



ACAMONTA

Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

26. Jahrgang 2019



Editorial

Liebe Leserinnen und Leser, liebe Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg,

das große Universitätsjubiläum liegt nun bereits etwas zurück – doch auch in diesem Jahr konnte wieder ein 250. Geburtstag gefeiert und bedeutender Persönlichkeiten, die aus der Bergakademie hervorgegangen sind sowie wichtiger Ereignisse gedacht werden, die die Entwicklung unserer Hochschule beeinflusst haben.

Über das gesamte Jahr verteilt fanden – zum Teil gemeinsam mit der Stadt Freiberg organisierte – Veranstaltungen anlässlich des 250. Geburtstags unseres wohl berühmtesten Absolventen, Alexander von Humboldt, statt, dessen Wirken in der vorliegenden ACAMONTA in mehreren Beiträgen in den Blick genommen wird (Ette, Knobloch, Heilmeier, Gerhards, Cramer, Pohl, Kühn, Docekal, Naumann, Neumann). An Humboldt und seine Südamerika-Reise knüpft nahtlos der Beitrag zur Entdeckung von Elementen durch Professoren und Absolventen der Freiburger Alma mater an – nämlich des Germaniums und des Indiums durch akademische Lehrer sowie des Wolframs und des Vanadiums durch Absolventen – letzteres zeigt die Abhandlung von Haustein et al., die aus Anlass des 150. Jahrestages der Erstellung des Periodensystems der Elemente verfasst wurde. Mit diversen Veranstaltungen beging man 2019 zudem „100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk“ (Mischo) und „100 Jahre Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen“ (Krzack) sowie „10 Jahre terra mineralia“ (Pohl). All diese Jubiläen gaben Anlass, den über die lange Zeit ihres Bestehens und Wirkens gelieferten Beitrag dieser Einrichtungen in Forschung und Lehre an der TU Bergakademie zu beleuchten und auf aktuelle Entwicklungen einzugehen. Dass insbesondere das Forschungs- und Lehrbergwerk von einer Vielzahl von Instituten der Universität wie auch von außeruniversitären Einrichtungen als Standort für Forschungslaboratorien und Versuchsstrecken genutzt und geschätzt wird, zeigen die Beiträge zum Real-Time Mining (Benndorf), zur Gewinnung von Hochtechnologieelementen für die Elektromobilität (Haseneder), zu Weiterentwicklungen im Bohrlochbergbau (Shepel) oder zu den Arbeiten der Nachwuchsforschergruppe Innocrush (Drebenstedt). Die enge

Kooperation mit dem Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie ist ein wichtiger Impulsgeber für die Renaissance der Freiburger Flotationsforschung (Rudolph).

Der Forschung und Lehre an der Bergakademie seit Anbeginn prägende Leitgedanke *theoria cum praxi* kommt in Beiträgen zum Thermit®-Schweißen (Riehl) oder zu additiven Fertigungsverfahren (Zeidler) zum Ausdruck, wobei insbesondere letztere seit diesem Jahr verstärkt in die Ausbildung integriert sind und wertvolles Wissen in einem neuen Bachelorstudiengang vermittelt wird (Zeidler, Rogler). Weitere Beispiele für die Theorie und Praxis in sich vereinende Lehre zeigen die Ausführungen zum Studium an der Professur für Gas- und Wärmetechnische Anlagen (Wesolowski) oder zum Einsatz einer Sessile-Drop-Anlage am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe (Fankhänel).

Eine ausgeprägte Förderkultur findet an der TU Bergakademie auf vielfältige Weise ihren Ausdruck: Über Stiftungen werden Forschungsprojekte finanziert (Oelschlägel), Studierende erhalten Deutschland- oder Leistungsstipendien (Grunenberg, Werner, Holler, Neubert) und der VFF der TU Bergakademie Freiberg e. V. vergibt Zuschüsse für Expeditionen, Konferenzbesuche sowie an Migranten, die damit ein wenig besser abgesichert studieren können.

Die Arbeit des Redaktionskollegiums wurde im April dieses Jahres in tragischer Weise vom Tod unseres langjährigen Redaktionsleiters, Professor Gerhard Roewer, überschattet, der durch seine unermüdliche Agilität, seinen Enthusiasmus, seine wissenschaftliche Geltung und seine demgemäß hohen Ansprüche an das Niveau der zu veröffentlichenden Beiträge die ACAMONTA zu einer Zeitschrift gemacht hat, die weit über unsere Universität und über Freibergs Grenzen hinausreichende Beachtung findet und durch ihren Mix aus Beiträgen zu aktuellen Ereignissen, längerfristigen Entwicklungen und zum allgemeinen Universitätsleben die vielfältigen Facetten unserer Universität widerspiegelt.

Besonderen Dank spricht das Redaktionskollegium Frau Dr. Erika Krüger aus, die seit letztem Jahr die ACAMONTA als Mitherausgeberin finanziell unterstützt und mit regem Interesse die Entstehung der Ausgaben der Zeitschrift verfolgt.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Annett Wulkow Moreira da Silva

Autorenverzeichnis 4
 Geleitwort des Vorstandsvorsitzenden (H.-F. Schramm) 6

Ressourcenuniversität TU Bergakademie Freiberg
 Gedanken zum Umweltschutz (D. Shaozhong) – Du Shaozhong –
 ein jahrelanger Advokat für den Umweltschutz (F. Wei) 7

250. Geburtstag von Alexander von Humboldt
 Alexander von Humboldt und die Naturwissenschaften (E. Knobloch) 9
 Von den „Florae Fribergensis Specimen“ zu den „Ideen zu
 einer Geographie der Pflanzen“: Humboldt als Wegbereiter
 der Pflanzengeographie (H. Heilmeier) 12
 Alexander von Humboldt: Einführung in ein Leben und Wirken
 in ständiger Bewegung (O. Ette) 16
 Alexander von Humboldt und die Gefahrenabwehr
 am Familienschacht (B. Cramer) 18

Stiftungen
 Zum 10-jährigen Jubiläum der Terra Mineralia (B. Pohl) 22
 Entwicklung neuer Strategien zur biotechnologischen
 Gewinnung wirksamer Antioxidantien
 (M. Oelschlägel, A. Stuhr, A. Pollender, D. Ganz) 24

