgültige Entscheidung wurde aber wenigstens in die Verantwortung des Oberbergamts gegeben; jetzt war es bereits Dezember 1843. Professor Reich schrieb auftragsgemäß nach Paris und teilte am 8. Februar 1844 dem Oberbergamt mit, dass Herrn Dufrénoy zwar ein Aquarell wegen des unkomplizierteren Transports genügt hätte

und sie selbst davon ein Ölbild fertigen lassen wollten, aber Paris „würde übrigens sich glücklich schätzen, dieses Gemälde [in Öl] unmittelbar von der hiesigen Bergakademie zu erhalten“. Kunstmaler Ernst Otto konnte nun endlich mit der Arbeit am Porträt beginnen.

Jeder Kenner des Originals erkennt den Ursprung, stellt aber fest, dass die prunkvolle Uniform-Puffjacke, die Werner trägt, eine Idee des Kopisten ist, den Pariser Verhältnissen vermeintlich angemessen. Und etwas künstlerische Freiheit wollte Otto ja auch haben.

Der Preis für das Porträt betrug einschließlich der Transportkosten Freiberg–Dresden–Freiberg 31 Taler und 20 Neugroschen; man blieb damit unter den ursprünglich veranschlagten Ausgaben. Am 21. Mai 1844 wurde durch die Organisatoren Vollzug an das Oberbergamt gemeldet und bestätigt, dass der Maler Otto eine Kopie des Werner-Porträts von „G. v. Kügelchen“ gefertigt habe.

Zum Vergleich: Das Jahresgehalt eines Professors der Bergakademie betrug um 1850 durchschnittlich etwa 800 Taler. Wenn man das und den Preis des Bildes mit heutigen Zahlen vergleicht, kommt man auf ein ähnliches Verhältnis. Der Transport des Gemäldes Ende Juli 1844 nach Paris kostete übrigens nochmals einen Taler und 3,7 Neugroschen. Die Gesamtkosten betragen damit 32 Taler 23 Neugroschen 7 Pfennig. Am 7. August 1844 wurde verfügt, „diese Summe aus der Bergakademiekasse auszuführen“. Die Pariser Bergakademie bedankte sich dafür, wie es sich geziemt, beim Oberberghauptmann von Beust.

Den Rahmen ließen dann die Pariser anfertigen. Wie gut, dass damals Ferdinand Reich und seine Mitstreiter etwas über-eifrig waren ...

Bergjurist und Bergrechtslehrer Paul Martin Kreßner

Manfred Mücke

70 Jahre nach Einführung des Unterrichts im Bergrecht an der Königl. Sächs. Bergakademie Freiberg durch Reskript des Kurfürsten Friedrich August III. vom 8. Mai 1786 wurde Paul Martin Kreßner, Bergamtsmitglied in der Dienststellung eines Assessors am Bergamt Freiberg, der vierte Lehrer des Bergrechts und des bergmännischen Geschäftsstils (bergbauliche Verwaltungstätigkeit) im Nebenamt. Zunächst interimistisch, wurde ihm die Bergrechtslehre 1860 endgültig übertragen. Kreßner, geboren am 19. Oktober 1817 in Dresden, studierte 1838 an der Bergakademie Bergbaukunde und danach Rechtswissenschaft an der Leipziger Juristenfakultät.¹ Das war ein für deutsche

Bergjuristen in der zweiten Hälfte des 18. und auch noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts üblicher beruflicher Werdegang. Vorlesungen über das Bergrecht hörten zu Kreßners Zeit an der Bergakademie die „Bergleute“, die Markscheider und die „Hüttenleute.“ Diese Lehrtätigkeit übte er bis 1862/63 aus.² Neben seinen dienstlichen Verpflichtungen am Berg-



Paul Martin Kreßner

des Oberbergamts unterstellt war und durch das die Eichung und Stempelung der beim Bergbau und Hüttenwesen gebräuchlichen Gewichte mit Dezimaleinteilung, der Lachtermaße und der Waagen zu erfolgen hatte.

Zwei Jahre nach Übernahme seiner Lehrverpflichtungen an der Bergakademie gab Kreßner 1858 als Grundlage für seine Bergrechtsvor-

lesungen eine Abhandlung unter dem Titel „Systematischer Abriß der Bergrechte in Deutschland mit vorzüglicher Rücksicht auf das Königreich Sachsen“ heraus. 1862 untersuchte und vertiefte er mit seiner Schrift „Grundzüge zu einer Charakteristik des Bergwerkseigentums“ schon im „Abriß“ von ihm behandelte Rechtsinstitute wie die dinglich-privatrechtliche Natur des Bergbaurechts (des

¹ Zu den Lebensdaten von Paul Martin Kreßner vgl. Schönherr, Hansjoachim: Die Entwicklung des Lehrstuhls für Rechtswissenschaften an der Bergakademie Freiberg, in: FFH, D22 (1957), S. 20–22. Ausführlich zum wissenschaftlichen Werk vgl. Mücke, Manfred: Paul Martin Kressner (1817–1899) – „Vorkämpfer“ einer liberalen Bergrechtswissenschaft in Deutschland und

im Königreich Sachsen, in: Der Anschnitt (63. Jg.) 2011, S. 2–8.

² Die Geschichte und jetzigen Verhältnisse der Bergakademie, in: Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der Königl. Sächs. Bergakademie zu Freiberg am 30. Juli 1866, S. 58–60.

Bergwerkseigentums) oder das Bergregal und seine Bedeutung für den Besitz, den Erwerb und die Ausübung der Bergbaurechte. Beide Schriften weisen ihn nicht nur als ausgezeichneten Kenner des deutschen und sächsischen Bergrechts aus, sondern auch als den ersten Bergrechtler, der erkannte und darüber veröffentlichte, dass Inhalt und Systematik der bisherigen Bergrechtslehre nicht mehr zeitgemäß waren. Darin eingeschlossen war sein Bemühen, die Isolation des Bergrechts von den Fortschritten des allgemeinen deutschen Privat- und Staatsrechts zu überwinden.

Zu Kreßners Zeit waren infolge der nach wie vor bestehenden staatlichen Oberaufsicht der Bergbehörden über die Grubenwirtschaft der Handlungsfreiheit des privaten Unternehmertums im sächsischen Bergbau – trotz der mit dem Regalbergbaugesetz von 1851 bereits eingetretenen Liberalisierung – Schranken gesetzt, die es zu überwinden galt. Für Kreßner war es deshalb erforderlich, die Rechtssituation der privaten Kapitalgeber (Gewerken) zu stärken und damit das Bergwerkseigentum – und nicht mehr das Bergregal – zur „Kardinalfrage“ in den Vordergrund der Bergrechtslehre zu rücken. In seiner Bergrechtslehre dominiert das Bergprivatrecht und nicht das Bergstaatsrecht. Gleichzeitig wollte er daran festhalten, dass die unter der Bergregalität entstandene eigentumsrechtliche Trennung von bestimmten mineralischen Rohstoffen (in Sachsen vor allem die Metalle) vom Grundeigentum erhalten blieb. Kreßner verfocht den Standpunkt der „Ebenbürtigkeit“ des Bergwerkseigentums gegenüber dem Grundeigentum. Er befürwortete aber gleichzeitig die Expropriation der Grundeigentümer, sobald sie für die Gewinnung der Mineralien erforderlich wurde.

Kreßner griff auch in Auseinandersetzungen zu Detailfragen im Bergrecht der Fünfziger- und Sechzigerjahre des 19. Jahrhunderts ein, so in seinen Aufsätzen in den Jahren 1860 bis 1863 in der von den bedeutenden preußischen Bergrechtlern Hermann Brassert und Heinrich von Achenbach ab 1860 herausgegebenen Zeitschrift für Bergrecht. Nicht immer nahm er darin fortschrittliche Rechtspositionen ein. Konservativ blieb er mit seiner Ansicht, dass in Sachsen die Stein- und die Braunkohle ein Ausfluss des Grundeigentums bleiben sollten.

Paul Martin Kreßner zwang Krankheit bereits 1872 in den Ruhestand. Er starb am 12. Mai 1899 in Dresden.

Professor Dr. Richard Hunger zum Gedenken anlässlich seines 60. Todestags

Rainer Vulpius

Richard Hunger wirkte vom 1. April 1950 bis zu seinem plötzlichen Tod am 1. Mai 1957 am damaligen Institut für Brennstoffgeologie der Bergakademie Freiberg. In dieser vergleichsweise kurzen Zeit hat er der Freiburger Kohlengeologie nachhaltige wissenschaftliche Impulse vermittelt, die von seinen Schülern weitergetragen und zu beachtlichen Ergebnissen mit hoher Praxisreife geführt worden sind.¹

Seine Tätigkeit an der Bergakademie fällt in eine Zeit, in der im Osten Deutschlands um die umfassende Nutzung der hier vorhandenen Braunkohlenressourcen gerungen wird. Erinnerung sei daran, dass es 1952 erstmals in Lauchhammer gelingt, einen hüttenfähigen Braunkohlen-Hochtemperatur-Koks (BHT-Koks) nach dem Verfahren von Rammler & Bilkenroth zu erzeugen. 1955 fällt der Entscheid zum Aufbau des Braunkohlenveredlungskombinats Schwarze Pumpe. Damit entwickelt sich die wissenschaftliche Suche nach den kohlen genetischen und rohstofflichen Einflussfaktoren auf die Qualität der Veredlungsprodukte zu einem entscheidenden Arbeitsfeld der Freiburger Brennstoffgeologie.

Richard Walter Hunger wird am 28. September 1911 in Halle/Saale geboren. Von 1918 bis 1932 besucht er hier die Mittel- und Oberrealschule, die er mit dem Abitur abschließt. Es folgt ein Studium der Geologie und Botanik an den Universitäten Halle und München. 1938 promoviert er in Halle mit einer Dissertation zur „Biostratonomie und Paläobotanik der Blättertonvorkommen des eozänen Humodils des Zeit-Weißenfelder Reviers“ bei seinem akademischen Lehrer Professor Dr. J. Weigelt (1880–1948), der sich in den 1930er Jahren um die wissenschaftliche Bearbeitung der Fossilfunde aus dem Tertiär des Geiseltals sehr verdient gemacht hat. Nachfolgend ist Dr. Hunger kurzzeitig als Assistent beim Halleschen Verband zur Erforschung der Mitteldeutschen Bodenschätze tätig. Noch 1938 nimmt er eine Assistentenstelle am Museum für Mitteldeutsche Erdgeschichte und Geiseltal-Sammlung, dem späteren Geiseltalmuseum in seiner Heimatstadt Halle an. Er ist aktiv an den Ausgrabungen

¹ Weiteres zu Richard Hunger siehe Heft 8 der „Zeitschrift der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg“ (Jg. 2001)



Prof. Dr. sc. Richard Hunger (Mitte der 1950er-Jahre)

der fossilen Faunen im Geiseltal beteiligt.

Die Kriegsjahre ab Februar 1940 bis 1945 unterbrechen diese Arbeiten. Er wird zunächst bei einer Pioniereinheit in Weißenfels eingesetzt und ab 1941 in den wehrgeologischen Dienst übernommen.

Unmittelbar nach Kriegsende kehrt Hunger nach Halle an das Museum für Erdgeschichte (Geiseltalmuseum) zurück und bekommt dessen Leitung übertragen. Dank seiner unermüdlichen Arbeit kann das Geiseltalmuseum bereits am 9. Dezember 1945 wieder eröffnet werden. Ab 1949 wird die Ausgrabungstätigkeit im Geiseltal erneut aufgenommen. Gleichzeitig arbeitet Richard Hunger für die Museen in Wolmirstedt, Merseburg, Freyburg (Unstrut), Halberstadt und Oschersleben, und er engagiert sich durch Vortragstätigkeit im damaligen Kulturbund sowie in der Volkshochschule, mit der er zur Popularisierung geologischen Fachwissens beiträgt.

So kommt es, dass die Fakultät für Naturwissenschaften der Bergakademie Freiberg auf die Arbeiten von Dr. Richard Hunger aufmerksam wird und sich um seinen Einsatz am Institut für Brennstoffgeologie der Bergakademie bemüht, dessen fachliche Leitung seit dem Tod von Prof. Dr. Karl-Alfons Jurasky (1945) vakant ist. Seine Einstellung als wissenschaftlicher Assistent am damaligen Institut für Brennstoffgeologie erfolgt zum 1. April

1950. Ab Sommersemester 1950 erhält er den Lehrauftrag für „Geologie und Petrographie der fossilen Brennstoffe“. Er beginnt sofort mit dem Aufbau eines systematischen brennstoffgeologischen Lehrprofils. Schon im Wintersemester 1950/51 bietet er für Geologen, Bergleute und weitere Fachrichtungen die Vorlesung „Allgemeine Kohlengeologie“ und ein „Kohlenpetrographisches Praktikum“ an. Im Sommersemester 1951 wird die Vorlesung „Lagerstätten der Kohle“ neu ins Programm aufgenommen. In den Folgesemestern schließen sich Vorlesungen und Praktika zur „Botanik“ und „Paläobotanik“ an. Im Februar 1951 folgt die Ernennung zum wissenschaftlichen Oberassistenten. Zum 1. März 1952 wird er mit der Wahrnehmung einer Professur mit Lehrauftrag für Brennstoffgeologie beauftragt. Im April 1953 habilitiert er sich mit einer Arbeit zum Thema „Mikrobotanisch-stratigraphische Untersuchungen der Braunkohlen der südlichen Oberlausitz und die Pollenanalyse als Mittel zur Deutung der Flözgenese“. Zum Juni 1953 erfolgen die Ernennung zum Professor mit

Lehrstuhl für Brennstoffgeologie und die Übertragung der Funktion des Direktors des Instituts für Brennstoffgeologie der Bergakademie Freiberg. Die von Hunger, seinen Mitarbeitern und Assistenten angebotenen Lehrveranstaltungen zur Brennstoffgeologie werden von den Studenten der Fachrichtung Geologie, aber auch von denen der Studienrichtungen Tiefbaukunde, Tagebaukunde, Markscheidewesen, Brikettierung, Gasfach und Geophysik belegt. Es sei daran erinnert, dass das Institut damals seinen Sitz im Westflügel von Schloss Freudenstein hatte.

Die seit 1950 unter seiner Leitung aufgenommenen Forschungsarbeiten „Zur Stratigraphie der Braunkohle auf Grund pollenanalytischer Untersuchungen ...“ werden ab 1955 auf „Untersuchungen zur Genese der Kohlen“ erweitert. Es erfolgt die verstärkte Hinwendung zur Verknüpfung paläobotanischer Merkmale mit den wichtigsten rohstofftechnologischen Kennwerten der Braunkohlen. Wie Zeitzeugen und Schüler Hungers berichtet haben, wird diese Entwicklung maßgeblich gefördert durch die engen Arbeitskontakte,

die sich in dieser Zeit zwischen dem Naturwissenschaftler Richard Hunger und dem Techniker und Kohleveredler Erich Rammler entwickeln. 1956, mit der Gründung des Deutschen Brennstoffinstituts Freiberg (DBI), wird Prof. Hunger auf Empfehlung von Prof. Rammler – zusätzlich zu seinen Aufgaben als Hochschullehrer an der Bergakademie Freiberg – zum Leiter der Abteilung Brennstoffgeologie des DBI berufen. Auf diese Weise wird in jenen Jahren von der Freiburger Kohlengeologie das wissenschaftliche Fundament für das Fachgebiet der Angewandten Braunkohlenpetrologie gelegt.

Am 1. Mai 1957 setzt ein Herzinfarkt dem engagierten Schaffen von Professor Dr. Richard Hunger ein jähes Ende.