Forschung an der TU Bergakademie Freiberg
 Geomathematik und Geoinformatik an der TU Bergakademie
 Freiberg (C. Gerhards, P. Menzel) 27
 Real-Time Mining: Ergebnisse aus dem Europäischen Projekt
 zur Digitalisierung im Bergbau (J. Benndorf) 30
 Weiterentwicklungen im Bereich des Bohrlochbergbaus
 von festen mineralischen Rohstoffen (T. Shepel, C. Drebenstedt) 32
 Nachhaltige Gewinnung von Hochtechnologieelementen
 für die Elektromobilität mittels In-situ-Extraktion
 und Fraktionierung (R. Haseneder, K. Götz) 34
 Eine Renaissance der Freiburger Flotationsforschung – A Fine Future
 in der Helmholtzgemeinschaft (M. Rudolph, K. Eckert) 38
 Bergbau mit Pflanzen – Bioakkumulation von Wertstoffen für
 eine umweltfreundliche Ressourcengewinnung
 (H. Heilmeier, O. Wiche, I. Aubel, M. Bertau, E. Ferchau) 40
 Vorstellung des ERC-Starting-Grant-Projekts (A. S. Bräuer) 44
 Thermit®-Schweißen – ein traditionelles Verfahren im Aufbruch
 (I. Riehl, U. Groß, T. Fieback, J. Hantusch) 45
 Harmonische Prinzipien elementarer Kristalle
 (M. Zschornak, T. Lemser, T. Tauscher, D. C. Meyer) 49
 Kombination von neuen Fertigungsverfahren und nachhaltigen
 Materialien: nachwachsende Rohstoffe in der
 additiven Fertigung (H. Zeidler) 53
 Berichterstattungsqualität am Beispiel der
 IFRS-Anhangberichterstattung (T. Nell) 58
 Nachwuchsforschergruppe InnoCrush – Holistischer Ansatz
 zur intelligenten Gesteinszerkleinerung (C. Drebenstedt, B. Grafe) 61
 CO₂-Chemisch-materialtechnische Verwertung mit Hilfe
 von Aminosilanen (S. Schwarzer) 66

Universität aktuell
 Die TU Bergakademie Freiberg ist Welterbe! (H. Albrecht) 68
 100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk (H. Mischo) 73
 65 Jahre Lehr- und Forschungsgebiet Tagebau
 an der TU Bergakademie Freiberg (W. Gaßner) 76
 100 Jahre Institut für Energieverfahrenstechnik und
 Chemieingenieurwesen an der TU Bergakademie Freiberg
 (S. Krzack, R. Schimpke, S. Kureti, B. Meyer) 79

Rezension des Buches: Stoffliche Nutzung von Braunkohle
 (J. Hannes, M. Neuroth) 83
 100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht an der (TU)
 Bergakademie Freiberg (S. Preißler, K. Wopat) 86
 Silberboom – Schauplatz Erz (H. Mischo, C. Hünert) 88
 Ausgründungsförderung an der TU Bergakademie Freiberg
 (R. Kawalla, A. Uhlmann, J. Grigoleit) 90
 Neue Pilotanlage zur ressourceneffizienten Erzeugung von
 Magnesium-Langprodukten
 (R. Kawalla, U. Prahl, M. Ullmann, M. Oswald, J. Grigoleit) 92
 Neuer Supercomputer am Campus (D. Simon, A. Winterstein) 94
 Kolumne: Das Freiberg-Syndrom (E. Stützer) 95
 Richtfest für das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-
 Stoffwandlung (ZeHS) (D. C. Meyer, T. Lemser) 96
 TU Bergakademie Freiberg beteiligt sich an der Fachkräfteinitiative
 GlasCampus Torgau (S. Rudolf, J. Engelhardt, M. Kilo, J. Grigoleit) 98
 Professorinnenprogramm des BMBF (E. Weißmantel) 100
 Vorstellung des Forschungs- und Lehrbergwerks
 im europäischen Kontext (E. Weißmantel) 100
 Montanportal (B. Wagenbreth) 100
 Open Access für Kulturelles Erbe (A. Kugler-Kießling) 101
 Deutschlernen mit Familienanschluss (A. Weigl) 101
 Das Collegium Musicum der TU Bergakademie Freiberg e. V.
 (C. Dommaschk, U. Pöschmann, C. Kallmeier) 102
 Der Fassathlon – eine von Freiburger Studenten entwickelte
 Traditionssportveranstaltung (J. Grigoleit) 103
 Neue Studiengänge an der TU Bergakademie Freiberg (S. Rogler) 106
 Spitzenförderung für Spitzenschüler: Das Leistungsstipendium
 der TU Bergakademie Freiberg (C. Grunenberg) 108
 Leistungsstipendiatin Clarissa Werner 108
 Deutschlandstipendiatin Elena Holler 109
 Deutschlandstipendiat Richard Neubert 110
 Einsatz der Sessile-Drop-Methode in Lehre und Forschung
 (B. Fankhänel, M. Stelter) 111
 Gas geben in der Energiewende (S. Wesolowski, H. Krause, S. Franke) 112
 Veranschaulichung komplexer Lehrinhalte durch Modellversuche
 (M. Kröger) 114
 Mixed-Reality-Technologien unterstützen Aus- und Weiterbildung
 (T. Shepel, C. Drebenstedt, B. Jung, D. Eger-Passos) 114
 Tag der Lehre an der TU Bergakademie Freiberg (S. Rogler) 117
 Den eigenen Lehrerfolg quantifizieren – am Beispiel einer
 didaktischen Umstellung in der Physik (M. de Vivanco,
 T. Umlauf, T. Hanauer, C. Funke, D. C. Meyer) 118
 Vorlesung Historische Strömungsmaschinen (R. Schwarze) 120
 Universität zum Kennenlernen – Die Gewinnung von Studierenden
 beginnt in der Schule (S. Rogler) 120
 Ein Volltreffer: Internationaler Masterstudiengang:
 Mechanical and Process Engineering (K. Sichone) 122
 Internationaler Masterstudiengang Advanced Mineral Resource
 Development – weltweit größtes Ausbildungsnetzwerk
 im Rohstoffsektor (C. Drebenstedt) 123
 Zusammenarbeit mit der Universidad Camilo José Cela
 in Madrid (F. Dietzmann) 125
 „Freiberg hat viele Vorteile!“ Was internationale Studierende
 in die Bergstadt zieht (A. Weigl) 126
 Kooperation mit der Silesian University of Technology in Gliwice
 mündet in erste deutsch-polnische Doppelpromotion an der
 Fakultät für Wirtschaftswissenschaften (C. Kawalla) 128
 Reisetagebuch: Auf den Spuren Alexander von Humboldts
 durch Westsibirien, den Altai und Ostkasachstan
 (A. Docekal, F. Damaschun, C. Eckert, G. Heide) 129

„Dieses Jahr ist mir das wichtigste meines unruhigen Lebens geworden.“ Alexander von Humboldts russisch-sibirische Reise im Jahr 1829 (F. Naumann)	134
Die Alexander von Humboldt-Stiftung zu Gast an der TU Bergakademie Freiberg (A. Fröde)	137

Aus dem Vereinsleben

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2018 (H.-J. Kretzschmar)	138
Software, Schaum und Synergie – Jahresrückblick des Freiburger Alumni Netzwerks (FAN) (S. Preißler, C. Bornkampf)	140
Wirtschaftlich-technische Untersuchungen zu Lebenszykluskosten von schwimmenden Offshore-Windenergieanlagen (OffWEA) (M. Kausche)	142
Von Mensch-Mensch-Demonstrationen zu Mensch-Roboter-Interaktionen – Wie Roboter lernen, Lego-Raketen gemeinsam mit Menschen zusammenzubauen (D. Vogt)	146
Ultrahochfeste und gleichzeitig duktile CrMnNi-C-N-Stahlgusslegierungen (M. Wendler)	149
Haftkräfte zwischen technisch rauen Oberflächen (J. Fritzsche)	151
Besuch der europäischen Sommerschule zu Energiefragen der Zukunft (V. Garbe)	154
Fachexkursion an die Hochschule Neubrandenburg (T. Otto)	155
Exkursion der AAPG und EAGE Student Chapter zur Firmenführung bei ENI in Mailand (A. Schmidt)	155
Schwermineralexploration im Murray-Becken (M. Köhler)	156
„Halophiles 2019“ – die zwölfte internationale Konferenz zu halophilen Mikroorganismen (G. Haferburg)	158
Forschungsaufenthalt zur Optimierung von Enzymimmobilisierung in Polen (M. Voitel)	159
St.-Barbara-Stipendium des Fördervereins VFF der TU Bergakademie Freiberg (K. Schönfelder, H.-J. Kretzschmar)	160
Gedenktafel für Professor Heinrich Schubert enthüllt (S. Preißler)	160

Historie

Chronik 2020 (R. Volkmer)	161
Alexander von Humboldt – Nachlesen (N. Pohl)	162
Alexander von Humboldt als Pionier der Geothermie (P. Kühn)	164
Alexander von Humboldt in seiner preußischen Bergbeamtenuniform (K. Neumann)	164
150 Jahre Periodensystem der Elemente: Freiburger Entdeckungen (M. Haustein, B. Seidel-Bachmann, A. Wulkow Moreira da Silva)	168
Freiberger Forschungen zur Mechanochemie, zur mechanischen Aktivierung und zum mechanischen Legieren (H. Heegn, B. Hoffmann)	174
Vom kartierenden Geologen zum weltbekannten Professor – Zum 100. Todestag von Carl Richard Beck (G. P. Rosetz, G. Heide)	178
Zum 200. Todestag von Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra (G. Grabow)	180
Zum 150. Todestag: Carl August Junge – ein Praktiker auf dem Gebiet der Markscheidekunst (K.-H. Löbel, G. Grabow, E. Wegert)	181
Serviceeinrichtung und Wirtschaftsbetrieb der Bergakademie – Otto Felix Edelmann und die Mineralienniederlage der Bergakademie Freiberg, 1933 bis 1945 (M. Vigener)	182
Sabine Ebert: Zwei exklusive Essays zu Freibergs Historie. Jubiläumsedition der ersten Freiburger Stadtschreiberin (D. Stoyan)	184
Das Saturnfest 1719 im Plauenschen Grund bei Dresden (J. Kugler)	184

Personalia

Prof. Dr. Gerhard Roewer verstorben (Rektorat der TU Bergakademie Freiberg, Förderverein VFF, Freiburger Ortsverband der GDCh)	187
Nachruf für Prof. Dr. Karl-Armin Tröger (C. Breitzkreuz, D. Stoyan)	187
Professor Karl-Armin Tröger und sein wissenschaftlicher Nachlass (A. Kugler-Kießling)	188
Nachruf auf Prof. Dr. Rolf Steinhardt (G. Walter, H. Krause)	189
Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder	189
Martin Guntau verstorben (W. Pälchen, M. Störr, A. Kugler-Kießling)	190
Universitätsmedaille für Professor Hans Michael Eßlinger (E. Weißmantel)	190
Neue Professorin/Neuer Professor berufen	191
Geburtstage unserer Vereinsmitglieder	191

Herausgeber: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Frau Dr. Erika Krüger

Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. (VFF)

Vorsitzender: Prof. Hans-Ferdinand Schramm
 Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar
 Postanschrift: Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.
 Akademiestraße 6, 09599 Freiberg
 Geschäftsstelle: Nonnengasse 22, 09599 Freiberg
 Telefon: +49 (0)3731 39-2559, 39-2661
 E-Mail: freunde@zv.tu-freiberg.de
 Internet: <https://tu-freiberg.de/wirtschaft/stiften-foerdern/freunde-foerderer>
 Jahresbeitrag: 30 EUR Einzelmitglieder; 250 EUR juristische Mitglieder

Redaktionsleitung: Annett Wulkow Moreira da Silva
 Redaktionskollegium: Prof. Dr. Gerhard Roewer, Wissenschaftsredaktion (†)
 Prof. Dr. Peter Seidelmann, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann,
 Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Prof. Dr. Ulrich Groß
 Gestaltung/Satz: Brita Gelius
 Druck: Erzdruck GmbH, Marienberg
 Auflage: 1.300

Die ACAMONTA 2019 kann über folgenden Link abgerufen werden:
<https://tu-freiberg.de/wirtschaft/stiften-foerdern/freunde-foerderer/publikationen>

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. Die Autoren sind für verantwortlich für die Verwendung namentlich nicht gekennzeichnete Abbildungen in ihren Beiträgen. Auszugsweiser Nachdruck von Beiträgen bei Angabe von Verfasser und Quelle ist gestattet. Im Sinne der Wünsche von Autoren und Lesern nach detaillierterer Information hat das Redaktionskollegium eine relativ hohe Anzahl von Quellenangaben für einzelne Beiträge akzeptiert. Die Art der Literaturzitation wurde aufgrund der unterschiedlichen Fachgebiete dabei jeweils den Autoren überlassen.

Männliche/weibliche Form: Aus Gründen der Vereinfachung und besseren Lesbarkeit ist in den Beiträgen gelegentlich nur die männliche oder die weibliche Form verwendet worden. Wir bitten, fehlende Doppelnennungen zu entschuldigen.

© Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., 2019
 ISSN 2193-309X

- Prof. Dr. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Ines Aubel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Jörg Benndorf, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Martin Bertau, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Constance Bornkampff, VFF
- Prof. Dr. Andreas Siegfried Bräuer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Christoph Breittkreuz, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Bernhard Cramer, Freiberg
- Dr. Ferdinand Damaschun, Berlin
- M.Sc. Franz Dietzmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Andrea Docekal, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Claudia Dommaschk, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Carsten Eckert, Gotha
- Prof. Dr. Kerstin Eckert, TU Dresden/HZDR
- M.Sc. Daniel Eger-Passos, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Jonathan Engelhardt, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Ottmar Ette, Universität Potsdam
- Dr. Beate Fankhänel, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. (FH) Erik Ferchau, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Tobias Fieback, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Steffen Franke, DBI – Gasttechnologisches Institut gGmbH Freiberg
- Dr. Jörg Fritzsche, Chemnitz
- M.A. Alena Fröde, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Claudia Funke, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Dagmar Ganz, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Valentin Garbe, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Wolfgang Gaßner, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Christian Gerhards, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Katja Götze, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gerd Grabow, Freiberg
- Dipl.-Ing. Bruno Grafe, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Jens Grigoleit, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Ulrich Groß, TU Bergakademie Freiberg
- Ass. jur. Christin Grunenberg, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Götz Haferburg, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Thomas Hanauer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Jens Hannes, RWE Power AG Essen
- Dr. Jan Hantusch, Goldschmidt Thermit GmbH
- Dr. Roland Haseneder, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Mike Haustein, Hartmannsdorf
- Prof. Dr. Hanspeter Heegn, Freiberg
- Prof. Dr. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hermann Heilmeyer, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Brigitte Hoffmann, Freiberg
- Elena Holler
- Melanie Höser
- M.A. Cornelia Hünert, Projektkoordinatorin für Silberboom
- Prof. Dr. Bernhard Jung, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geol. Manuela Junghans, TU Bergakademie Freiberg
- M.A. Claudia Kallmeier, TU Dresden
- Dr. Michael Kausche, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Claudia Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Rudolf Kawalla, TU Bergakademie Freiberg
- PD Dr. Martin Kilo, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Eberhard Knobloch, Berlin
- Dipl.-Ing. Mario Köhler, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hartmut Krause, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar, VFF
- Prof. Dr. Matthias Kröger, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Steffen Krzack, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Jens Kugler, Großschirma
- Dipl.-Bibl. (FH) Angela Kugler-Kießling, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Peter Kühn, Berlin
- Dr. Dana Kuhnert, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Sven Kureti, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Ingrid Lange, TU Bergakademie Freiberg
- Ass.jur. Theresa Lemser, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Karl-Heinz Löbel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Peter Menzel, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Bernd Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Dirk C. Meyer, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Helmut Mischo, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Friedrich Naumann, Chemnitz
- Dr. Tobias Nell, TU Bergakademie Freiberg
- Richard Neubert
- Knut Neumann, Freiberg
- Dr. Manuela Neuroth, RWE Power AG Bergheim
- Dr. Michel Oelschlägel, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Matthias Oswald, TU Bergakademie Freiberg
- Tim Otto
- Dr. Werner Pälchen, Halsbrücke
- Bertram Pohl, Luxembourg
- Dr. Norman Pohl, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Andre Pollender, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Ulrich Pöschmann, Freiberg
- Prof. Dr. Ulrich Prah, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ind. Arch. Stefanie Preißler, VFF
- Dr. Ingo Riehl, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Min. Götz-Peter Rosetz, Freiberg
- Dipl.-Kfm. Sebastian Rudolf, Torgau
- Dr. Martin Rudolph, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Dr. Ronny Schimpke, TU Bergakademie Freiberg
- Annika Schmidt
- B.A. Klara Schönfelder, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Hans-Ferdinand Schramm, Sparkasse Mittelsachsen
- Prof. Dr. Rüdiger Schwarze, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Sandra Schwarzer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Du Shaozhong, Peking
- Dr. Taras Shepel, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Ing. Karin Sichone, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Dieter Simon, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Michael Stelter, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Manfred Störr, Bad Kissingen
- Prof. Dr. Dietrich Stoyan, Freiberg
- M.Sc. Anna Stuhr, TU Bergakademie Freiberg
- Eva Stützer, Freiberg
- B.A. Tobias Tauscher, Cinector GmbH Mittweida
- M.Sc. Andre Uhlmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Madlen Ullmann, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-paed. Timon Umlauf, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Mateo Urena de Vivanco, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Marie Vigener, Berlin
- Dr. David Dominic Vogt
- Matthias Voitel
- Dipl.-Archiv. Roland Volkmer, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Geophys. Bernhard Wagenbreth, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Gerd Walter, Dresden
- Prof. Dr. Elias Wegert, TU Bergakademie Freiberg
- M.Sc. Fu Wei, TU Bergakademie Freiberg
- M.A. Anja Weigl, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Ellen Weißmantel, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Marco Wendler, TU Bergakademie Freiberg
- Clarissa Werner
- Dr. Saskia Wesolowski, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Oliver Wiche, TU Bergakademie Freiberg
- Dipl.-Wi.-Inf. Alexander Winterstein, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Kristina Wopat, TU Bergakademie Freiberg
- M.A. Annett Wulkow Moreira da Silva, TU Bergakademie Freiberg
- Prof. Dr. Henning Zeidler, TU Bergakademie Freiberg
- Dr. Matthias Zschornak, TU Bergakademie Freiberg



Mensch und Wissenschaftler

Prof. Dr. Gerhard Roewer

* 14.12.1935 † 28.04.2019

Das Redaktionskollegium der ACAMONTA trauert um seinen langjährigen Redaktionsleiter. Prof. Dr. Gerhard Roewer verstarb nach schwerer Krankheit am 28. April 2019.

Seinem Einsatz, seinem bis zuletzt unermüdlichen Eifer, seiner Beharrlichkeit und seinen hohen wissenschaftlichen und redaktionellen Ansprüchen ist es zu verdanken, dass sich die ACAMONTA zu einer weit über die TU Bergakademie Freiberg hinaus beachteten Zeitschrift entwickelt hat. Sein freundliches und immer hilfsbereites Wesen hat die Zusammenarbeit sehr angenehm gemacht. Wir werden sein Andenken stets in Ehren halten.



Liebe Leserinnen und Leser,

im Jahr 2019 konnten wir des 250. Geburtstags des berühmtesten Studienabsolventen unserer Bergakademie, Alexander von Humboldt, gedenken. Es erfüllt uns mit Stolz, dass der weltweit bedeutende Naturforscher seine wissenschaftliche Prägung in jungen Jahren bei uns in Freiberg erhielt und seinen hiesigen Lehrern lebenslang verbunden blieb. Gerne hat unser Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg das vielfältige Veranstaltungsprogramm zu Ehren Humboldts mit finanziellen Beiträgen unterstützt. Selbstverständlich ist uns der große Jubiläumsgeburtstag zudem Anlass, mit der vorliegenden Ausgabe unserer Zeitschrift verschiedene interessante Beiträge zum Leben und Wirken des Alexander von Humboldt in Freiberg sowie aktuell damit zusammenhängender Geschehnisse zu veröffentlichen.

Die Strahlkraft der Historie und des aktuellen Wirkens unserer Universität wird in besonderer Weise durch die in diesem Jahr erfolgte Aufnahme der Montanregion Erzgebirge/Krusnohoří in die Liste des UNESCO-Welterbes deutlich. Mit insgesamt 22 zusammenhängenden Bestandteilen aus Deutschland und in Tschechien wurde die Erzgebirgsregion als herausragendes Zentrum wissenschaftlich-technologischer Bergbautradition und als einzigartige Kulturlandschaft anerkannt.