Auf dem Fundament, das er geschaffen hat, haben viele seiner Schüler und Fachkollegen der nachfolgenden Berufsgenerationen ein wissenschaftlich solides und praxisorientiertes Wissensgebäude errichtet, das sich bis heute zu einer unverzichtbaren Stütze bei der Beherrschung von Rohstoff und Lagerstätte im Braunkohlenbergbau entwickelt hat.

Werner Gimm 1917–1977 zum Gedenken anlässlich seines 100. Geburtstags

Götz P. Rosetz, Armin Krauß

Vor 40 Jahren, am 20. März 1977, feierte Prof. Werner Gimm seinen 60. Geburtstag. Er war überrascht und zugleich hochofret über die vielen Glückwünsche von international namhaften Fachkollegen aus Ost und West, von „seinen Schülern“ und von der Bergbauindustrie, allen voran seitens der Kaliindustrie. Mit großem Optimismus und voller Tatendrang schmiedete er seine Pläne für die nächsten Jahre.

Nur acht Monate später – am 17. Dezember 1977 – mussten wir Mitarbeiter seinen plötzlichen Tod beklagen. Wir verloren einen Chef, der uns gefordert, aber auch gefördert hat, der offen für den wissenschaftlichen Diskurs war und der sich in einer fröhlichen Runde wohlfühlte.

Werner Gimm war ein sehr heimat- und naturverbundener Mensch. Geboren und aufgewachsen in dem kleinen Ort Elgersburg bei Ilmenau inmitten des Thüringer Waldes, machte ihn sein Vater, ein



Prof. Werner Gimm

Lehrer und Hobbygeologe, frühzeitig mit der Natur seiner Heimat vertraut. Pflanzen, Tiere, aber vor allem Gesteine und Minerale interessierten ihn. Er entschloss sich im Jahr 1937, ein Studium an der Bergakademie in Freiberg aufzunehmen, das er durch die Einberufung zur Wehrmacht unterbrechen musste. Von einer schweren Verwundung genesen, setzte

er sein Studium fort und beendete es im Dezember 1944 mit dem Diplomabschluss.

Nach dem Krieg promovierte Werner Gimm 1948 bei dem bekannten Lagerstättenkundler und Geologen Prof. Friedrich Schumacher mit einer Arbeit über die magmatischen Lagerstätten des Thüringer Waldes, seiner Heimat. Bereits im August 1947 begann er seine Tätigkeit in der Kaliindustrie – zunächst als Grubensteiger, dann als Grubenbetriebsleiter im Kaliwerk

Sachsen-Weimar in Unterbreizbach und ab September 1951 als Technischer Direktor im Kaliwerk Bleicherode.

1954 nahm er einen Ruf zum Professor für Bergbaukunde an die Bergakademie Freiberg an. Sofort ging Prof. Gimm daran, das Studium des untertägigen Bergbaus zu reformieren, indem er neue Schwerpunkte setzte. Gleichberechtigt neben Lehrveranstaltungen zu technologischen Themen konzipierte er Vorlesungsreihen, wie bspw. zu Abbaufahren, zum Grubenausbau und zur Wetterlehre. In der Nachfolge von Prof. Spackeler führte er die Vorlesungen über die Gebirgsmechanik weiter fort und stellte die Querverbindung zu den übrigen Vorlesungen her. Den Studenten gab er für diese neuen Vorlesungen umfangreiches Material (Lichtpausen) und spezielle Lehrbriefe an die Hand. International bekannt gemacht hat ihn aber das Buch „Aufschluss und Abbau von Kali- und Steinsalzlagerstätten“, ein Standardwerk.

Verheerende Ereignisse im Kalibergbau in den Jahren 1953 und 1958 (Gasausbrüche und ein Gebirgsschlag) waren für Werner Gimm Anlass, sich mit diesen gebirgsmechanisch bedingten Erscheinungen intensiv zu befassen. Seine Forschungsschwerpunkte waren daher folgerichtig der Ankerabbau, Gebirgsschläge, Gasausbrüche, Abbaufahren und die

hydrologischen Gefährdungen für den Kalibergbau sowie Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Geomechanik, wobei die Zusammenarbeit mit den Betrieben der Bergbauindustrie und den einschlägigen wissenschaftlichen Institutionen im In- und Ausland für ihn einen hohen Stellenwert besaß. Im Jahr 1961 übernahm er die Leitung der Arbeitsstelle für Geomechanik der Deutschen Akademie der Wissenschaften und baute diese zu einer interdisziplinär ausgerichteten Forschungsstelle aus. Nach der Hochschulreform in der DDR konnte er diese Struktureinheit in das Bergbauinstitut der Bergakademie Freiberg eingliedern. Mit dem wissenschaftlichen Personal seines

nun als „Institut für Bergbau und Geomechanik“ firmierenden Instituts gelang es Prof. Gimm im Zuge der Hochschulreform, eine neue Fachrichtung – die der Geotechnik – zu gründen. Der erste Direktor der Sektion Geotechnik und Bergbau war folgerichtig auch Prof. Gimm. Es erfüllte ihn mit Stolz, als er sah, wie gut sich diese Fachrichtung entwickelte.

Über 23 Jahre lang hat Prof. Gimm mit großem Engagement als bei den Studenten beliebter und geachteter Hochschullehrer gewirkt. Besonders wichtig war es ihm, die Zusammenhänge zwischen Geologie, Gebirgsmechanik und der Tätigkeit des Bergmanns zu vermitteln. Auf Exkursionen

wies er die Studenten auch immer wieder auf die Naturschönheiten Thüringens hin und machte sie beim Bierabend mit der Kultur seiner Heimat vertraut.

Seine umfangreichen Forschungsleistungen wurden international anerkannt und national, in der damaligen DDR, durch Ehrungen wie Verdienter Bergmann, Nationalpreis und die Verleihung der Humboldt-Medaille gewürdigt.

Der 100. Geburtstag von Prof. Werner Gimm ist uns Anlass, an diesen für den Bergbau und besonders für die Geotechnik bedeutenden Hochschullehrer und Forscher der Bergakademie Freiberg zu erinnern.

Wilhelm August Lampadius zum Gedenken anlässlich seines 175. Todestags

Gerd Grabow

Mit der Errichtung der ersten Gasbereitungsanlagen auf dem europäischen Kontinent vor 220 Jahren hat W. A. Lampadius den Grundstein für die industrielle Gaserzeugung und -versorgung gelegt. Durch seine Laboruntersuchungen und die daraus gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnissen wurde Freiberg zum Ausgangspunkt und Ursprung der deutschen Gaswirtschaft.



Wilhelm August Lampadius

W. A. Lampadius wurde am 8. August 1772 im braunschweigischen Dorf Hehlen als Sohn des dortigen Pfarrers geboren. Er trat 1785 als Lehrling in eine Apotheke in Göttingen ein, wo er sich intensiv mit naturwissenschaftlichen Experimenten beschäftigte und bis 1791 an der dortigen Universität studierte. Seine Lehrer erkannten bald die starke Begabung des jungen Mannes und förderten ihn. Seinen Lebensunterhalt erwarb er sich hauptsächlich durch das Erteilen von Privatunterricht. Auf Veranlassung von Prof. Abraham Gottlob Werner und auf Empfehlungen Prof. Klaproths in Berlin sowie des Grafen Sternberg wurde er, 22-jährig, zur Unterstützung Professor Gellerts an die Bergakademie Freiberg beordert und am 1. Juni 1794 zum außerordentlichen Professor für Metallurgische Chemie sowie zum Assessor beim Oberhüttenamt ernannt. Nach dem Tode Gellerts wurde er am 11. Juni 1795 zum ordentlichen Professor berufen.

Ein unvergängliches Denkmal hat sich Lampadius mit der Errichtung eines chemisch-metallurgischen Hochschullaboratoriums geschaffen. Seinen Vorlesungen auf den Gebieten Chemie, Probierkunde und Hüttenkunde fügte er – wohl ebenfalls als weithin erster Hochschullehrer – eine solche über Technische Chemie hinzu. Auch über Physik, Alaunwesen, Blaufarben-

chemie und Atmosphärologie hat er zeitweise gelesen. Am bekanntesten geworden ist er durch die Entdeckung und Darstellung des Schwefelkohlenstoffs sowie durch seine Verdienste um die Einführung der Gasbeleuchtung im Jahr 1796.

Lampadius war ein Mann der Wissenschaft, wie es nur wenige gibt: ein vielseitiger Gelehrter und scharfsinniger Forscher, der sich auf diversen Gebieten der organischen und anorganischen Chemie erfolgreich betätigte – und dazu ein außerordentlich produktiver Autor. Das Verzeichnis seiner Veröffentlichungen umfasst 290 Titel, darunter eine größere Anzahl zum Teil mehrbändiger Bücher. Um anzudeuten, in wie vielfältiger Weise er sich betätigte, seien hier kurz einige seiner Arbeitsgebiete aufgelistet: Brennstoffuntersuchungen; Verwertung von Torflagerstätten, Köhlerei, Kokerei; Untersuchung von Quell- und Heilwassern;

Kunstdünger; Verarbeitung von Kakao- und Firnissen, Fischtran, plastischen Massen und Bauwerksanstrichen; Prüfung von Dachziegeln und Herstellung geteilter Pappen; Behandlung erfrorener Kartoffeln; Herstellung von Zucker aus Rüben und aus Kartoffelstärke; Sirup, Obstwein, Arrak, Kastanienkaffee; Chemikalien zur Verarbeitung von Wolle ...

In seiner Person vereinten sich große Herzensgüte mit vorbildlicher Hilfsbereitschaft und Bescheidenheit – und er wurde von allen, die ihn kannten, als ein guter, edler Mensch geschätzt und verehrt.

Lampadius' Wirken war für die Entwicklung der modernen Chemie und deren Umsetzung in die Praxis von großer Bedeutung. Seine Leistungen machten ihn in vielen Bereichen zu einem wissenschaftlichen und zugleich auch praktischen Pionier. Er war der erste Wissenschaftler in Deutschland, der den Versuch unternahm, exakte Aussagen über die Zusammensetzung chemischer Verbindungen zu treffen.

W. A. Lampadius war liberal eingestellt, musisch interessiert; er gründete in Freiberg einen „Ästhetischen Verein“. Die ihm nachfolgende Entwicklung der Gastechnik wurde durch die Forschungen an der Bergakademie stets wesentlich befruchtet. Heute ist die TU Bergakademie Freiberg die einzige deutsche Hochschule, an der Gastechnik gelehrt wird.

Anfang 1842 erkrankte Lampadius an einer Lungenentzündung, der er am 13. April 1842 im 70. Lebensjahr erlag. Sein Grab befindet sich auf dem Donatsfriedhof in Freiberg. Zu Ehren von W. A. Lampadius wurden auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg ein Gebäudekomplex und eine Straße nach dieser Persönlichkeit benannt.

Der erste Chinese kam zehn Jahre früher – und war (k)ein Japaner

Haina Chen-Konietzky, Birgit Seidel-Bachmann, Roland Volkmer

Im Jahr 1878 kam der erste chinesische Student an die Bergakademie, wurde aber als Japaner registriert. In den Statistiken hieß es daher bislang, der erste chinesische Student sei (erst) 1888 gekommen. Wie kam es zu diesem Missverständnis?

Freundlich lächelnd betrat am 27. April 1878 ein junger Mann die Amtsstube, um sich zum Studium an der Bergakademie anzumelden. Noch bevor er seinen Namen nennen und weitere persönliche Angaben machen konnte, wurde er höflich begrüßt. Wieder so ein netter Japaner, mag Bergakademie sekretär Carl Friedrich Albert gedacht haben, denn seit fünf Jahren kamen nun schon japanische Studenten nach Freiberg, und in den nächsten Jahren sollten ihnen noch zahlreiche weitere folgen. Daher gab es keinen Grund, Elijam Thien Foh Laisun nicht auch als solchen zu betrachten und zu registrieren.

Schnell war – dank der Hilfe des zuvorkommenden Studenten – sein komplizierter Name mit lateinischen Buchstaben notiert: Elijam Thien Foh Laisun. Welche Teile von diesem Namen der Vorname, welche der Nachname waren oder warum der Student gleichzeitig auch noch andere Namen hatte (Elyam Thien Foh Laisun; Tseng Poo; Zeng Zimu; Zeng Zi Mu oder Zeng Pu), wusste der Beamte nicht – musste das aber wohl auch nicht wissen und verstehen. Und obwohl es klar zu sein schien, fragte er ordnungsgemäß noch nach der Nationalität: „Japanese?“ (wie es in den Akten heißt). Daraufhin antwortete Elijam Thien Foh Laisun freundlich lächelnd „Chinese“, und der kurz vor seiner Pensionierung stehende Canzleirath Albert vermerkte im Matrikelbogen, da er auf seine Frage keinen Protest vernommen hatte, dass dieser Student aus Japan komme.

War das wirklich so, als Elijam Thien Foh Laisun im April 1878 in der Amtsstube stand und sich immatrikulieren lassen wollte? Oder war ihm das kleine Missverständnis, als Japaner immatrikuliert zu werden, ganz recht?!



Elijam Thien Foh Laisun

Ganz sicher hatte Laisun zu diesem Zeitpunkt keineswegs die Absicht, falsche Angaben zu seiner Person zu machen. Im „Bergakademiker-Verzeichnis“ der Stadt Freiberg ist er ordnungsgemäß erfasst; als Herkunftsland ist dort richtig „China“ angegeben. Aus seiner polizeilichen Anmeldung in Freiberg geht übrigens hervor, dass sein „Aufenthaltsmeldeschein“ bereits am 5. März 1878 ausgestellt worden war und dass er während seines Aufenthalts in Freiberg in der Heubnerstraße 11 (damals „Innenstadt Nr. 691“) wohnte.¹

Seine offizielle Inscriptio erfolgte etwas später, nämlich erst an jenem 27. April 1878, dem Sonnabend nach Ostern. Zeitgleich mit dem aus New York stammenden Studenten Josef McNulty wurde Elijam Thien Foh Laisun als japanischer Student immatrikuliert (Matrikelnummer 3013), besiegelt per Handschlag vom damaligen Direktor Hieronymus Theodor Richter. Die Inscriptionsgebühren in Höhe von 20 Mark haben beide, wie aus der Inscriptioakte hervorgeht, ordnungsgemäß beim Bergakademie sekretär bezahlt.

Das neue Studienjahr begann damals, wie heute, im Oktober; Laisun fing also bereits im Sommersemester mit seinem Studium an. Auch wenn er auf seinem Matrikelbogen und später in anderen ihn betreffenden Akten, im Studierendenverzeichnis der Festschrift anlässlich des 100. Jubiläums der Bergakademie 1866 sowie in Studentenstatistiken als Japaner geführt wird: Laisun war Chinese.

So kommt es, dass der erste chinesische Student laut bisheriger offizieller Statistik

¹ An dieser Stelle ein herzliches Dankeschön an Frau Annett Brodauf vom Freiburger Stadtarchiv für Ihre Unterstützung.

erst im Jahre 1888 immatrikuliert wurde. In der Tat war aber der erste chinesische Student in Gestalt von Elijam Thien Foh Laisun schon zehn Jahre früher nach Freiberg gekommen ...

Geboren wurde er am 4. Oktober 1854 in Shanghai als Sohn einer angesehenen Familie. Seine Mutter stammte aus Java. Sein Vater, Tseng Laisun, wurde in Singapur geboren. In der Familie wurde Englisch gesprochen; die sechs Kinder (drei Söhne und drei Töchter) wurden englischsprachig erzogen. Die Familie war damals in China sehr bekannt und leistete u. a. einen großen Beitrag zur Modernisierung des chinesischen Bildungswesens. In diese Zeit (1861–1895) fällt auch die erste Phase eines Modernisierungsprozesses in China, der als *Westernization movement* bezeichnet wird.