Dank der Forschungen an der Bergakademie konnten in den vergangenen Jahrhunderten Technologien und Organisationsformen entwickelt werden, die weltweiten Einfluss auf Wirtschafts- und Gesellschaftsstrukturen nahmen. Die Verleihung des Welterbetitels durch die UNESCO ist wesentlich auf das über Jahre hinweg international anerkannte und mit festem Erfolgswillen behaftete Engagement des Lehrstuhlinhabers für Technikgeschichte und Industriearchäologie, Herrn Prof. Dr. phil. habil. Helmuth Albrecht, zurückzuführen. Herr Professor Albrecht ist langjähriges Mitglied des Vorstandes unseres Fördervereins. Er hat im Rahmen unseres Vereinslebens in der Vergangenheit regelmäßig mittels ACAMONTA-Beiträgen und Vorträgen über Zwischenstände des Welterbeprojektes berichtet. Wir gratulieren ihm und seinen Mitstreitern voller Freude und respektvoller Anerkennung zur erfolgreichen Umsetzung seiner Vision.

Die 100-jährigen Jubiläen des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen sowie des Forschungs- und Lehrbergwerks an der Reichen Zeche sind weitere eindrucksvolle Zeugnisse erfolgreicher Wissenschaftsarbeit an der TU Bergakademie Freiberg. Der Blick auf die Zukunft geht natürlich mit dem Anspruch einher, unter heutigen Bedingungen an die richtungsweisenden Leistungen der Vergangenheit anzuknüpfen. Dazu befasst sich unsere Ressourcenuniversität mit der Entwicklung modernster Technologien und Verfahren zur nachhaltigen Nutzung der wertvollen sowie teilweise endlichen Ressourcen im Umfeld eines

international wachsenden Energie- und Ressourcenbedarfs. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der traditionell engen Zusammenarbeit mit der Rohstoff- und Energiewirtschaft, der Werkstoff- und Grundstoffindustrie sowie anderen Forschungsinstitutionen.

Eine Grundvoraussetzung zur prosperierenden Weiterentwicklung der TU Bergakademie Freiberg liegt naturgemäß in der fortlaufenden Gewinnung einer ausreichenden Zahl geeigneter Studentinnen und Studenten. Dies ist angesichts der derzeitigen Demographiesituation in Deutschland sowie einer wachsenden Beliebtheit sozialwissenschaftlicher Berufe kein einfaches Unterfangen. Gern haben wir daher auf Wunsch des Rektorats im vergangenen Jahr ein Leistungsstipendium ins Leben gerufen, das mit Sachzuwendungen an ausgesuchte Studienanfänger verbunden ist und die Attraktivität eines Studiums an der TU Bergakademie Freiberg in bestimmten Fachrichtungen erhöht.

Angesichts der Tatsache, dass sich ein großer Teil der Studienanfänger unserer technischen Universität aus den Familien ihrer ehemaligen Absolventen rekrutiert, sehen wir die durch unseren Verein seit vielen Jahren umfänglich und vielseitig betriebene Pflege des Freiburger Alumni-Netzwerkes (FAN) auch als einen wichtigen Beitrag zur Gewährleistung ausreichender Studienbewerbungen an.

Ebenfalls in enger Zusammenarbeit mit dem Rektorat haben wir in diesem Jahr erstmals wieder drei Julius-Weisbach-Preise für gute universitäre Lehre vergeben. Wir möchten damit die Studienqualität an unserer Hochschule erhöhende Lehrkonzepte fördern.

Mit dem Friedrich-Wilhelm-von-Oppeln-Preis würdigen wir besonderes Engagement um die Belange der Studierenden.

Zur Honorierung herausragender wissenschaftlicher Leistungen von Studierenden und jungen Wissenschaftlern vergeben wir im Rahmen der diesjährigen Mitgliederversammlung wieder mehrere Bernhard-von-Cotta-Preise. Es sollen zwei hervorragende Master- oder Diplomarbeiten sowie zwei Dissertationen ausgezeichnet werden.

Mit großer Betroffenheit haben wir im Mai dieses Jahres vom Ableben des von uns hochgeschätzten Vorstandsmitgliedes unseres Fördervereins, Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, erfahren. Wir trauern um einen anerkannten Wissenschaftler und fabelhaften Menschen. Herr Professor Roewer hat über 13 Jahre hinweg als Redaktionsleiter für die Herausgabe unserer Zeitschrift ACAMONTA gesorgt. Er nahm diese ehrenamtliche Aufgabe – trotz zuletzt schwerer Krankheit – mit bewundernswertem Engagement und hoher Sachkunde wahr. Wir werden ihn in Dankbarkeit für seine Verdienste mit herzlicher Verbundenheit in bester Erinnerung behalten.

Infolge einer nahtlosen Weiterführung der Redaktionsleitung durch Frau Annett Wulkow Moreira da Silva M.A. können wir Ihnen die vorliegende Ausgabe der ACAMONTA pünktlich in unveränderter Qualität präsentieren.

Wir danken Frau Wulkow Moreira da Silva für die bereitwillige Übernahme der ehrenamtlichen Tätigkeit und wünschen ihr weiterhin viel Erfolg für die neue Aufgabe.

Selbstverständlich gilt mein Dank gilt auch allen Autoren dieses Heftes. Möge Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, die Lektüre der folgenden Artikel einen interessanten Einblick in die Geschehnisse an der TU Bergakademie Freiberg geben. Ich freue mich schon auf ein weiteres Miteinander zur gedeihlichen Fortentwicklung unserer Universität.

Prof. Hans-Ferdinand Schramm
Vorsitzender des Vereins
Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

Gedanken zum Umweltschutz

Ich habe immer daran geglaubt, dass der Entwicklungsgrad des Umweltschutzes in einem Land oder in einer Stadt davon abhängt, wie viel die Völker über Umweltprobleme wissen und inwieweit sie an seiner Gestaltung teilnehmen. Von dieser Überzeugung getragen initiierten auch deutsche Unternehmer und soziale Organisationen einen Preis für nachhaltige Entwicklung. Dieser Preis ist für immer mehr Menschen attraktiv und spielt eine wichtige Rolle bei der Verbesserung des Umweltbewusstseins und einer dem Nachhaltigkeitsprinzip genügenden Entwicklung der gesamten Gesellschaft.

Viele Reporter stellen mir oft die Frage: Was ist der größte Fortschritt beim Umweltschutz in den letzten Jahren? Meine Antwort darauf ist, dass sich das Umweltbewusstsein der Öffentlichkeit stark verbessert hat. Oft fragen sie auch: Und was ist das größte Problem? Meine Antwort ist, dass sich das Umweltbewusstsein der Öffentlichkeit noch nicht ausreichend gebessert hat. Ich weiß nicht, wie diese beiden Sätze auf Deutsch ausgedrückt werden sollen. Auf Chinesisch gibt es nur sehr subtile Unterschiede zwischen diesen beiden Formulierungen. Aber das ist kein Wortspiel, sondern beide spiegeln die Realität wieder.

Heute ist Nachhaltigkeit zu einem von der internationalen Gemeinschaft allgemein akzeptierten Entwicklungskonzept geworden. China unternimmt alle Anstrengungen, um eine eben auch in ökologischer Hinsicht zivilisierte Gesellschaft aufzubauen. In Bezug auf die ökologische Zivilisation gab Präsident Xi Jinping eine aussagekräftige und dadurch beeindruckende Verallgemeinerung, die da lautet: „Klares Wasser und grüne Berge sind so wertvoll wie Berge aus Gold und Silber“, wobei klares Wasser und grüne Berge für eine schöne Umgebung stehen und Berge aus Gold und Silber die wirtschaftliche Entwicklung repräsentieren. Klares Wasser und grüne Berge sind also so wertvoll wie Berge aus Gold und Silber. Das ist ein in der Tat eindrucklicher und konzentrierter Ausdruck – ein klassischer Satz von Präsident Xi Jinping über den ökologisch fundierten Zivilisationsgedanken. Dieser klassische Gedanke übt allmählich zunehmenden Einfluss auf die Menschen und damit auch auf die Richtung der wirtschaftlichen Entwicklung in China aus.

In den letzten Jahren bin ich oft im Zusammenhang mit meiner Lehrtätigkeit und meiner Teilnahme an sozialen Aktivitäten durch das ganze Land gereist. Ich habe die Entwicklung und die Veränderungen in den verschiedenen Regionen erlebt und die praktischen Erfolge des Gedankens der ökologischen Zivilisation immer wieder bezeugen können. Es gibt viele erfolgreiche Entwicklungen und Fälle. Zum

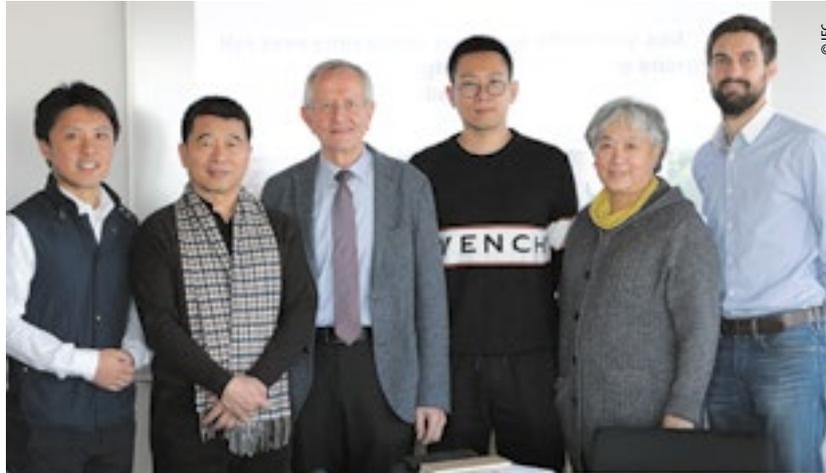
Beispiel erbringt in den letzten Jahren die Provinz Guizhou den mengenmäßig größten Anteil an der Teeproduktion des Landes insgesamt. In Guizhou gibt es einen Landkreis namens Mei Tan – mit mehr als 500.000 Einwohnern, von denen 350.000 Menschen in der Teeindustrie tätig sind. Allein deren jährlicher Produktionswert beträgt über 10 Milliarden Yuan, ca. 1,3 Milliarden EUR. Der ehemals arme Landkreis zählt jetzt zu den reichen Kreisen. Tee aus Guizhou wird von bzw. in vielen Provinzen ge- und verkauft. Warum sind alle Menschen mit Guizhou-Tee so zufrieden? Da der Guizhou-Tee von bester Qualität ist, halten die für Tee charakteristischen Güte-Indikatoren strengsten Tests stand. Warum ist er so gut? Die Menschen betonen fünf Hauptvorteile ihrer Anbauregion: niedriger Breitengrad, ausgedehnte Höhenlagen, wenig direkte Sonneneinstrahlung, viel Bewölkung und Nebel – und nicht zuletzt: keine Umweltverschmutzung. Ich bezeichne die ersten vier Vorteile oder Vorzüge als Merkmale der „naturgegebenen Schönheit“ und den letztgenannten Vorzug als „durch Anstrengung erworben“. Man könnte auch sagen, dass der letztgenannte Vorteil den Wert „1“ hat, die ersten vier dagegen alle den Wert „0“. Wenn es keine solche letzte „1“ gäbe, hätte jede vorherige „0“ keinerlei Bedeutung. Denn wenn es in der Region Verschmutzungen gäbe, würde niemand ausgerechnet Guizhou-Tee kaufen. Um die „Berge aus Gold und Silber“ des Guizhou-Tees auf Dauer zu erhalten, ist es daher notwendig, „klares Wasser und grüne Berge“ zu bewahren – dort, wo die Teesträucher wachsen.

Die Aussage „Klares Wasser und grüne Berge sind so wertvoll wie Berge aus Gold und Silber“ mutet relativ einfach an. Aber dahinter steckt große Weisheit. Sie ist eine Orientierung auf eine „Integration von Mensch und Natur“, eine altchinesische philosophische Weisheit also und vergleichbar mit der Orientierung auf „Harmonie zwischen Natur und Mensch“ im marxistisch geprägten klassischen Gedankengut. Diese Thesen kann man alle bestätigen. Sie implizieren einen fundierten ökonomischen Grundsatz: Zum Schutz der Produktivität muss die ökologische Umwelt geschützt werden; zur Entwicklung der Produktivkräfte muss die ökologische Umwelt verbessert werden. Gute Umweltqualität fördert gute wirtschaftliche Entwicklung und Qualität. Deshalb – so auch Präsident Xi Jinping: „Wir dürfen Wirtschaftswachstum niemals auf Kosten der Umwelt vorantreiben. Jedes Wirtschaftswachstum zu Lasten der Umwelt kann nur vorübergehend und keineswegs nachhaltig sein. Wir können nicht mehr und dürfen auch nicht mehr –!– das Essen unserer Vorfahren genießen und gleichzeitig die Schüssel unserer Nachkommenschaft zerbrechen.“

■ Du Shaozhong

Du Shaozhong – ein jahrelanger Advokat für den Umweltschutz

Fu Wei¹



Shaozhong Du (2.v.l.), chinesischer Umweltaktivist und Träger des sächsischen Carlowitz-Preises für Nachhaltigkeit, ließ sich und seiner Familie von Prof. Bernd Meyer (3. v. l.) und seinen Mitarbeitern das Freiburger Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) zeigen.

Im November 2018 wurde dem chinesischen Umweltschützer Du Shaozhong für seine Aktivitäten in Hinsicht auf eine ökologisch fundierte Zivilisation in Chemnitz der Hans-Carl-von-Carlowitz-Nachhaltigkeitspreis verliehen. Du war einer von zwei Preisträgern 2018 und ist der einzige Chinese, der bislang mit dieser Auszeichnung geehrt wurde.