Der Vater, Tseng Laisun, wurde in diesem Zusammenhang als staatlicher Beamter im Rahmen eines Programms zur Ausbildung von chinesischen Jugendlichen auf amerikanischen Colleges eingesetzt. Dies führte dazu, dass die Familie ab 1872 mit der ersten Gruppe von 30 Studenten dieser „Bildungsmission“ in die USA reiste und in Springfield (Massachusetts) lebte. Dort ging Elijam Thien Foh Laisun auch zur Schule und absolvierte danach von 1874–1877 erfolgreich den Studiengang Civil Engineering an der Sheffield Scientific School at Yale.

Als er anschließend nach Freiberg kam, war er nicht nur weit von seiner Familie entfernt, sondern auch in einem für ihn bisher unbekanntem Land. Das hier war natürlich ein vollkommen neues, anderes Leben! Fleißig widmete er sich seinem Studium. Seinen Studienunterlagen kann man entnehmen, dass Laisun Unterricht bei so berühmten Professoren wie Ledebur, Weisbach und Winkler gehabt hat. Betrachtet man allerdings seine Notenlisten, ließen Fleiß und Lernfortschritt mit der Zeit deutlich nach; offensichtlich genoss er auch das Studentenleben – mit Folgen.

Elijam Thien Foh Laisun studierte von April 1878 bis März 1879 in Freiberg – also nicht sehr lange. Was war passiert?

Am 20. Februar 1879 begann, angestrebt durch den Tuschuhmacher Moritz Louis Burghardt aus Löbnitz, eine gerichtliche Auseinandersetzung mit Laisun. Burghardt hatte eine „noch unmündige“ Tochter namens Auguste Bertha, die wiederum kürzlich einem Sohn, Carl Anton, das Leben geschenkt hatte. Allerdings unehelich, was allein zur damaligen Zeit schon schlimm genug für die junge Mutter

gewesen sein wird. Der Großvater Moritz Louis Burghardt fungierte deshalb als dessen „Altersvormund“. Als solcher zeigte er nun dem Königlichen Gerichtsamt im Bezirksgericht Freiberg an, „daß der auf hiesiger Academie studierende Japanese Elyam Thien Foh Laisum“ der Vater des am 20. Januar 1879 geborenen unehehlichen Kindes seiner Tochter sei. Zudem bestehe die Gefahr, dass „Laisum“ Freiberg verlasse; „jedenfalls könne dies jeden Augenblick geschehen und dann seien die gedachten Forderungen aufs Höchste gefährdet“. Moritz Louis Burghardt forderte deshalb gerichtlich ein, „die bei hiesiger Academie niedergelegten Legitimationspapiere des Akademikers Japanesen Elyam Thien Foh Laisum hier bis auf Weiteres innezubehalten“.

Bergakademiedirektor Theodor Richter teilte Laisun am 21. Februar 1879 mit, dass sein bei Studienbeginn hier deponiertes Diplom (gemeint ist sein Abschlusszeugnis von der Sheffield Scientific School at Yale) vom Gericht beschlagnahmt worden sei.

Am 3. April 1879 zog Burghardt seine Klage jedoch zurück. Damit hatte sich die gerichtliche Verfügung bezüglich der Einbehaltung des Diploms erledigt. Zu diesem Zeitpunkt war der vermeintliche Vater, Elijam Thien Foh Laisun, bereits aus Freiberg abgereist. „Ist ohne sich abzumelden (im) März 1879 abgereist“, heißt es auf der ersten Seite seines Matrikelbogens.

Auf der gleichen Seite kann man außerdem einer späteren Bemerkung des BergakademieSekretärs E. Kunze entnehmen, dass sein Diplom erst am 7. Oktober 1881 einem Rechtsanwalt ausgehändigt wurde. Dieser war offenbar von Laisun damit beauftragt worden, denn er konnte eine Korrespondenz vorlegen, aufgrund derer man ihm das von Laisun zu dessen Studienbeginn hinterlegte (amerikanische) Diplom übergab. In den Akten findet sich auch ein Dankschreiben des Anwalts an die Direktion der Königlichen Bergakademie zu Freiberg vom 8. Oktober 1881.

Auch ohne ein richtiges Abgangszeugnis aus Freiberg fand Laisun in seiner eigentlichen Heimat China eine Anstellung als Bergbau-Ingenieur. Zuletzt war er im Kupferbergbau in der Ostmongolei tätig. Er war nicht verheiratet und hatte – offiziell – auch keine Kinder.

Vielleicht hätte Elijam Thien Foh Laisun eines Tages alles noch persönlich aufgeklärt. Er starb jedoch unerwartet und plötzlich am 7. Dezember 1889 während einer Dienstreise nach Hongkong.

Zum Tod von Dr.-Ing. Helmut Routschek (1934–2016)

Peter Hauschild

Bereits am 7. April 2016 verstarb Dr.-Ing. Helmut Routschek. Mit ihm verliert der Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg ein langjähriges, prominentes Mitglied.

Helmut Routschek wurde am 25. September 1934 im tschechoslowakischen Zarch geboren. Als Folge des Zweiten Weltkriegs musste seine Familie die Heimat verlassen und nach Mühlhausen in Thüringen übersiedeln, wo er sein Abitur ablegte. Ab 1954 begann er ein Studium an der Bergakademie Freiberg in der Fachrichtung Markscheidewesen und Bergschadenkunde, das er 1959 erfolgreich als Diplomingenieur abschloss. 1962 promovierte er an seiner Alma Mater zum Dr.-Ing. mit einer Arbeit über ein Universaldarstellungsgesetz und seine Anwendung im Bergbau. Postgradual absolvierte er 1971 eine Fortbildung zum Fachingenieur für Datenverarbeitung. Seine umfangreichen Kenntnisse auf diesen Wissenschaftsgebieten konnte er in seinem vielseitigen Berufsleben erfolgreich anwenden. So arbeitete er lange Zeit als konzessionierter Markscheider, als Fachmann für die Automatisierung und als Experte für Untergrundgasspeicherung im Bergbau sowie in der Energiewirtschaft, u. a. im VEB Gaskombinat „Schwarze Pumpe“. Später war er auch in der Wohnungs- und Bauwirtschaft sowie nach 1990 in der Bauverwaltung des Landes Brandenburg leitend tätig. Neben seinen beruflichen Aufgaben engagierte er sich immer gesellschafts- und kulturpolitisch, so zum Beispiel in der NDPD als Bezirksstabsabgeordneter, im Schriftstellerverband des Landes Brandenburg oder im Friedrich-Bödecker-Kreis zur Leseförderung und Literaturvermittlung.

Jenseits seiner fachlichen und beruflichen Leistungen war und ist Helmut Routschek bis heute noch Millionen Menschen unter seinem Pseudonym Alexander Kröger bekannt. Unter diesem Namen verfasste er in vier Jahrzehnten eine Vielzahl von wissenschaftlich-phantastischen Romanen und Geschichten. Mit Büchern, wie „Sieben fielen vom Himmel“, „Expedition Mikro“ oder „Vermisst am Rio Tefe“ entführte er die Leser in fantasievolle Abenteuer mit außerirdischen Besuchern und futuristischen Lebenswelten, die



© A. Routschek

bei einem breiten Publikum begeisterte Anhänger fanden. Daher wurden seine Bücher nicht nur mehrfach in andere Sprachen übersetzt, sondern sind auch bis heute bei zahlreichen Science-Fiction-Fans beliebt.

Seine fiktiven Geschichten gewannen nicht zuletzt durch einen gewissen Realismus an besonderer Qualität, was im wissenschaftlichen und beruflichen Hintergrund des Autors begründet war. Große Beachtung fand ebenso sein 1996, diesmal unter eigenem Namen, verfasstes Buch „Das Sudelfaß – eine gewöhnliche Stasiakte“. In diesem Buch beschrieb Helmut Routschek anhand seiner erhalten gebliebenen Stasivorgangsakte den Arbeits- und Lebensalltag in der DDR – mit der allgegenwärtigen Überwachung durch das Ministerium für Staatssicherheit, deren Banalität und die mit ihr stets einhergehenden Gefahren.

Auch in seinen späteren Lebensjahren war Helmut Routschek als Schriftsteller weiterhin sehr aktiv. Er verfasste neue Geschichten, arbeitete mit an einer Gesamtausgabe seiner Werke und unterstützte für ihn wichtige Anliegen mit öffentlichen Auftritten. Zudem widmete er sich einem weiteren Hobby, der Musik.

Sein Tod hat eine große Lücke gerissen. Helmut Routschek wird nicht nur im Kreis seiner Familie schmerzlich fehlen. Ebenso werden ihn unzählige, begeisterte Leser seiner vielen Geschichten vermissen.

Neue Professorin und Professoren berufen

Dr. Stefan Sandfeld zum Professor für Mikromechanische Materialmodellierung an der Fakultät 4 zum 01.01.2017 (ehemals Jun.-Prof. S. Groh)

Dr.-Ing. Henning Zeidler zum Professor für Generative Fertigungstechnik an der Fakultät 4 zum 01.06.2017 (Prof. Hentschel)

PD Dr. phil. Christoph Butscher zum Professor für Ingenieurgeologie und Umweltgeotechnik an der Fakultät 3 zum 01.08.2017

Jun.-Prof. Dr. rer. nat. Gero Frisch zum Professor für Anorganische Chemie an der Fakultät 2 zum 01.09.2017 (Prof. Voigt)

Dr.-Ing. Ulrich Prah zum Professor für Umformtechnik an der Fakultät 5 zum 01.10.2017 (Prof. Kawalla)

Dr. rer. nat. Thomas Wotte zum Professor für Paläontologie und Stratigraphie an der Fakultät 3 zum 01.10.2017 (Prof. Schneider)

Prof. Dr. Carla Vogt zur Professorin für Analytische Chemie an der Fakultät 2 zum 01.11.2017 (Prof. Otto)

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

60. Geburtstag

- Dipl.-Chem. Börner, Gerd, Bad Köstritz
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Ehrlich, Hermann, Goppeln
- Dipl.-Ing. Fleischer, Bernd, Schönebeck
- Dipl.-Ing. Huhle, Hartmut, Seegebiet Mansfelder Land
- Prof. Dr. Matschullat, Jörg, Freiberg
- Dipl.-Geol. Möller-Schröter, Andrea, Leipzig
- Dr.-Ing. Mörters, Ulrich, Freiberg
- Prof. Dr. Ring, Gerhard, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. Schlömann, Michael, Freiberg
- Dr.-Ing. Seibt, Peter, Neubrandenburg
- Prof. Dr. Sonntag, Martin, Freiberg
- Herr Tröndle, Johannes, Krauchthal

65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. (FH) Bernig, Joachim, Markkleeberg
- Dipl.-Ing. (FH) Büttner, Peter, Dresden
- Prof. Dr. Enke, Margit, Leipzig
- Prof. Dr. Grosse, Diana, Dresden
- Dipl.-Geol. Hunstock, Frank, Habichtswald
- Prof. Dr.-Ing. Kawalla, Rudolf, Bobritzsch
- Dipl.-Ing. Mehner, Jonny, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Meyer, Bernd, Freiberg
- Dr. rer. nat. Pöschmann, Ulrich, Freiberg
- Dipl.-Geol. Rank, Karin, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Rauh, Reinhard, Dresden
- Dr. sc. oec. Rieß, Christian, Neuruppin
- Dr. rer. nat. Weiß, Berthold, Suhle

70. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. pol. habil. Brezinski, Horst, Oberschöna
- Prof. Dr.-Ing. Fahning, Egon, Freiberg
- Dipl.-Ing. Fahr, Walter, Riesa
- Dr.-Ing. Friederici, Carmen, Freiberg
- Dipl.-Ing. Höppner, Armin, Weißwasser
- Dr. sc. phil. Jentsch, Frieder, Chemnitz
- Dr.-Ing. May, Peter, Pirna
- Dipl.-Ing. oec. Moser, Hans-Christoph, Freiberg
- Dipl.-Ing. Stauch, Thomas, Leipzig
- Dipl.-Chem. Szabados, Dagmar, Halle
- Dr. rer. nat. Tzscharschuch, Dietmar, Freiberg
- Dipl.-Ing. ök. Wiegandt, Rainer, Eberswalde

75. Geburtstag

- Dr. Bandlowa, Tatjana, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. i. R. Bast, Jürgen, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Bohmhammel, Klaus, Freiberg
- Dr. rer. nat. Czolbe, Peter, Freiberg

- Dr.-Ing. Flade, Tilo, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Freiesleben, Hartwig, Dresden
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Freyer, Bernd, Gera
- Dr.-Ing. Friedel, Hans-Georg, Freiberg
- Dipl.-Ing. Hammer, Gerd, Magdeburg
- Dr. Heinze, Frank, Königs-Wusterhausen
- Prof. Dr.-Ing. Köckritz, Volker, Freiberg
- Dr. rer. nat. Kunert, Hannes, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Lodl, Wilhelm, Freiberg
- Dr. habil. Neuhofer, Richard, Petersberg
- Dipl.-Ing. Nitzsche, Wolfgang, Heidenau
- Herr Oehme, Rolf, Freiberg
- Dipl.-Chem. Preißler, Bernd, Cavertitz
- Prof. Dr.-Ing. Schneider, Wolf-Dieter, Essen
- Dipl.-Ing. Scholz, Eberhard, Staßfurt
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schüler, Wolfgang, Chemnitz
- Herr Seerig, Dieter, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Tittel, Peter, Berlin
- Prof. i. R. Walter, Gerd, Dresden

80. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Albrecht, Fritz, Leipzig
- Dr.-Ing. Daenecke, Rudolf, Bad Schlema
- Dr.-Ing. Denke, Christoph, Brand-Erbisdorf
- Dr.-Ing. Dombrowe, Helfried, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Döring, Karl, Eisenhüttenstadt
- Dr.-Ing. Dressel, Siegfried, Wilkau-Haßlau
- Dipl.-Ing. Dunger, Egon, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Eger, Wolfgang, Langenfeld/Rheinland
- Dipl.-Ing. Franke, Hartmut, Bobritzsch
- Dr. med. habil. Freiesleben, Heiner, Lübeck
- Prof. Dr.-Ing. Gatzweiler, Rimbart, Saarbrücken
- Herr Hachenberger, Johannes, Hannover
- Dr. Hein, Stefan, Freiberg
- Dipl.-Ing. Jung, Wolfgang, Lauchhammer
- Dr.-Ing. Lawrenz, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Liersch, Wolfgang, Cottbus
- Dr.-Ing. habil. Lietzmann, Klaus-Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Nauke, Herbert, Magdeburg
- Frau Roth, Gerlinde, Leipzig
- Dr. Rütger, Gert, Freiberg
- Dr.-Ing. Schlauderer, Henry, Dippoldiswalde
- Dipl.-Geologe Schmitz, Wolfgang, Hoyerswerda
- Prof. Dr. rer. oec. habil. Seidelmann, Peter, Freiberg
- Dr. rer. oec. Stürzebecher, Klaus, Freiberg
- Dipl.-Ing. Teubner, Werner, Merseburg
- Dr.-Ing. Wieschebrink, Günter, Markranstädt
- Dr. rer. nat. Zänker, Günter, Wolmirstedt