Du Shaozhong war zunächst als Mitarbeiter der Shougang-Gruppe, eines Pekinger Stahlunternehmens, und anschließend als stellvertretender Leiter des Büros für Umweltschutz der chinesischen Hauptstadt sowie als Vorstandsvorsitzender der China Beijing Environmental Exchange tätig. Heute arbeitet er als Experte und Leiter des Instituts für Öffentlichkeitsarbeit für Gesundheit und Umwelt an der Chinesischen Universität für Medienkommunikation. Auf Weibo, dem chinesischen Äquivalent zu Twitter, folgen ihm über fünf Millionen Nutzer.

Er setzt sich dafür ein, das Bewusstsein für Umweltschutz in China zu erhöhen sowie seine Follower zu aktivem Handeln im Sinne des Umweltschutzes zu bewegen. 2006 wurde Du als „Person des Jahres des Grünen Chinas“ ausgezeichnet, 2016 gewann er den Chinesischen Umweltpreis.

Im Jahr 2018 wurde Du in die Liste der „100 Vorbilder im Internet“ aufgenommen. Sein Weibo-Konto gehört im Übrigen zu den Top-10-Weibo-Auftritten chinesischer Politiker und Beamter.

¹ TU Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Wei.Fu@iec.tu-freiberg.de

Die **Sächsische Hans-Carl-von-Carlowitz-Gesellschaft zur Förderung der Nachhaltigkeit** verleiht auf ihrer einmal jährlich stattfindenden Konferenz den Hans-Carl-von-Carlowitz-Nachhaltigkeitspreis an Persönlichkeiten, die im Sinn der Nachhaltigkeit in Politik und Gesellschaft hinein wirken. Preisträger in der Kategorie International war im Jahr 2018 Du Shaozhong – ehemaliger Sprecher und Vizepräsident der Umweltbehörde Chinas, der für seinen Einsatz für eine ökologische Zivilisation, die Kreislaufwirtschaft und einen CO₂-arme Produktion und Lebensweise in China ausgezeichnet wurde.

Alexander von Humboldt und die Naturwissenschaften

Eberhard Knobloch¹

Der Empiriker Humboldt

Alexander von Humboldt war empirischer Naturforscher. Dies hat er nachdrücklich in seinen Veröffentlichungen hervorgehoben, insbesondere in seinen 1807 auf Deutsch und Französisch erschienenen *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer* (Humboldt 1807a, b). Gleich zu Beginn stellte er programmatisch fest:

„Dieses Naturgemälde ist das Werk, welches ich gegenwärtig den Physikern vorzulegen wage. [...] Ich stelle in diesem Naturgemälde alle Erscheinungen zusammen, welche die Oberfläche unsers Planeten und der Luftkreis darbietet, der jenen einhüllt. Naturkundige, welche den dermaligen Zustand unsers empirischen Wissens [...] kennen, werden sich nicht wundern, so viele Gegenstände in so wenigen Bogen behandelt zu sehen“ (Humboldt 1807b, S. II).

Physiker sind nicht die betreffenden Naturwissenschaftler im modernen Sinn, sondern *Naturkundige*, wie die französische Version zwingend belegt. Die dortigen *physiciens* übersetzt Humboldt mit *Naturkundige*. Deshalb bezeichnete sich Humboldt selbst als Physiker (Humboldt (1836–1852) 2009 I, 195), deshalb wandte er sich mit seinen *Ideen* an die Physiker und deshalb bezeichnete er sich nicht als Naturwissenschaftler. Diese Begrifflichkeit ist von größter Bedeutung, da ihr Humboldts von Immanuel Kant herrührende Wissenschaftstheorie zugrunde liegt.

Kant hatte ja in den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* 1786 erklärt, eigentliche Wissenschaft könne nur diejenige genannt werden, deren Gewissheit apodiktisch sei. Daher verdiene eine rationale Naturlehre den Namen einer Naturwissenschaft nur, wenn die Naturgesetze, die ihr zugrunde liegen, a priori erkannt würden und nicht bloße Erfahrungsgesetze seien. Nun werde Vernunftkenntnis, welche nur auf der Konstruktion der Begriffe mittels Darstellung des Gegenstandes in einer Anschauung a priori gründe, Mathematik genannt. Daher könne in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden, als darin Mathematik anzutreffen sei. Denn eigentliche Wissenschaft, vornehmlich der Natur, erfordere einen reinen Teil, der dem empirischen zugrunde liege und der auf Erkenntnis a priori beruhe (Kant 1786, 12–15).

Humboldt war mit Kants Schrift wohlvertraut. Im fünften Band des *Kosmos* schrieb er: „Die metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft des unsterblichen Philosophen von Königsberg gehören allerdings zu den merkwürdigsten Erzeugnissen dieses großen Geistes“ (Humboldt 1845–1862 V, 7). Im ersten Band hatte er deshalb einschränkend geschrieben: „Was ich physische Weltbeschreibung nenne (die vergleichende Erd- und Himmelskunde), macht daher keine Ansprüche auf den Rang einer rationellen Wissenschaft der Natur; es ist die denkende Betrachtung der durch Empirie gegebenen Erscheinungen als eines Naturganzen. Einzelheiten der Wirklichkeit, [...] alles, was dem Felde der Veränderlichkeit und realer Zufälligkeit angehört, kann nicht aus Begriffen abgeleitet (construiert) werden“ (Humboldt 1845–1862 I, 31f.).

Die Rolle mathematischer Theorien

In seinen Augen war der Physiker Dienstleister des Mathematikers. In den *Beobachtungen über das Gesetz der Wärmeabnahme in den höhern Regionen der Atmosphäre und über die unteren Grenzen des ewigen Schnees* heißt es 1806: „Es ist die Pflicht der Physik, da, wo es auf construirbare Begriffe ankommt, der Mathematik durch Ausmittlung einer großen Zahl genauer Tatsachen brauchbare Materialien zur Berechnung der Naturgesetze darzubringen“ (Humboldt 1806, 10). Dementsprechend schrieb er am 25. November 1802 an Jean-Baptiste Joseph Delambre, er zweifle nicht daran, dass Bürger Laplace, dessen schöpferischer Geist die Gezeiten des Meeres bezwungen habe, die Gesetze der Gezeiten der Luft entdecken werde, sobald er ihm einige tausend Stundenbeobachtungen vorgelegt haben werde. Das sei eine der elegantesten Anwendungen der Gesetze der Gravitation (Humboldt 1993, 206).