81. Geburtstag

- Dr.-Ing. habil. Altmann, Walter, Leipzig
- Dr. Bechstein, Dietrich, Delitzsch
- Prof. em. Dr.-Ing. Fenk, Jürgen, Dresden
- Dipl.-Ing. Günther, Erdmann, Schönwalde
- Frau Hegenberg, Brigitte, Freiberg
- Dipl.-Ing. Irmer, Dieter, Chemnitz
- Dr.-Ing. Jagnow, Hans-Joachim, Dortmund
- Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Kasig, Werner, Aachen
- Assessor d. Bergfachs Kegel, Karl-Ernst, Köln (Riehl)
- Dr. h. c. Krüger, Erika, München
- Prof. Dr.-Ing. Meyer, Lutz, Voerde
- Dr.-Ing. Modde, Peter, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. em. Müller, Rudhard-Klaus, Brandis
- Prof. Dr.-Ing. habil. Oehlstöter, Gerhard, Magdeburg
- Dr. oec. Piprek, Hans-Jürgen, Berlin
- Dipl.-Ing. Redlich, Hans, Freiberg
- Dr.-Ing. Rühlicke, Dietrich, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Schlegel, Ernst, Freiberg
- Dr.-Ing. Schmidt, Joachim, Halsbrücke
- Prof. i. R. Dr.-Ing. Schulle, Wolfgang, Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Siegert, Wolfgang, Leipzig
- Dipl.-Ing. Skolik, Horst, Schöneiche b. Berlin
- Dipl.-Ing. Tröger, Hans-Jürgen, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Unger, Peter, Markkleeberg
- Assessor des Bergfachs Wahnschaffe, Horst, Essen
- Prof. Dr.-Ing. habil. i. R. Wiehe, Jürgen, Freiberg
- Dr.-Ing. Zschoke, Klaus, Freiberg

82. 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
- Dr.-Ing. Rehling, Peter, Aachen
- Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg

83. Geburtstag

- Prof. Buhrig, Eberhard, Dresden
- Dr.-Ing. Ebel, Klaus, Ingersleben
- Dipl.-Ing. Gottschalk, Jürgen, Hamburg
- Dipl.-Ing. oec. Hofmann, Johannes, 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
- Dipl.-Ing. Nicolai, Thomas, Dresden
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Oelsner, Christian, Freiberg
- Dipl.-Ing. Pysarczuk, Theodor, Bannewitz
- 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

84. Geburtstag

- Dipl.-Geophys. Albin, Siegfried, Leipzig
- 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

85. 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
- Dr.-Ing. Nitsche, Joachim, Düsseldorf
- Dipl.-Ing. Schölzel, Helmut, Muldestausee
- Prof. Dr.-Ing. habil. Straßburger, Christian, Dinslaken

86. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Brand, Paul, Freiberg
- Dipl.-Ing. Denning, 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
- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Marx, Claus, Owingen
- Dipl.-Berging. Mertens, Volkmar, Essen-Steele
- Dr.-Ing. Pforr, Herbert, Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Schaef, Hans Jürgen, Dresden
- Dr.-Ing. Träger, Heiner, Büdingen
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera

87. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
- Prof. i. R. Dr. Franeck, Heinzjoachim, Dresden
- Prof. Dr. Heyne, Karl-Heinz, Leipzig
- 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. sc. techn. Uhlig, Dieter, Altenberg
- Prof. i. R. Dipl.-Geol. Voigt, Günter, Cottbus
- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

88. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Heeg, Klaus, Ravensburg
- Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
- Dipl.-Ing. Schubert, Wolfgang, Bad Elster
- Dipl.-Ing. Schulz, Lothar, Gotha

89. Geburtstag

- Dipl.-Ing. (FH) Günbler, Peter, Kempen
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
- Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. Steinhardt, Rolf, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Wild, Heinz Walter, Dinslaken

90. Geburtstag

- Herr Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Dipl.-Ing. Matthes, Günter, Luxembourg
- Dr. Ing. E. h. Rauhut, Franz Josef, Bottrop
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Martin, Berlin
- Prof. Dr. sc. techn. Schmidt, Reinhardt, Weimar

91. Geburtstag

- Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg
- Prof. Dr. sc. techn. Drs. h. c. Schubert, Heinrich, Freiberg

92. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
- Markscheider Dipl.-Ing. Hartnick, Dieter, Freiberg

93. Geburtstag

- Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

94. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erftstadt-Bliesheim

97. Geburtstag

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

Geburtstagsjubiläen begehen nach dem 1. Dezember 2017:

65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Beckert, Siegmund, Brandenburg
- Dr. Bock, Margot, Ilmenau

75. Geburtstag

- Herr Döll, Hanns-Jürgen, Schorfheide
- Prof. Dr.-Ing. Husemann, Klaus, Freiberg
- Ministerialrat Rahtgens, Albrecht, Diera-Zehren
- Frau Ulbricht, Trude, Freiberg

80. Geburtstag

- Dr.-Ing. Fröhling, Ernst-Peter, Kerpen

81. Geburtstag

- Frau Kutzer, Annerose, Windach
- Dipl.-Ing. Tobies, Alfred, Freiberg

82. Geburtstag

- Dr. Hildmann, Eckart, Fulda
- Dipl.-Ing. Ök. Richter, Heinz, Großschirma
- Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde

83. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Knissel, Walter, Bad Gandersheim

85. Geburtstag

- Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin

86. Geburtstag

- Dipl.-Geologe Waltemate, Günther, Eichwalde

88. Geburtstag

- Dr. rer. nat. Dipl.-Geophysiker Hiersemann, Lothar, Leipzig
- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig

89. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof

92. Geburtstag

- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Köln

Herzliche Glückwünsche und Glückauf allen Jubilaren!

8. Lichtloch des Rothschönberger Stollns bei Halsbrücke, Aquarell, Peter Czolbe, 2010



Zum 70. Geburtstag – Prof. Horst Brezinski

Kollegen, Schüler, Freunde und Förderer der TU Bergakademie gratulieren Prof. Dr. rer. pol. habil. Horst Brezinski zum 70. Geburtstag und danken für nahezu 25 Jahre und noch immer andauernde engagierte Arbeit an unserer und für unsere Universität.

Es war keineswegs vorhersehbar, dass es den „Kieler Jung“ Horst Brezinski einmal nach Sachsen und an die Bergakademie Freiberg verschlagen sollte.

Am 15. November 1947 in Kiel geboren, erlebte Horst Brezinski seine Kindheit und Jugend sowie seine Schul- und Studienzeit in der Stadt an der Kieler Förde. Nach dem Abitur studierte er an den Universitäten Kiel und Göttingen Volkswirtschaftslehre und diplomierte 1973 zum Diplom-Volkswirt.

Die ersten Stationen seines wissenschaftlichen Werdegangs nach dem Studium waren die Universitäten Göttingen und Paderborn. An der Universität Paderborn promovierte er 1977 zum Dr. rer. pol., arbeitete als wissenschaftlicher Rat, Oberrat und Privatdozent für das Fachgebiet Wirtschaftspolitik und wurde 1992 zum Dr. rer. pol. habil. habilitiert. Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit waren bereits zu dieser Zeit Themen der Wirtschaftsordnung alternativer Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme, speziell zur internationalen Organisation und Planung im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW), zu Formen und Ursachen der Schattenwirtschaft und zu den in den 1980er-Jahren einsetzenden Transformationsprozessen in den mittel- und osteuropäischen Entwicklungsländern.

Diese spezielle wissenschaftliche Qualifikation und die nach der Wiedervereinigung Deutschlands erforderliche Neuausrichtung der wirtschaftswissenschaftlichen Ausbildung an den Universitäten und Hochschulen der DDR waren hervorragende Voraussetzungen für die Mitwirkung von Horst Brezinski an der Lösung der sich hieraus ergebenden Aufgaben. Horst Brezinski zog es aus dem Nordwesten in den sich im Umbruch befindlichen Südosten unseres Landes. Dass hierbei 1992 die Entscheidung für Freiberg fiel, war für die Bergakademie ein mehr als glücklicher Umstand.

Horst Brezinski wurde 1993 auf die Professur für Internationale Wirtschaftsbeziehungen an die damals in der Deutschen Universitätenlandschaft noch um



Prof. Horst Brezinski

Anerkennung ringende Bergakademie mit einer sich noch in Neugründung befindlichen Fakultät für Wirtschaftswissenschaften berufen. Die traditionell internationale Ausrichtung, die auch nach den gesellschaftlichen und wirtschaftspolitischen Entwicklungen in den Ländern des ehemaligen Ostblocks seit Ende der 1980er-Jahre andauernde Zusammenarbeit mit deren führenden Bergbauuniversitäten und das wissenschaftliche Profil der Bergakademie erweiterten und fokussierten das Arbeitsgebiet von Horst Brezinski. Im Zentrum der Betrachtung stehen seitdem die Transformationsprozesse in der Rohstoffwirtschaft dieser Länder.

Die Arbeit von Horst Brezinski fand und findet international eine hohe Wertschätzung. Ausdruck hierfür sind u. a. Gastprofessuren an den Universitäten Trento, Marne-la-Vallee und Paris XII. Nach dem Ausscheiden aus dem aktiven Hochschuldienst an der Bergakademie Freiberg wurde Horst Brezinski 2013 zum Professor für Volkswirtschaftslehre an die Wirtschaftsuniversität Poznan berufen. Teils umfangreiche Lehraufträge erfüllte und erfüllt er auch heute noch an der Stockholm School of Economics in Riga und an der Zeppelin-Universität Friedrichshafen. Er war Initiator und Koordinator der seit 1997 erfolgreich etablierten Doppeldiplom-Studienprogramme in Kooperation mit den Universitäten Trento, Marne-la-Vallee, Chambéry, Poznan (Wirtschaftsuniversität), Budapest (Central European University), der Universität of Science and Technology in Wuhan und der China University of Geoscience in den Studiengängen Betriebswirtschaftslehre und International Business in Emerging

and Developing Markets (IBDEM). Es wurde hiermit auch der Boden für gegenwärtig in Vorbereitung befindliche Doppel-Promotionsprogramme bereitet. Das hierbei gezeigte persönliche Engagement von Horst Brezinski fand vonseiten der Wirtschaftsuniversität Poznan 2002 durch die Verleihung der Universitätsmedaille und 2013 durch seine Berufung an die Universität entsprechende Anerkennung.

Horst Brezinski repräsentiert die Bergakademie Freiberg und sein Fachgebiet als Mitglied zahlreicher nationaler und internationaler Assoziationen, Fachgruppen, Beiräte, Ausschüsse und Kompetenzzentren, z. B. als Mitglied des Forschungsrats der Fachgruppe Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Johann-Gottfried-Herder-Instituts Marburg und als Mitglied und Schatzmeister der European Association for Comparative Economic Studies, die ihn 2016 zum Ehrenmitglied ernannte. Neben den sich hieraus ergebenden Forschungsaktivitäten wirkte er auch mit bei der von den Technischen Universitäten ins Leben gerufenen Akkreditierungsagentur für die Anerkennung der Studiengänge im Bereich der Ingenieurwissenschaften, der Informatik und der Naturwissenschaften (ASIIN). Er leitete viele Jahre lang die Kommission für die Akkreditierung von Studiengängen im Bereich des Wirtschaftsingenieurwesens.

Als Dekan der gerade neu gegründeten Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (1994-1997), als Prorektor für Bildung (1997-2000), als Prorektor für Außenbeziehungen (2003-2006) sowie als Studiendekan des MBA-Studiengangs International Business in Developing and Emerging Markets (2008-2013) leistete Horst Brezinski einen bedeutenden persönlichen Beitrag zur Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg und ihrer Fakultät für Wirtschaftswissenschaften. Seine diesbezüglichen Verdienste wurden 2013 mit der Verleihung der Universitätsmedaille der Bergakademie Freiberg gewürdigt.

Bereits 1993, im Jahr seiner Berufung nach Freiberg, trat Horst Brezinski unserem Verein der Freunde und Förderer der Bergakademie Freiberg bei und wurde Mitglied des Vorstands. Seit 2000 fungiert er als Schatzmeister und steuert mit Geschick und Erfolg – trotz aller Turbulenzen auf den Finanzmärkten – die Finanzen unseres Vereins in ruhigem Fahrwasser.

Das Arbeitspensum von Horst Brezinski, speziell in der Aus- und Weiterbildung, ist auch heute noch groß. Allein die Professur an der Wirtschaftsuniversität

Poznan beinhaltet aktuell Lehraufgaben im Umfang von 6 SWS. Es stehen noch fünf Promotionsprojekte unter der wissenschaftlichen Betreuung und Leitung von Horst Brezinski vor dem Abschluss.

Ein Wesensmerkmal der 25 Jahre Leben und Wirken von Horst Brezinski und der Familie Brezinski in Freiberg ist ein hohes Maß an Identifikation mit der Stadt, den Menschen der Region und der Universität. Familie Brezinski baute ein Haus, pflanzte Bäume, die tief wurzelten,

entwickelte neue Freundschaften und identifizierte sich mit den bergakademischen Traditionen und Zukunftsvisionen. Allen Beteiligten in Erinnerung bleibt sicher die zu unterschiedlichen Anlässen von der Familie getragene Geselligkeit, darunter insbesondere die Sommerfeste im Haus Brezinski. Hier treffen sich Nachbarn, Freunde, aber auch Kollegen nahezu aller an der Bergakademie vertretenen Fakultäten und Wissenschaftsdisziplinen. Oft resultieren hieraus interdisziplinärer

Disput und die Vereinbarung gemeinsamer Projekte. Besonderes Flair haben diese Treffen durch den Schweizer Charme seiner Ehefrau Helen.

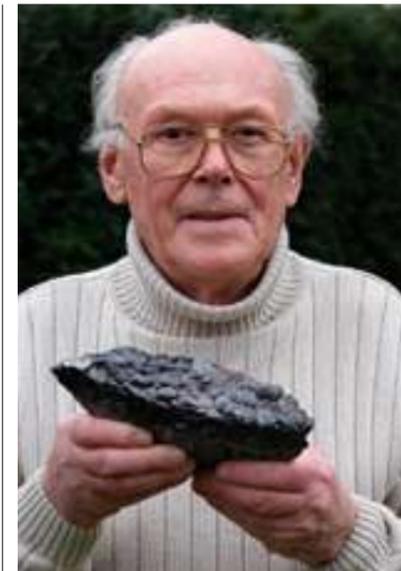
Wir, die Bergakademisten der Gegenwart, wünschen Ihnen, Kollege Prof. Brezinski – Dir lieber Horst – für die Zukunft Gesundheit, persönliches Glück und Kraft für weiteres Wirken zum Wohl unserer Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

■ Dieter Slaby

Der Ehrenbürger unserer Universität, Siegfried Flach, wurde 90 Jahre alt

Am 24. März dieses Jahres feierte der Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg, Siegfried Flach aus Damme in Niedersachsen, seinen 90. Geburtstag. Aus diesem Anlass gratulierte ihm auch eine kleine Delegation aus dem Team der Geowissenschaftlichen Sammlungen im Namen des Rektorats. Für sein jahrzehntelanges Engagement zugunsten der Geowissenschaftlichen Sammlungen unserer Universität wurde ihm im Jahr 2002 der Titel „Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg“ verliehen. Auch heute ist er noch aktiv und hält enge Kontakte zu unseren Sammlungsmitarbeitern und ist Mitglied des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg.

In den letzten Jahren stiftete er eine umfangreiche Sammlung von Urangläsern und Urankeramiken und dazu seine umfangreiche Lagerstättensammlung. Diese Kollektion umfasst weit über 6.000 Mineralstufen, Erzanschliffe und Gangstufen aus erzbergischen Lagerstätten und stellt damit eine der wohl umfangreichsten und wertvollsten einschlägigen



Keine Angst vor Uranmineralen – Siegfried Flach mit einer Pechblendestufe aus dem Erzgebirge

Privatsammlungen dar. Schwerpunkte der Sammlung sind die Lagerstättendistrikte von Freiberg, Marienberg, Ehrenfriedersdorf, Schlema-Alberoda und Schneeberg.

Siegfried Flach legte besonderen Wert auf genaueste Angaben zu den Gangformationen und Fundorten und erschuf somit eine Dokumentation des sächsischen Erzbergbaus in seiner letzten Blütephase. Akribisch forschte er dazu

auch im wissenschaftlichen Altbestand der Universitätsbibliothek in Freiberg und unterhielt wertvolle Kontakte zum Archiv der Wismut GmbH sowie zu ehemaligen Grubengeologen und Bergleuten. Seine Erkenntnisse widerspiegeln sich u. a. in Veröffentlichungen, bspw. im EMSER HEFT über Schneeberg, im Buch über den 800-jährigen Silberbergbau in Freiberg und in seiner Monographie über den Bergbau von Schlema-Alberoda, die vom LfUG Sachsen herausgegeben wurde. Dadurch ist die Sammlung auf ein umso höheres wissenschaftliches Interesse gestoßen – sowohl an der TU Bergakademie als auch am Helmholtz-Zentrum für Ressourcentechnologien in Freiberg. Im vorigen Jahr erwarb Siegfried Flach die wissenschaftlich bedeutsame Lagerstätten-Sammlung des Mineralogen Ullrich Lipp aus Schneeberg und schenkte sie den Freiburger Geowissenschaftlichen Sammlungen. Auch in diesem Jahr kamen weitere Stufen dazu, darunter der größte bekannte Aquamarinkristall von Edelsteinqualität aus Irfersgrün im Vogtland.

Siegfried Flach wurde in Chemnitz geboren, wo er auch seine Schulausbildung erhielt. 1944 beendete er mit Erfolg eine Verwaltungslehre. Danach wurde er zum Segelflugzeugführer ausgebildet und anschließend von der Luftwaffe einberufen. Im Mai 1945 geriet er in englische Gefangenschaft und wurde in Ostfriesland interniert. 1946 kam er in Damme bei Oldenburg zu einem Bombensprengkommando. Dieser Ort wurde seine neue Heimat. Hier absolvierte er eine zweite Lehre als Maurer und arbeitete dann viele Jahre auf dem Bau. 1950 heiratete er seine Frau Edith. Aus der Ehe gingen zwei Söhne und eine Tochter hervor. 1967 wechselte er als Hoch- und Tiefbautechniker in die Stadtverwaltung Damme. Seit März 1990 ist er pensioniert.

■ Andreas Massanek, Michael Gäbelein, Gerhard Heide



Beryll, Var. Aquamarin, Irfersgrün, Vogtland, Sachsen. Länge 8,5 cm

Günter-Heinisch-Stiftung erwirbt wertvolle Silberstufe für die Geowissenschaftlichen Sammlungen

Anlässlich der Barbara-Feier des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. wurde eine wertvolle Silberstufe an den Direktor der Geowissenschaftlichen Sammlungen, Prof. Gerhard Heide, und den Kustos der Mineralogischen Sammlungen der TU Bergakademie, Dipl.-Min. Andreas Massanek, übergeben und im Saal der Alten Mensa den Mitgliedern des Vereins vorgestellt. Es ist eine der größten und besten Silberstufen, die im Schneeberger Revier im sächsischen Erzgebirge gefunden wurden. Auf Grund ihrer außergewöhnlichen Schönheit zierte sie das Cover des längst vergriffenen Buches von Prof. Equit über Meisterwerke sächsischer Minerale (Foto s. Seite 126).

Die Stufe kommt aus der Grube „Weißer Hirsch“ und wurde im Jahr 1888 gefunden. Erworben wurde sie von dem bekannten Dresdener Mineraliensammler Hans-Günter Penndorf, der sie im Januar 1986 von dem Bergingenieur Hertel aus Zwickau gekauft hatte. Zuvor war sie im Besitz von dessen Onkel, der in Schneeberg eine Apotheke besessen hatte. Herr Penndorf ist den Geowissenschaftlichen Sammlungen und dem Institut für Mineralogie, und hier speziell dem Mineralogischen Labor unter Dr. Kleeberg, seit Jahrzehnten eng verbunden. Deshalb hat er die Stufe weit unter dem Betrag angeboten, den ihm amerikanische und englische Händler geboten hatten. Leider konnte Herr Penndorf nicht mehr an der feierlichen Übergabe der Stufe teilnehmen, weil er am Abend des 6. Juli 2017 im Alter von 92 Jahren in Dresden verstarb. Deshalb möchten wir ihn an dieser Stelle näher vorstellen: Er wurde am 1. April 1925 in Dresden geboren und besuchte dort auch die Schule. Bereits im Alter von fünf Jahren begann er sich für Mineralien zu interessieren. Die Familie seiner Tante hatte den Ratskeller am Freiburger Obermarkt und wohnte direkt neben dem Rathaus. Dort verbrachte er häufig die Wochenenden. Der Parkplatzwächter auf dem Obermarkt, ein alter Bergmann, schenkte dem Jungen immer wieder ein paar kleine Stückchen „Katzengold“. Als er merkte, dass er das Interesse des Kindes geweckt hatte, nahm er ihn auch mit zum Sammeln auf alte Bergbauhalden und in Steinbrüche. Die aufgekommene Sammelleidenschaft wurde jedoch durch den 2. Weltkrieg unterbrochen. Er begann eine Lehre zum Vermesser, machte ein Notabitur und wurde wie viele andere junge Männer an die Front einberufen. Dort geriet er

in russische Gefangenschaft und musste einige Jahre in einer Kohlengrube im Donetzbecken arbeiten. Als er zu Weihnachten 1947 nach Dresden zurückkam, war seine Sammlung nicht mehr vorhanden. Er beendete seine Lehre und schloss ein Studium zum Vermessungsingenieur an. Als solcher wurde er zu einem gefragten Spezialisten im Bereich Talsperrenbau im In- und Ausland und arbeitete hier bis zu seiner Pensionierung im Jahr 1990. In den 1970er- und 1980er-Jahren realisierte er ein Projekt zur Untertagevermessung in der Grube Reiche Zeche in Freiberg.

Hans-Günter Penndorf war zweimal verheiratet und hat zwei Töchter aus erster Ehe.

Nach dem Ende seiner Ausbildung widmete er sich wieder verstärkt seinem Kindheitshobby und begann, sich als Autodidakt mit Mineralogie und Geologie sowie mit der Bergbaugeschichte und -tradition zu beschäftigen. Am Anfang spielte das Freiburger Revier die größte Rolle. Er versuchte eine möglichst komplette Regionalsammlung aufzubauen. Dazu gehörten aber nicht nur die Mineralien aus den Freiburger und Brand-Erbisdorfer Schächten im zentralen Revier, sondern auch die aus den Randbereichen, wie z.B. Bräunsdorf, Kleinvoigtsberg, Großschirma bis hin nach Münzig bei Meißen. Später begann er auch Mineralien aus den Revieren des sächsischen Uranerzbergbaus zu sammeln. Das waren insbesondere Stufen aus dem Revier Aue-Schlema-Hartenstein und Pöhla sowie Klassiker aus dem Schneeberger Raum. Obwohl er viel im Ausland unterwegs war, blieb er seiner Linie treu, nur sächsische Mineralien zu sammeln. Die einzige Ausnahme waren Mineralien aus dem Raum Altenberg und Zinnwald im Osterzgebirge. Hier reihte er auch Stufen aus dem böhmischen Teil der Lagerstätte in seine Sammlung mit ein. Er unterhielt intensive Kontakte zu Bergleuten und Sammlern und war später auch auf jeder Mineralienbörse rund ums Erzgebirge zu finden. Großen Wert legte er auf eine exakte Probandokumentation. Ausführliche und sauber geschriebene Etiketten und eine Kartei mit zusätzlichen Informationen zeugen davon. Seine intensive Beschäftigung mit Mineralogie, Geologie und Montangeschichte gipfelte auch in einer Reihe von Veröffentlichungen, bspw. über die Whewellite von Freital-Burgk oder über



Hans-Günter Penndorf auf der Freiburger Mineralienbörse 2016

die Lagerstätten von Scharfenberg und Münzig bei Meißen. In München gestaltete er mehrmals eine Sammlervitrine zu den Mineralientagen, und einige seiner Spitzenstücke sind in den bekannten Bildbänden von Eberhard Equit zu sehen. Dem Schlossmuseum Freital-Burgk half er, die dort beheimatete Sammlung zu reinigen und neu aufzustellen. Schon frühzeitig bemühte er sich darum, dass seine Sammlung nach seinem Tod nicht zerschlagen, sondern in eine öffentliche Einrichtung überführt wird. Durch seine intensiven und freundschaftlichen Beziehungen zum damaligen Kustos Dr. Gerd Wappler kam es dazu, dass seine wissenschaftlich äußerst wertvolle Sammlung von mehr als 2000 Stufen nach und nach von der Mineralogischen Sammlung des Museums für Naturkunde in Berlin übernommen wurde. Die Sammlung befindet sich heute geschlossen dort. 26 Stufen aus dem Freiburger Revier sind auf seinen Wunsch als Leihgaben in der „Mineralogischen Sammlung Deutschland“ im Krügerhaus in Freiberg zu sehen. Dieses Projekt, in dem neben vielen Leihgaben und Zustiftungen privater Sammler vor allem Mineralien aus der Sammlung von Dr. Erika Pohl-Ströher ausgestellt sind, wollte er unbedingt unterstützen. Schließlich war es, der die Sammlerin in der Schweiz dazu animiert hatte, darüber nachzudenken, was einmal aus ihrer Sammlung werden sollte und der auch den Kontakt zur Freiburger Universität herstellte. Wir werden sein Andenken würdig bewahren, aber durch seine Sammlung in Berlin und einige Stufen in unseren Ausstellungen hat er sich auch selbst ein Denkmal gesetzt.

■ Andreas Massanek, Dietmar Leonhardt, Gerhard Heide

Nachruf auf Prof. Dr. rer. nat. Otfried Wagenbreth

Helmut Albrecht

Mit dem Tod von Prof. Dr. rer. nat. Otfried Wagenbreth im Alter von 90 Jahren am 25. Mai 2017 in Bad Kreuznach hat das Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) seinen Gründungsdirektor, die TU Bergakademie Freiberg einen engagierten früheren Forscher und Lehrer, Sachsen einen Vorkämpfer für den Erhalt seiner zahlreichen technischen und industriellen Denkmale und Deutschland einen Pionier der Denkmalpflege im Bereich von Technik und Industrie verloren.

Wagenbreth wurde am 7. April 1927 in Zeitz geboren, wo er auch seine Schulzeit absolvierte und im Jahr 1946 die Reifeprüfung ablegte. Während des Zweiten Weltkriegs diente der Oberschüler Wagenbreth ab 1943 zunächst als Flakhelfer und nach dem Reichsarbeitsdienst

in den letzten Kriegsmonaten von November 1944 bis April 1945 als Kanonier bei der Wehrmacht. Das Kriegsende erlebte Wagenbreth in amerikanischer Gefangenschaft, aus der er Mitte Juni 1945 wieder entlassen wurde. Nach einem Vorpraktikum in verschiedenen Bergbaubetrieben immatrikulierte er sich im November 1946 an der gerade erst wiedereröffneten Bergakademie in Freiberg als Student im Fach Bergbaukunde, das er Ende 1950 mit dem Diplom abschloss. Danach arbeitete Wagenbreth bis 1958 als Assistent und Lehrbeauftragter am Geologischen Institut der Bergakademie, wo er im Dezember 1956 mit einer Arbeit zur Geologie der Braunkohlenlagerstätten im Weißelsterbecken promovierte.

Die Freiburger Studien- und Assistententätigkeit prägte Wagenbreths Persönlichkeit sowohl in wissenschaftlicher als auch in persönlicher Hinsicht nachhaltig. Bereits als 15-jähriger Schüler hatte Wagenbreth seine Neigung zu den Geowissenschaften entdeckt und 1942 den ersten kleineren Aufsatz zur Geologie Thüringens publiziert. Diese Liebe zur Geologie machte er in Freiberg zum Beruf, der ihn nach seiner Assistentenzeit in Freiberg zunächst als Objektgeologen und Arbeitsgruppenleiter zum Geologischen Dienst in Halle, ab 1962 zum Dozenten für Geologie und Technische Gesteinskunde und schließlich zum Leiter des gleichnamigen Instituts an der Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar führte.

Seit 1951 inventarisierte Wagenbreth für das Institut für Denkmalpflege der DDR die technischen Denkmale des Freiburger Erzbergbaus und entwickelte sich dabei zu einem gefragten Gutachter für technische Denkmale. Im Rahmen des Kulturbunds engagierte sich Wagenbreth ehrenamtlich für die Belange der technischen Denkmale in der DDR – seit 1970 als Leiter einer Expertengruppe für technische Denkmale. Von 1976 bis 1990 leitete Wagenbreth die Arbeitsgruppe „Technische Denkmale“ beim Zentralen Fachausschuss für Denkmalpflege des Kulturbunds, 1977 wurde er in die zentrale Arbeitsgruppe „Erfassung der technischen Denkmale und Geschichte der Produktivkräfte“ im Wissenschaftlichen Beirat für Museen beim Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen der DDR berufen und 1978 in den Fachausschuss „Geschichte des Bergbaus“ der Kammer der Technik der DDR gewählt. Besondere Verdienste erwarb sich Wagenbreth im Rahmen seiner ehrenamtlichen denkmalpflegerischen Tätigkeit dadurch, dass es u. a. seiner



Mitwirkung zu verdanken ist, dass das Denkmalschutzgesetz der DDR aus dem Jahr 1975 als erstes deutsches Denkmalschutzgesetz explizit die materiellen Zeugnisse der Produktions- und Verkehrsgeschichte, also technische und industrielle Denkmale, als schützenswerte Kulturgüter definierte.

Im Februar 1979 bot sich Wagenbreth die Chance, aus seiner Leidenschaft eine beruflich sichere Stellung zu machen, als an der TH Dresden die Stelle eines Hochschuldozenten für Geschichte und Dokumentation der Produktionsmittel mit ihm besetzt wurde. Grundlage für Wagenbreths Berufung auf diese Stelle war ein Gutachten seines früheren Hochschullehrers und langjährigen Mentors Prof. Dr.-Ing. Erich

Rammler (1901-1986), der zu folgendem Schluss kam: „*Mustert man nochmals die wissenschaftlichen Leistungen Wagenbreths mit 106 geschichtlichen Arbeiten ..., so wird man gedrängt, die Folgerung zu ziehen, daß er von Natur aus als Historiker veranlagt ist. ... Wenn man sich fragt, auf welchem wichtigen Gebiete die starken Kapazitäten Wagenbreths in der Lehre und in der Wissenschaft künftig am besten für den Dienst an der Deutschen Demokratischen Republik genutzt werden können, so ist der Unterzeichnete der Auffassung, dass es Geschichte und Dokumentation der Produktivkräfte und -mittel sein würden.*“¹ Mit der später in „Dozentur für Geschichte der Technik und Technischen Denkmale“ umbenannten Stelle an der TH Dresden fanden Wagenbreths Bemühungen um die Erforschung und den Erhalt technischer Denkmale in der DDR endlich ihre offizielle Anerkennung.

Die friedliche Revolution in der DDR und die politische Wiedervereinigung Deutschlands 1989/90 öffneten Wagenbreth schließlich den Weg auf eine Professur an der Bergakademie Freiberg, um die er sich bereits 1962 in Konkurrenz zu dem Wirtschaftshistoriker Eberhard Wächtler beworben hatte. Damals unterlag der der evangelischen Kirche nahestehende Wagenbreth dem SED-Mitglied und Kandidaten der Parteiführung Wächtler, der ab 1962 zunächst als Professor für Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens, dann ab 1969 als Professor für Wirtschaftsgeschichte und Geschichte der Produktivkräfte bis 1990 und danach bis 1992 als Leiter des Studium generale an der Bergakademie wirkte. Am 1. März 1992 trat Wagenbreth seine Nachfolge in Freiberg an und wurde zunächst zum Vorsitzenden der Gründungskommission und zum Gründungsdirektor des neu geschaffenen Instituts für Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) ernannt. Zum 1. Juni 1992 erfolgte dann die Berufung des mittlerweile 65-jährigen Wagenbreth zum Ordinarius für Technikgeschichte und Industriearchäologie sowie zum Direktor des IWTG. Auch nach seiner Pensionierung im Jahr 1994 blieb Wagenbreth seiner Alma Mater als Lehrbeauftragter am IWTG noch lange Jahre mit großem Erfolg verbunden.

Die außerordentlichen Leistungen Wagenbreths für die Technikgeschichte, insbesondere die Geschichte des Montanwesens,

¹ UAF 9708/27

für die Pflege technischer und industrieller Denkmale sowie die Erforschung der Geschichte der Bergakademie Freiberg lassen sich an seinen zahllosen wissenschaftlichen Aufsätzen und Büchern zu diesen Themenkreisen ablesen. Das anlässlich seines 70. Geburtstags erschienene Schriftenverzeichnis listete bereits 1997 mehr als 470 Arbeiten auf. Bis kurz vor seinem Tod hielt die scheinbar unermüdliche Arbeitskraft und Publikationsfähigkeit Wagenbreths an, so dass seine Publikationsliste heute mehr als 500 Titel umfasst. Noch zu DDR-Zeiten erschienen – zumeist in Co-Autorschaft mit Wächtler – bedeutende Publikationen wie „Technische Denkmale in der DDR“ – ein Werk, das seit 1973 zahlreiche Auflagen erlebte und erst jüngst wieder einen Nachdruck im Springer Verlag erfuhr, „Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte“ (1986) oder auch „Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und Geschichte“ (1990). Nach der Wende erschienen aus seiner Feder u. a. „Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte“ (1994), „Geschichte der Geologie in Deutschland“ (1999), „Die Geschichte der Dampfmaschine“ (2002), „Christian Friedrich Brendel. Leben und Werk eines bedeutenden Ingenieurs der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts“ (2006) oder „Die Braunkohlenindustrie in Mitteldeutschland: Geologie, Geschichte, Sachzeugen“ (2011). 2015, im 250. Gründungsjahr der TU Bergakademie Freiberg, konnte Wagenbreth schließlich noch seine Lebenserinnerungen unter dem Titel „Das eigene Leben im Strom der Zeit“ veröffentlichen.

Als Wagenbreth 1994 im Alter von 67 Jahren aus dem aktiven Hochschullehrerdienst ausschied, hinterließ er mir als seinem Nachfolger ein intaktes, voll funktionsfähiges und fest in der nunmehrigen TU Bergakademie Freiberg verankertes Institut. Wer Otfried Wagenbreth kannte, ist nicht verwundert darüber, dass seine Pensionierung keineswegs sein Engagement für die Forschung und Lehre beendete. Bis zuletzt stand er „seinem“ Institut als Berater sowie bis zum Ende des Sommersemesters 2008 auch als aktiver und insbesondere bei den Studierenden beliebter Lehrbeauftragter zur Verfügung. Der Verfasser dieses Nachrufs verdankt ihm eine profunde Einführung in die Besonderheiten der sächsischen Geschichte sowie der technischen

und industriellen Denkmale Ostdeutschlands, insbesondere im Montanwesen.

Bewundern und schätzen lernte der Verfasser auch die ganz eigene Persönlichkeit Wagenbreths, dessen Beharrlichkeit (von manchen auch als Sturheit missinterpretiert) gerade in allen Belangen der Denkmalpflege – nicht nur in der DDR-Zeit – von der sog. Obrigkeit gefürchtet wurde. Noch 2007 lehnte Professor Wagenbreth die Annahme des ihm für seine Verdienste um die Pflege technischer Denkmale zuerkannten Bundesverdienstkreuzes durch den sächsischen Ministerpräsidenten ab, da man in der Landeregierung seiner Vorbedingung, nämlich einer Aussprache zur prekären Situation der technischen Denkmale im Freistaat mit dem verantwortlichen Ministerium, nicht entsprechen wollte.

In Zeiten, in denen im Zeichen der New Economy die Belange der Denkmalpflege zunehmend hinter kurzfristigen wirtschaftlichen und finanziellen Überlegungen zurückstanden, in denen vor allem zahllose technische und industrielle Denkmale ohne Konzept und vielfach willkürlich dem sog. Fortschritt geopfert wurden, mag manch einem ein unbeirrter Kämpfer für die Belange der technischen Denkmale wie Otfried Wagenbreth als Anachronismus erschienen sein. Sein fortwährender Appell, die Zeugen der industriellen Vergangenheit Sachsens zu schützen und zu bewahren, war vielen unangenehm, traf und trifft aber bis heute den Kern einer wichtigen Frage, der wir uns alle stellen müssen: Wollen wir die letzten Zeitzeugen einer Geschichte der Arbeit, der Technik und der Industrie aufgeben, die dieses Land und seine Menschen in mühevoller Arbeit und mit innovativer Kraft über viele Jahrhunderte hinweg hervorgebracht haben und die insbesondere in Sachsen für eine in Deutschland einmalige Transformation von einer Agrar- zu einer Industriegesellschaft stehen?

Die Vermittlung dieser Geschichte, des Wissens um ihre Bedeutung und eines entsprechend geschärften Verantwortungsbewusstseins vor allem an junge Menschen lag Otfried Wagenbreth bis zuletzt am Herzen. Darin war und ist er uns auch über seinen Tod hinaus ein Vorbild, das wir schmerzlich vermissen werden.

Nachruf auf Prof. Klaus Hein (13.11.1930–18.02.2017)

Am 18.02.2017 verstarb nach langer schwerer Krankheit im Alter von 86 Jahren der langjährige Direktor des Instituts für Nichteisenmetallurgie und Reinstoffe der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. mont. h. c. Klaus Hein.

Klaus Hein wuchs in Freiberg auf und besuchte dort die Grundschule sowie nachfolgend das Gymnasium. Nach seinem Abitur arbeitete er von 1949 bis 1951 als Chemiepraktikant im Hüttenwerk Halsbrücke. Vermutlich erkannte er hier die engen Verknüpfungen zwischen Chemie und Metallurgie, die ihn in seiner gesamten weiteren beruflichen Laufbahn

prägten. 1951 nahm er ein Chemiestudium an der TH Dresden bei dem bekannten Elektrochemiker Prof. Kurt Schwabe auf, das er 1955 als Diplomchemiker abschloss. Anschließend arbeitete er als Assistent am damaligen Institut für Metallhüttenkunde, Elektrometallurgie und Probierkunde der Bergakademie Freiberg, wo er 1957 in nur zwei Jahren mit der

Dissertation „Beiträge zur Cadmiumzementation aus technischen Zinksulfatlösungen“ zum Dr.-Ing. promovierte. Die Ergebnisse dieser Arbeit trugen zur weiteren Verbesserung der Zinkelektrolyse im VEB „Feinzink Freiberg“ bei. Von 1957



bis 1958 war Klaus Hein in der Kupfer-Silber-Hütte des Mansfeld Kombinats Eisleben als Abteilungsleiter der Vanadiumanlage und als Laborleiter tätig. Von 1958 bis 1966 leistete er als Technischer und Wissenschaftlicher Leiter des VEB Spurenmetalle Freiberg einen wesentlichen Beitrag zum Aufbau der Produktion von Reinstmetallen und Halbleiterwerkstoffen

in der DDR. 1966 wurde er als Dozent für Elektrometallurgie an das Metallhütteninstitut der Bergakademie Freiberg berufen. 1968 übernahm er die Leitung des Wissenschaftsbereichs NE-Werkstoffe und wurde 1969 zum ordentlichen Professor

für NE-Werkstoffe berufen. 1977 habilitierte er sich zum Thema „Grundlagen der Metallelektrolyse in wässrigen Lösungen“

Prof. Klaus Hein unterhielt nicht nur enge Beziehungen zur metallurgischen Industrie, sondern auch zur Halbleiterindustrie der DDR. Um den Bedarf dieses neuen Industriezweigs an qualifizierten Absolventen zu decken, vertrat er in Lehre und Forschung neben der Metallurgie als weiteren Schwerpunkt die Bereiche Herstellung von Reinststoffen und Halbleiterwerkstoffen. Diese Kombination aus „klassischer“ Metallurgie und Herstellung von Halbleiterwerkstoffen an einem Hochschulinstitut war und ist in Europa einmalig. In der Lehre legte Hein großen Wert auf die Vermittlung von wissenschaftlichen Grundlagen und ihre Verknüpfung mit den praktischen Anwendungen in der Metallurgie bzw. der Halbleiterindustrie. Während seiner Tätigkeit schlossen mehr als 300 Studenten erfolgreich ihr Studium als Diplomingenieur ab. Klaus Hein war ein sehr engagierter, aber auch gestrenger Doktorvater. In den monatlichen Institutskolloquien hatten die Doktoranden den Stand ihrer Untersuchungen vorzustellen und erhielten dabei wertvolle Hinweise für die Fortführung ihrer Arbeiten. Aufgrund der vorzüglichen Betreuung promovierten unter Hein mehr als 50 Doktoranden bei einer sehr geringen Abbrecherquote. Aufgrund der sehr guten und praxisorientierten Ausbildung am Institut waren bzw. sind viele seiner Absolventen in leitenden Funktionen in der Metallurgie und in der Halbleiterindustrie oder in Forschungseinrichtungen tätig.

Wesentliche Forschungsschwerpunkte im Bereich Halbleiter waren die Hochreinigung von Metallen und die Synthese von Verbindungshalbleitern. Mit dem am Institut entwickelten Laboranlagen zur Züchtung von einkristallinem Galliumarsenid nach dem VGF-Verfahren erfolgten umfangreiche Untersuchungen zur Optimierung der Züchtungsprozesse und zur Verbesserung der elektrischen Eigenschaften dieses wichtigen Verbindungshalbleiters. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit der Freiburger Halbleiterindustrie erfolgreich in die Produktion überführt und trugen mit zum Fortbestand dieses für Freiberg sehr wichtigen Industriezweigs auch nach 1990 bei. Als Aufsichtsratsvorsitzender der Freiburger Elektronikwerkstoffe GmbH von 1990 bis 1992 leistete Klaus Hein seinen Beitrag zur erfolgreichen Privatisierung dieses Unternehmens.

Die Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung von Elektrolyseverfahren für die Gewinnung, die Raffination und das Recycling von Metallen fanden als „Freiberger Schule“ international große Beachtung, so dass nach 1990 unter seiner Leitung verschiedene Forschungsprojekte zur Kupferraffinationselektrolyse für alle namhaften Kupferhütten Europas – aber auch der USA, Kanadas und Chiles – bearbeitet wurden. Von seinen umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten zeugen mehr als 200 Publikationen.

Prof. Hein pflegte während seiner gesamten Tätigkeit enge Kontakte zu den osteuropäischen Partnerinstituten in Krakau, Miskolc, Košice und Moskau, aber auch zu den metallurgischen Instituten in Aachen, Leoben, Helsinki und Istanbul. Viele Mitarbeiter aus diesen Einrichtungen und weitere renommierte Wissenschaftler folgten seiner Einladung zum Berg- und Hüttenmännischen Tag nach Freiberg und bereicherten die metallurgischen Kolloquien mit ihren neuesten Forschungsergebnissen.

Für seine wissenschaftlichen Leistungen wurde Klaus Hein mehrfach mit hohen Auszeichnungen geehrt. So erhielt er 1977 im Kollektiv mit weiteren Wissenschaftlern der Bergakademie Freiberg den „Vaterländischen Verdienstorden in Gold“ der DDR. 1994 ehrte ihn die Montanuniversität Leoben für seine wissenschaftliche Tätigkeit auf dem Gebiet der Nichteisenmetallurgie mit der Ehrenpromotion zum Dr. mont. h. c. Nach seiner altersbedingten Emeritierung in Freiberg leitete Prof. Hein von 1996 bis 1999 während der Rektoratszeit von Prof. Paschen das Institut für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben.

Mit seinen Arbeiten legte Klaus Hein den Grundstein für ein wachstums- und zukunftsfähiges Institut, dem er bis zuletzt eng verbunden blieb. Gern erinnern wir uns an seinen 80. Geburtstag, den wir gemeinsam mit vielen seiner ehemaligen Kollegen und Absolventen in fröhlicher Runde feierten. Mit Prof. Hein verliert die TU Bergakademie Freiberg einen international anerkannten Wissenschaftler, der Forschung und Lehre immer verantwortungsvoll und erfolgreich miteinander zu verbinden wusste. Durch seine hohe fachliche Kompetenz und seine Zuverlässigkeit war er mit vielen Kollegen freundschaftlich verbunden. Wir trauern mit seiner Familie um einen großen Wissenschaftler und eine herausragende Persönlichkeit.

■ Hartmut Bombach

Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Lange †

Am 11. Februar 2017 verstarb nach langer, mit großer Geduld ertragener Krankheit Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Lange.

Heinz-Jürgen Lange wurde am 6. April 1936 in Köln geboren. Nach dem Verlust der elterlichen Wohnung infolge Bombardierung wuchs er in Halsbrücke auf. Er besuchte die Grundschule in Halsbrücke, danach das Gymnasium in Freiberg, wo er 1952 das Abitur erwarb. Nach Vorpraktika in Muldenhütten und im Chemiekombinat Bitterfeld studierte er ab 1953 an der Bergakademie Freiberg Metallhüttenkunde und schloss das Studium mit dem Diplom Anfang 1959 ab.

Im Frühjahr 1959 wurde er als Assistent am Institut für Metallhüttenkunde angestellt. Aus damaligen Forschungsprojekten leitete sich sein Promotionsthema „Aktivität des Zinkoxides in metallurgischen Schlacken“ ab. Er leistete damit einen Beitrag zu den theoretischen Grundlagen der Schlackenführung bei der thermischen Metallgewinnung. Die Promotion erfolgte am 22. Juni 1966.

Nach dem Tod seines Vaters, Prof. Alfred Lange, wurden ihm Lehraufgaben auf dem Gebiet der Pyrometallurgie übertragen, die er bis zum Eintritt in den Ruhestand wahrnahm.

Im Rahmen der Umstrukturierung der Fakultät für Hüttenwesen 1968 und der Trennung von Lehre und Forschung an der damaligen Sektion Metallurgie und Werkstofftechnik wurde Heinz-Jürgen Lange mit der Leitung des Versuchsfelds NE-Metallurgie, zu dem alle NE-metallurgischen Versuchsanlagen und -labors gehörten, betraut. Diese Funktion übte er bis zur erneuten Umstrukturierung des Fachbereichs nach 1990 aus.

Forschungsseitig bearbeitete Dr. Lange Qualitätsprobleme bei der galvanischen Beschichtung von Metallen, Anodenprozesse bei der Kupfer-Raffinationselektrolyse sowie Probleme der Mischzinn-Elektrolyse.

Während seiner langjährigen Tätigkeit an der Bergakademie betreute er über 150 studentische Arbeiten (Studien-, Ingenieurpraktikums- und Diplomarbeiten).

Die internationalen Beziehungen seines Fachbereichs zu den NE-metallurgischen Instituten der Partnerhochschule in Košice (Slowakei) und der Bergakademie Kraków (Polen) wurden im Wesentlichen durch Heinz-Jürgen Lange gepflegt.

Von den Mitarbeitern des Instituts für NE-Metallurgie und Reinstoffe und den Studenten dieser Fachrichtung wurde Heinz-Jürgen Lange stets hoch geschätzt.

■ Manfred John

Dr. Ludwig Müller † (17.07.1919–04.06.2017)

Im gesegneten Alter von 97 Jahren ist Herr Dr. Ludwig Müller verstorben.

Noch im Kriegsjahr 1945 begann Ludwig Müller als einer der ersten Studenten mit dem Studium der Metallhüttenkunde an der Bergakademie Freiberg, das er 1950 als Diplom-Ingenieur abschloss. Er blieb als wissenschaftlicher Assistent, später als Oberassistent am Metallhütteninstitut der Bergakademie und promovierte 1957 mit dem Thema „Beiträge zur destillativen Trennung von Metallen unter vermindertem Druck“ zum Doktor-Ingenieur an der Bergakademie Freiberg. Alle Zeichen in seinem wissenschaftlichen Umfeld deuteten auf die Fortsetzung seiner Hochschullaufbahn. Unter Verzicht auf eine mögliche Professur wechselte er nach 13 Jahren an der Bergakademie zum FNE Forschungsinstitut für Nichteisen-Metalle Freiberg, dem er über 26 Jahre – vom 1. Mai 1958 bis zum 5. September 1984 – angehörte.



1963 wurde Dr. Ludwig Müller Hauptabteilungsleiter NE-Metallgewinnung und 1968 stellvertretender Bereichsleiter NE-Metallgewinnung. Er gehörte damit jahrzehntelang dem obersten Leitungsgremium des Instituts an. Nach seinem altersbedingten Ausscheiden war er noch bis 1988 als wissenschaftlicher Projektbearbeiter für das FNE tätig.

Ausgehend von seinem Promotionsthema waren Metalltrennung und Druckbedingungen bei metallurgischen Prozessen wesentliche Teilgebiete seines Betätigungsfelds am FNE. Er konnte seine spezielle, hohe Kompetenz in die verantwortliche Lenkung und Leitung der Forschung zur Gewinnung von Nichteisen-Metallen einbringen. Und er forschte selbst aktiv mit bei

- der Entwicklung leistungsintensiver und zugleich multivalent nutzbarer thermischer Verfahrensprinzipien, wie der Wirbelschichttechnik und des Fumingverfahrens, insbesondere am Problem des Verblasens armer, aus erzgebirgischen Rohstoffen gewonnener Zinnkonzentrate,

- der Entwicklung leistungsintensiver hydrometallurgischer, zum Teil nur unter hohem Druck realisierbarer Aufschluss- und Trennprozesse
- der Gewinnung hochreiner Metalle und Halbleiterwerkstoffe, insbesondere von Kontaktierungs- und Dotierungsmetallen für den VEB Spurenmetalle sowie
- der Herstellung von Sonderwerkstoffen auf Edelmetallbasis mit den Schwerpunkten Edelmetallgalvanik und Edelmetall-Rückgewinnung.

Vieles von diesen Ergebnissen bei der Entwicklung neuartiger Technologien fand Eingang in die langjährige, produktive Nutzung in den metallurgischen Produktionsstätten in Freiberg, Halsbrücke und Aue.

Während seiner aktiven Zeit forderte und förderte er, namentlich in der personellen Ausbauphase des Instituts, junge Mitarbeiter, die sich später zu Leitungs- und Stammkadern im FNE entwickelten.

Für seine Leistungen wurde Dr. Ludwig Müller mit hohen staatlichen Auszeichnungen geehrt. Er erhielt 1959 die Medaille für ausgezeichnete Leistungen, wurde 1963 Verdienter Techniker des Volkes und schließlich folgte für ihn 1977 der Nationalpreis II. Klasse.

■ Gottfried Jäckel

Nachruf auf Ursula Schneider

Am 15. März dieses Jahres ist Frau Ursula Schneider im Alter von 74 Jahren nach langer und mit großer Geduld ertragener Krankheit verstorben. Die TU Bergakademie Freiberg verliert mit ihr eine großherzige Stifterin und Freundin.

Ursula Schneider förderte gemeinsam mit ihrem Mann, Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider, die Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Ingenieur- und der Wirtschaftswissenschaften an der Bergakademie Freiberg. Schon im Jahr 2007 gründeten sie im Rahmen der Stiftung „Technische Universität Bergakademie Freiberg“ den „Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider“-Stiftungsfonds, um insbesondere die Ausbildung von Gießereistudenten voranzubringen und den internationalen Austausch Studierender zu fördern.

Ursula Schneider war es ein persönliches Anliegen, dafür zu sorgen, dass Studierende die Möglichkeit erhalten, die kulturellen Besonderheiten der Länder ihrer Mitstudierenden kennenzulernen und zu verstehen. Ihr herzliches Wesen und ihr stets waches Verständnis für die Nöte und Sorgen anderer verhalfen so manchem Projekt zum Erfolg. So ließ sie es sich nicht nehmen, regelmäßig mit nach Freiberg zu kommen, um sich vor Ort mit den Studierenden zu unterhalten, die Kontakte zur Universitätsleitung, zu Hochschullehrern und nicht zuletzt auch zu den Studierenden zu pflegen und damit die Region und das Ansehen der Universität zu stärken. Durch ihr Engagement und das ihres Mannes war es u. a. auch möglich, so manches Deutschlandstipendium auszureichen und damit Studierende während ihres Studiums finanziell zu unterstützen.

Wer Ursula Schneider kannte, weiß, dass sie sich mit großer Leidenschaft für andere Menschen einsetzte und trotzdem immer bescheiden im Hintergrund blieb. Der Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg wird ihr allzeit ein ehrendes Andenken bewahren und sie als aktive Unterstützerin vermissen.

In stillem Gedenken

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

- † Dr. Dieter Bandlow, Berlin
22.08.1938–Nov. 2016
- † Dipl.-Ing. Günter Boßler, Freiberg
13.01.1937–01.08.2017
- † Prof. Dr.-Ing. Horst Brandt, Leipzig
09.08.1931–29.05.2017
- † Dipl.-Ing. Egon Breitzkreutz, Hoyerswerda
15.05.1938–13.08.2017
- † Dr. rer. nat. Heinrich Douffet, Freiberg
25.05.1934–02.05.2017
- † Frau Traute Eulenberger, Freiberg
17.04.1939–24.02.2017
- † Dipl.-Ing. Karl-Heinz Gruhl, Bonn
05.09.1934–09.06.2017
- † Prof. Dr. Klaus Hein, Freiberg
13.11.1930–18.02.2017
- † Dr.-Ing. Uwe Labude, Görlitz
18.02.1965–08.08.2017
- † Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Lange, Brand-Erbisdorf
06.04.1936–11.02.2017
- † Prof. Dr. sc. techn. Reinhardt Schmidt, Weimar
07.09.1927–September 2017
- † Dipl.-Ing. Egon Emanuel Stolpe, Nürnberg
08.06.1927–03.01.2017
- † Prof. em. Dr. rer. oec. Lothar Unger, Dresden
25.05.1929–26.03.2017
- † Oberingenieur Johann Unland, Dresden
14.09.1925–05.09.2017
- † Prof. Dr. rer. nat. habil. Otfried Wagenbreth, Bad Kreuznach, 07.04.1927–25.05.2017

Dr. Heinrich Douffet † (1934–2017)

Im Alter von fast 83 Jahren verstarb am 2. Mai 2017 der Freiburger Denkmalpfleger und Geologe Dr. Heinrich Douffet. Er war eine Institution in Freiberg, vor allem – aber beileibe nicht nur – wenn es um Fragen der Denkmalpflege ging.

Heinrich Douffet wurde am 25. Mai 1934 in Teplitz-Schönau, heute Teplice/ČR, geboren. Seine ersten Lebensjahre verbrachte er in Potsdam-Babelsberg. 1941 übersiedelte seine Mutter nach Ladowitz, heute Ledvice/ČR, zu ihrer Mutter. Sein Vater war im Krieg gefallen. Nach der Ausweisung aus der Tschechoslowakischen Republik im Jahr 1945 ließ sich seine Mutter in Freiberg nieder. Die vom Krieg weitgehend verschonten historische Bergstadt und ihre Geschichte übten eine große Anziehung auf Sohn Heinrich aus. Bereits als Vierzehnjähriger besuchte er Vortragsveranstaltungen des Kulturbunds und nutzte die Bibliothek des ehemaligen Freiburger Altertumsvereins. Sein historisches Interesse und seine Achtung vor Leistungen früherer Generationen, die sich u. a. in den überkommenen baulichen Sachzeugen dokumentieren, regten ihn zu intensiver Beschäftigung mit der Vergangenheit und zum Schutz des erhaltenen Kulturguts an. Bereits als Jugendlicher schuf er sich damit die Grundlagen, auf denen er aufbauend später viele Erfolge und große Anerkennung als Denkmalpfleger erlangte. Maßgeblich gefördert wurde Heinrich Douffet dabei durch bekannte Freiburger Persönlichkeiten wie Dr. Heino Maedebach, Dr. Walther Herrmann, Dr. Paul Krenkel und Paul Müller.

Seinem zweiten großen Interessengebiet folgend studierte Heinrich Douffet von 1952 bis 1957 an der Bergakademie Freiberg Geologie. Anschließend arbeitete er beim Geologischen Dienst Freiberg, dem späteren VEB Geologische Forschung und Erkundung. 1977 promovierte Heinrich Douffet an der Universität Greifswald zur „Stratigraphie und Tektonik des südvogtländischen Ordoviziums“. In seiner Freizeit widmete er sich der Erforschung der Vergangenheit und vor allem der Denkmalpflege. Ende der 50er-Jahre des 20. Jahrhunderts nahm er an den unter Leitung von Heinrich Magirius durchgeführten Grabungen im Freiburger Dom teil.

Heinrich Douffet erkannte frühzeitig, dass man manchmal auch unbequeme Kompromisse eingehen und wohl oder übel mit staatlichen Gremien



zusammenarbeiten musste, um wichtige Ziele – wie die Bewahrung bedeutender Baudenkmale – zu erreichen. Im Interesse der Sache bekleidete er mehrere ehrenamtliche Funktionen. Im Jahr 1963 berief ihn der Rat des Kreises zum Beauftragten für Denkmalpflege in Stadt und Kreis Freiberg, eine Funktion, die er bis 1990 innehatte. Außerdem erhielt er vom damaligen Landesmuseum für Vorgeschichte in Dresden seine Berufung zum Bodendenkmalpfleger. Seit den 60er-Jahren gehörte Heinrich Douffet dem Aktiv für Denkmalpflege im Bezirk Karl-Marx-Stadt an, und 1966 berief man ihn in den Zentralen Fachausschuss Denkmalpflege im Kulturbund. Schließlich wurde er 1977 in den Arbeitsausschuss des Zentralvorstands der Gesellschaft für Denkmalpflege berufen. Nachdem Heinrich Douffet zusammen mit dem Institut für Denkmalpflege in Dresden eine Liste wertvoller Denkmale der Stadt Freiberg erarbeitet hatte, gelang ihm 1979 die Aufnahme der Freiburger Altstadt und der hiesigen Bergbauanlagen in die Bezirksdenkmalliste und in die zentrale Denkmalliste der DDR. Es gäbe eine Vielzahl von Objekten zu nennen, die durch den Einsatz von Heinrich Douffet gerettet wurden. Beispielhaft seien hier nur hervorgehoben: die Verhinderung des Abbruchs des spätgotischen Gebäudes Kaufhausgasse 9 1959/60, die Einflussnahme auf die Instandsetzungsarbeiten an historisch wertvollen Gebäuden, die Verhinderung der Realisierung von städtebaulichen Planungen 1963 und 1971, die zum Abbruch großer Teile der Freiburger Altstadt geführt hätten, die Sanierung des Bürgerhauses Obermarkt 1 unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten 1975/77 und die Mitwirkung an der Wiederherstellung des historischen

Außenbildes der Begräbniskapelle am Dom 1979.

1983 fand Heinrich Douffet eine neue berufliche Wirkungsstätte im Bezirkskunstzentrum Karl-Marx-Stadt. Seine Hauptaufgabe bestand hier im Aufbau des Bergbaumuseums Oelsnitz. Danach oblag ihm die fachliche Betreuung der technischen Museen, und später trug er als Bereichsleiter die Verantwortung für alle Museen des Bezirks. Im Mai 1990 wurde Heinrich Douffet in die letzte und erste demokratisch legitimierte Volkskammer der DDR gewählt. Ende des gleichen Jahres berief ihn der sächsische Minister für Wissenschaft und Kunst zum Leiter des Referats Museen/Denkmalpflege. In dieser Funktion förderte er u. a. die Erarbeitung eines neuen Denkmalschutzgesetzes. Ende Mai 1999 beendete Heinrich Douffet seine aktive berufliche Tätigkeit. Sein kommunalpolitisches Engagement als Mitglied des Kreistags von Freiberg bzw. Mittelsachsen und als Stadtrat von Freiberg übte er aber noch viele Jahre weiterhin aus.

Natürlich gehören zum Leben eines Denkmalpflegers nicht nur Erfolge. Auch Heinrich Douffet musste Niederlagen einstecken. Sein Protest gegen die Sprengung der Leipziger Universitätskirche 1968 verhallte ungehört, und der Verlust des spätgotischen Eckhauses Nonnengasse 15 in Freiberg schmerzt bis heute. Auch nach der politischen Wende blieb Heinrich Douffet ein kritischer Geist. So protestierte er offen gegen Fehlentwicklungen bei der Umsetzung des Programms „Stadtumbau Ost“. Auch wenn hier, durch Abrisse verursacht, große Verluste zu verzeichnen waren, gelang es doch, wenigstens einige der geplanten Abbrüche zu verhindern. Heinrich Douffet gehörte auch zu den Denkmalpflegern und Mitgliedern des Freiburger Altertumsvereins, die sich 2010 öffentlich gegen die Novellierung des Sächsischen Denkmalschutzgesetzes ausgesprochen haben.

Enge Weggefährten Heinrich Douffets auf dem Gebiet der Denkmalpflege waren Prof. Otfried Wagenbreth, Dr. Elisabeth Hütter, Prof. Hans Nadler, Dr. Jochen Helbig und Prof. Heinrich Magirius. Aus Freiberg sind dazu noch Ralph Ostmann, Dr. Volker Benedix und Prof. Eberhard Wächtler zu nennen. Vonseiten der Archäologie darf bei dieser noch unvollständigen Aufzählung Arndt Günhe nicht fehlen.

Seit dessen Wiedergründung 1990 gehörte Heinrich Douffet dem Freiburger Altertumsverein e. V. an. Neben zahlreichen

Obermarkt 1. Das Gebäude wurde unter maßgeblicher Beteiligung von Heinrich Douffet als eines der ersten Häuser in Freiberg 1975/77 unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten instand gesetzt.



Links:
Kopie des Spätrenaissance-
portales von 1976/77

Rechts:
Restaurierte Lehmfelderdecke
im 1. Obergeschoss



Fotos: Günter Gailinsky

Vorträgen, Exkursionen, Stadtführungen und Veröffentlichungen ist vor allem sein großes Engagement bei der Erarbeitung der Denkmaltopographie der Stadt Freiberg hervorzuheben. 2004 wurden der Freiburger Altertumsverein e. V. und das Geschwister-Scholl-Gymnasium als Träger des Projekts „Denkmaltopographie“ vom Deutschen Nationalkomitee für Denkmalschutz mit der Silbernen Halbkugel, dem höchsten deutschen Preis für Denkmalschutz, ausgezeichnet. Mit drei umfangreichen Beiträgen zur Geschichte der Freiburger Friedhöfe, der Vorstädte und zur Geschichte der Denkmalpflege in Freiberg trug Heinrich Douffet maßgeblich zum Gelingen dieses Vorhabens bei.

Im Jahr 2004 erhielt er für seine Verdienste um die Erhaltung der Freiburger Denkmallandschaft den Andreas-Möller-Geschichtspreis, und im Jahr 2014 ernannte ihn der Freiburger Altertumsverein aufgrund seiner großen Leistungen zur Bewahrung wichtiger Denkmale in Freiberg und Sachsen sowie zur Erforschung der Stadt- und Regionalgeschichte zu seinem Ehrenmitglied.

Für sein engagiertes Wirken zum Schutz und zur Erhaltung zahlreicher Denkmale und des historischen Stadtbilds von Freiberg wurden Heinrich Douffet weitere Auszeichnungen verliehen. Er erhielt 1982 die Stadthorenplakette in Silber, 1986 den Architekturpreis des Bezirks Karl-Marx-Stadt und 2005 den Bürgerpreis der Stadt Freiberg. Mit der Verleihung der Ehrenbürgerwürde wurde ihm 2017 auf Beschluss des Stadtrats die

höchste Auszeichnung der Stadt Freiberg zugesprochen.

Heinrich Douffet ist zudem einer der Initiatoren zur angestrebten Aufnahme der Montanregion Erzgebirge in die UNESCO-Liste des Weltkulturerbes, wofür er sich bis zu seinem Tode einsetzte.

Heinrich Douffet hat an über 100 Buch- und Zeitschriftenveröffentlichungen mitgewirkt und diese durch eigene Beiträge bereichert. Sein hohes Allgemeinwissen und seine exzellenten Fachkenntnisse sind darin eingeflossen. So war er u. a. Mitautor an den 1986 und 1990 erschienenen Büchern „Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte“ sowie „Bergbau im Erzgebirge. Technische Denkmale und Geschichte“. Hervorzuheben ist zudem sein Aufsatz zur Fertigstellung der Westfassade des Freiburger Doms im Mitteilungsheft 99 des Freiburger Altertumsvereins aus dem Jahr 2007, in dem er anhand der Pläne zur Vollendung des Freiburger Doms die kulturellen und architektonischen Wandlungen in den frühen Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts beschreibt. In der Zeitschrift „Sächsische Heimatblätter“ hat Heinrich Douffet seit 1986 vornehmlich über Denkmale publiziert. Von 1992 bis zu seinem Tode war er Mitglied im wissenschaftlichen Redaktionsbeirat dieser unabhängigen Zeitschrift für Sächsische Geschichte, Denkmalpflege, Natur und Umwelt. Nach der politischen Wende 1989/90 setzte er sich tatkräftig für den Erhalt und das Weitererscheinen dieser traditionsträchtigen Zeitschrift ein. Sein

Wirken reichte weit über die Stadtgrenzen Freibergs hinaus, was nicht nur seine Mitgliedschaft in zahlreichen Geschichts- und Denkmalschutzvereinen in Sachsen und in Deutschland belegt.

Viel hat ihm auch das Freiburger Stadt- und Bergbaumuseum zu verdanken, dem er nicht nur seine Postkartensammlung übergab, sondern auch sonst stets behilflich war. Die Entwicklung des Museums, seiner Sammlungen und seiner Ausstellungen war ihm eine Herzensangelegenheit. Diese Feststellung trifft auch auf das Freiburger Stadtarchiv zu, dem er viele seiner Bücher und Archivalien vermachte.

Der Technischen Universität Bergakademie Freiberg war Heinrich Douffet sein Leben lang eng verbunden, was nicht nur in seinen Mitgliedschaft im Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. zum Ausdruck kam.

Heinrich Douffet betreute noch bis kurz vor seinem Tode ein Projekt des Freiburger Altertumsvereins zur Edition einer Landkreischronik in Zusammenarbeit mit den Ortschronisten. Bis zum Ende seines Lebens war er voller Enthusiasmus und Ideen, wenn es um Probleme der Denkmalpflege ging. Auch nach dem Abschied von seiner Gattin Sonja Douffet († 25.6.2014) resignierte er nicht, sondern sah noch viele Aufgaben anstehen, deren Lösung er zumindest anstoßen wollte.

Heinrich Douffet bleibt uns als tatkräftiger, hartnäckiger, aber auch hilfsbereiter und uneigennütziger Fachkollege und Freund stets in guter Erinnerung.

■ Uwe Richter und Ulrich Thiel

Thomas Morel: Von der akademischen zur praktischen Mathematik (1765–1851): Mathematisch-technische Bildung zwischen sächsischer Bergakademie und polytechnischer Schule Dresden. Berlin: Diachron 2015.

Pünktlich zum 250. Jubiläumjahr der TU Bergakademie Freiberg erschien das Buch des Franzosen Thomas Morel, das auf seiner an der Universität Bordeaux entstandenen Dissertation beruht, für die er dort mit einem Preis geehrt wurde. Und in der Tat hat er preiswürdige neue Erkenntnisse gewonnen und für den frühen Erfolg der Bergakademie, der Forstakademie Tharandt und der Polytechnischen Schule Dresden, der heutigen TU Dresden, eine überzeugende Erklärung gefunden.

Zwischen 1750 und 1850 begannen sich die Ingenieurwissenschaften zu formen, beispielsweise die Mechanik oder Hydraulik (Strömungslehre). Ihre ersten Vertreter waren jeweils Mathematiker, die sich physikalischen und technischen Problemen zuwandten. Erst in einem langen Entwicklungsprozess verselbständigten sich die durch Anforderungen der Praxis weiterentwickelten Theorien zu eigenständigen Wissenschaften. Der Autor legt dar, dass an den damaligen Universitäten nicht der richtige Ort war, um diesen Prozess zu befördern. Dort trieb man ehrenwerte akademische Mathematik. Dagegen war für die Bergakademie praktische Mathematik erforderlich, da die „sächsische Regierung ... die Bergakademie vor allem gegründet (hatte), um fähige Techniker auszubilden.“ Also konnte die Mathematik-Ausbildung nicht nur der Verstandeschulung dienen.

Der erste Mathematikprofessor der Bergakademie, Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier, versuchte, eine akademische Mathematik-Ausbildung nach dem Beispiel der Universitäten zu etablieren. Damit stieß er auf Kritik. Sein Nachfolger, Johann Friedrich Lempe, wählte als Bergakademie-Absolvent und späterer Lehrer an der Freiburger Bergschule den bergakademietypischen Weg, Mathematik auf gutem Niveau (auch er hatte in Leipzig Mathematik studiert) in den Anwendungen zu betreiben, in Lehre und Forschung. Dementsprechend verfasste er eigene Lehrbücher, die beim Oberbergamt Gefallen fanden, und verstärkte den angewandten Aspekt in der Ausbildung. Seine Studenten hatten zahlreiche praktische montanistische Probleme zu lösen und lernten dabei das mathematische Modellieren. Ferner gab Lempe die Zeitschrift Magazin für die Bergbaukunde heraus. „Die Existenz dieser Zeitschrift belegt, dass die Mathematik an der Bergakademie nicht nur als Werkzeug oder Hilfswissenschaft betrieben wurde. Obwohl das Magazin nicht nur der Mathematik gewidmet ist, nimmt diese den ersten Platz ein.“ Ganz offensichtlich schätzt der Autor Lempe außerordentlich. Damit stimmt er auch mit Zeitgenossen Lempes überein, zum Beispiel mit Alexander von Humboldt.

Lempe erhielt dank der klugen systematischen Wissenschaftspolitik des sächsischen Staats gleichgesinnte Nachfolger: Friedrich Gottlieb von Busse („seine akademische Ausbildung machte ihn für A.G. Werner akzeptabel und seine praktische Erfahrung als Ingenieur beruhigte Charpentier“), Daniel Friedrich Hecht und Albin Julius Weisbach. Mit wachsendem wissenschaftlichem Niveau trieben sie die Entwicklung voran, und die Bergakademie wurde „die sächsische Lehranstalt, an der die Mathematik am stärksten vertreten ist“. „Die Mathematik wurde de facto das Fach, nach dem die Akademisten ausgewählt und eingeschätzt wurden.“

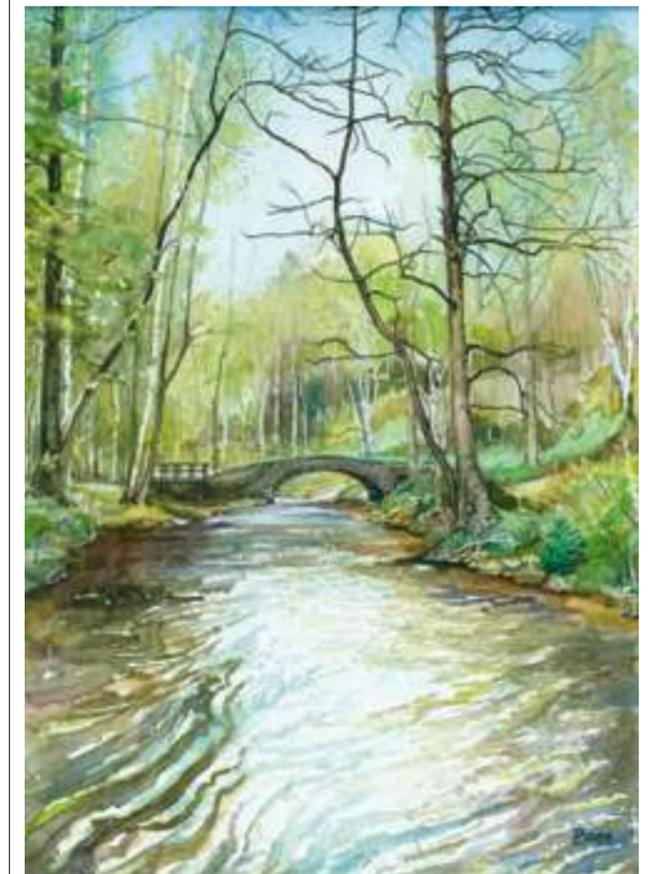
Die Rolle der Mathematisierung beschreibt der Autor sehr detailliert anhand der Entwicklung des Markscheidewesens, zumal „die Zeitperiode der theoretischen Entwicklung der Markscheidekunst genau dem ... untersuchten Zeitraum“ entspricht. Er beginnt mit Friedrich Wilhelm von Opperl, der als junger Mann

mit seinem Werk Analysis Triangulorum eine mathematische Spitzenleistung vollbracht hatte und würdigt dann die Leistung Lempes, „mathematische Definitionen für alle Fachbegriffe zu liefern“ und endet schließlich mit Weisbach, durch den das Markscheidewesen seine höchste Vollendung fand, sowohl mathematisch als auch gerätetechnisch.

Der Autor fokussiert sich nicht nur auf die Bergakademie, sondern betrachtet auch die Vorläuferinstitutionen der heutigen TU Dresden in Dresden und Tharandt sowie der TU Chemnitz und Hochschule Zittau. Er beschreibt, wie der sächsische Staat Mitte des 19. Jahrhunderts erneut seine Wissenschaftspolitik auf ein zukunftsträchtiges Gebiet orientierte, nun mit dem Ziel der umfassenden Nutzung der Dampfkraft und des Eisenbahnwesens. Wieder spielte die angewandte Mathematik eine entscheidende Rolle. Trotz Siebenjährigen Kriegs und den Niederlagen in den Napoleonischen Kriegen und im Deutschen Krieg von 1866 war Sachsen Ende des 19. Jahrhunderts wirtschaftlich führend in Deutschland. Das ist sicher (mit) eine Folge der klugen Wissenschaftspolitik Sachsens.

Das Buch wird abgerundet durch eine lange Serie von Kurzbiographien sächsischer Mathematiker der Zeit zwischen 1765 und 1851 sowie durch verschiedene Lehrpläne.

■ Dietrich Stoyan



Der Verein wünscht mit dem Aquarell „Frühling im Bobritzschtal bei Falkenberg, Schafbrücke“ seines Mitglieds Dr. Peter Czolbe allen Lesern der ACAMONTA ein frohes Weihnachtsfest und ein gesundes neues Jahr 2018!

Autorenverzeichnis

- Prof. Dr. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Christos G. Aneziris, TU Bergakademie Freiberg
- Kerstin Bellmann, BA, TU Bergakademie Freiberg
- Veronika Bellmann, MdB Deutscher Bundestag
- Wiebke Berkel, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Horst Biermann, TU Bergakademie Freiberg
- Angelina Böhnisch, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Hartmut Bombach, Freiberg
- Prof. Dr. Jan Bongaerts, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Constance Bornkamp, VFF
- Haina Chen-Konietzky, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Markus Dod, Chemnitz
- Dr. Kay Dornich, Freiberg
- Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Steffen Dudczig, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Michael Düsing, Freiberg
- Dipl.-Kfm. Jürgen Eschment, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Undine Fischer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gero Frisch, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Peter Fröhlich, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Magnus Fröhling, TU Bergakademie Freiberg
- Michael Gäbelein, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Soz. Doris Geburek, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Manfred Goedecke, Oberschöna
- Prof. Dr. Gerd Grabow, Freiberg
- Nicoleta Gurita, M.B.A., TU Bergakademie Freiberg
- Anne Haufe, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ind. Arch. Peter Hauschild, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Michael Hinner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gottfried Jäckel, Freiberg
- Prof. Dr. Liv Jaeckel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Manfred John, Freiberg
- Dipl.-Ing. Susanne Kandler, TU Bergakademie Freiberg
- Carolin Kaufhold, Freiberg
- Dipl.-Kffr. Claudia Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. rer. nat. Christin Kehrner, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. med. Peter Klose, Burg
- Prof. Dr. Jens Kortus, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hartmut Krause, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Armin Krauß, Freiberg
- Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar, VFF
- Oberbürgermeister Sven Krüger, Freiberg
- Dipl.-Bibl. (FH) Angela Kugler-Kießling, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Ingrid Lange, TU Bergakademie Freiberg
- Jan-Michael Lange, Dresden
- Ass. jur. Theresa Lemser, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Dietmar Leonhardt, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Freiberg
- Prof. e. h. Dipl.-Ing. Timo Leukefeld, Freiberg
- Dipl.-Ing. Reinhard Lohmeier, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Chem. Gunther Martin, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Andreas Massanek, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Falk Meutzner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dirk C. Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Peter Michel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Manfred Mücke, Dresden
- Dr. rer. nat. Cornelius Oertel, TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Otte, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Karen Pittel, Ifo München
- Dipl.-Ind. Arch. Stefanie Preißler, VFF
- Prof. Dr. Andreas Rehkopf, TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Reimann, Freiberg
- Prof. Dr. Markus Reuter, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Dr. Uwe Richter, Freiberg
- Prof. Dr. Gerhard Roewer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Götz-Peter Rosetz, Freiberg
- Philip Rößger, M.Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dirk Rübbecke, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Eckhard Frank Sandig, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Hdl. Emily Schemmel, DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg
- Prof. Dr. Michael Schlömann, TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Schmalz, Studentenwerk Freiberg
- Prof. Hans-Ferdinand Schramm, Sparkasse Mittelsachsen
- Dipl.-Math. Sebastian Schwarz, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Rüdiger Schwarze, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Karin Sichone, Freiberg
- Prof. i. R. Dr. Dieter Slaby, Freiberg
- Richard Stanulla, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr. Dietrich Stoyan, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jutta Stumpf-Wollersheim, TU Bergakademie Freiberg
- Eva Stützer, Freiberg
- Dr. Ulrich Thiel, Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg
- Dipl.-Geol. Peter Tschernay, TU Bergakademie Freiberg
- Staatsminister Prof. Dr. Georg Unland, Sächsisches Staatsministerium der Finanzen
- Guido van den Berg, Mitglied des Landtags von Nordrhein-Westfalen
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. i. R. Dr. Rainer Vulpius, Brand-Erbisdorf
- Dr.-Ing. Rolf-Michael Wagner, Gommern
- Prof. Dr. Steffen Wagner, TU Bergakademie Freiberg
- Anja Weigl, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Annett Wulkow, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Dr.-Ing. Christina Wüstefeld, TU Bergakademie Freiberg

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. Hans-Ferdinand Schramm
 Geschäftsführer: 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/wirtschaft/stiften-foerdern/freunde-foerdere>

Gestaltung/Satz: Brita Gelius
 Druck: Erzdruk GmbH, Marienberg
 Auflage: 1.700

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.

Jahresbeitrag: 30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder
 Redaktionsleitung: Prof. Dr. Gerhard Roewer
 Redaktionskollegium: Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Dr. Herbert Kaden,
 Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, Prof. Dr. Peter Seidelmann,
 Prof. Dr. Ulrich Groß, Prof. Dr. Steffen Wagner

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., 2017
ISSN 2193-309X