Drei wichtige Schlussfolgerungen lassen sich aus diesen Aussagen Humboldts ziehen: Erstens glaubte er an eine Bottom-up-Theorie der Wissenschaftsentwicklung: Eine hinreichend große Zahl von Daten dient dazu, eine mathematische Theorie aufzustellen. Das Beispiel des Beobachters Tycho de Brahe und des Mathematikers Johannes Kepler zeigt, dass die Entwicklung so verlaufen kann. Aber die Beispiele des Beobachters Humboldt und der Mathematiker Carl Friedrich Gauss und Jean Baptiste Joseph Fourier zeigen, dass weder die Gauss'sche Theorie des Erdmagnetismus noch die Fourier'sche Wärmetheorie so zustande gekommen sind. Darauf ist genauer einzugehen.

Zweitens werden nach Humboldts Auffassung Naturgesetze berechnet. Hatte er doch im *Kosmos* betont, nur das, was der Berechnung und einer geometrischen Messung zu unterwerfen sei, führe uns auf einen festen und sicheren Boden (Humboldt 1845–1862 I, 125). Drittens war Pierre Simon Marquis de Laplace tatsächlich zentrales Vorbild und Ideengeber für Humboldt. Hatte doch Laplace in seiner *Exposition du système du monde* gesagt, einer der größten Vorteile der mathematischen Theorien bestehe darin, Phänomene zusammenzubinden, die getrennt zu sein scheinen, indem sie deren wechselseitige Beziehungen bestimmen, nicht durch unsichere und mutmaßliche Betrachtungen, sondern durch strenge Rechnungen (Laplace 1796, 432) und vom Gravitationsgesetz als dem größten Gesetz des Universums gesprochen (Laplace 1796, 525).

Die lateinische Programmschrift

Laplaces Einfluss auf Humboldt ist insbesondere in dessen theoretischer Überarbeitung der Pflanzengeographie spürbar, die er 1815 den ursprünglich sieben Bänden der *Nova genera et species plantarum* aus den Jahren 1815 bis 1826 als Einleitung voranstellte und 1818 als Separatum erscheinen ließ. Die Programmschrift *De distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium prolegomena* (Einleitende Bemerkungen über die geographische Verteilung der Pflanzen gemäß der mittleren Beschaffenheit des Klimas und der Höhe der Berge) wurde von Humboldt selbst sehr geschätzt und ist in der Tat in ihrer Bedeutung kaum zu überschätzen (Humboldt 1815). Am 3. Januar 1817 schrieb er an den Klassischen Philologen Friedrich August Wolf, Wolfs Wohlwollen ihm gegenüber

¹ Kontaktadresse: Prof. Dr. Eberhard Knobloch, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Jägerstr. 22/23, 10117 Berlin

CLASSES ET ORDINES NATURALES.	RATIO CUJUSCUNQUE CLASSIS VEL ORDINIS ad totam copiam Phanerogamarum locis planis provenientium:			ADNOTATIONES.
	In Zona æquinoxiali (Cal. med. 27°.)	In Zona temperata (Cal. 10°—14°.)	In Zona glaciali (Cal. 0°—1°.)	
Agamæ cellulosaæ	1 : 5	1 : 2	1 : 1	
Filices		1 : 60	1 : 25	Germ. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Monocotyledones.	1 : 6	1 : 4	1 : 3	
Cyperoideæ	1 : 60	1 : 30	1 : 9	
Gramineæ	1 : 15	1 : 12	1 : 10	
Junceæ	1 : 400	1 : 90	1 : 25	Amer. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Glumaceæ vel tres ord. præced.	1 : 11	1 : 8	1 : 4	
Labiataæ	1 : 40	1 : 25	1 : 70	Amer. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Ericinæ et Rhododendra. . . .	1 : 130	1 : 100	1 : 25	Amer. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Compositæ	1 : 6	1 : 8	1 : 13	
Rubiaceæ	1 : 20	1 : 60	1 : 80	Gallia $\frac{1}{2}$; Germ. $\frac{1}{2}$.
Umbelliferæ	1 : 2000	1 : 30	1 : 60	Amer. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Cruciferæ	1 : 3000	1 : 18	1 : 24	Amer. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$.
Malvaceæ	1 : 50	1 : 200	0	Am. bor. $\frac{1}{2}$; Gallia $\frac{1}{2}$; Germ. $\frac{1}{2}$.
Leguminosæ	1 : 12	1 : 18	1 : 35	
Euphorbiaceæ	1 : 35	1 : 80	1 : 500	
Amentaceæ exclusis Casuarin. .		1 : 45	1 : 20	

Adjecimus differentias notabiliores quas offerunt Zonæ temperatæ boreales utriusque Continentis. In universum minus fides habenda numeris absolutis quam rationi qua crescunt vel decrescunt numeri a polo versus æquatorem aut ab æquatore versus polum.

Verteilung von 17 Pflanzenklassen auf drei Erdzonen. Nachweis: Humboldt 1815, S. XVIII

lasse ihn hoffen, dass er die kleine Schrift über die Verteilung der Pflanzenformen und die Verhältnisse der Vegetation und des Ackerbaus zum Klima freundlichst aufnehmen werde: „*Es ist von allen meinen Arbeiten die, auf welche ich in Hinsicht der neuen Ansichten den meisten Werth lege*“.²

In der Schrift erklärt Humboldt den Doppelcharakter des Naturbegriffs, der Dinge und Kräfte umfasst, das heißt die beherrschte und die herrschende Natur. Er betont die engen Bande zwischen den Wissenschaften, die es nicht erlauben, nur einer einzigen hingegeben zu sein. Zugleich hebt er hervor, dass dies nur der erste Schritt ist, denn das wahre Ziel jeder Naturforschung sei, sich von den Einzelheiten zu Gesamtheiten zu erheben (Knobloch 2018).

Vor allem verdeutlicht seine Tafel von siebzehn Pflanzenklassen, deren Vorkommen er in ein Verhältnis zum Gesamtbestand der Blütenpflanzen in einer Region setzt, was er meinte, wenn er im *Kosmos* sagte, das Wesen der Dinge könne als Zahlenverhältnisse, ihre Veränderungen und Umbildungen könnten als Zahlen-Combinationen erkannt werden (Humboldt 1845–1862 III, 12): Der Anteil der Farne (*filices*) oder Kreuzblütler (*cruciferae*)

zum Beispiel am Gesamtbestand nimmt zu, wenn man von der Äquinoktial- zur Eiszone fortschreitet, der Anteil der Lippenblütler (*labiatae*) nimmt ab.

Die drei „wichtigen und eigenthümlichsten Arbeiten“

Humboldt war selbstkritisch genug, sich nur drei herausragende wissenschaftliche Leistungen zuzuschreiben. Am 31. Oktober 1854 schrieb er an Johann Georg von Cotta: „*Der wichtigen und eigenthümlichsten Arbeiten von mir giebt es nur 3, die Geographie der Pflanzen und das damit verbundene Naturgemälde der Tropenwelt, die Theorie der isothermen Linien und die Beobachtungen über den Erdmagnetismus, welche die über den ganzen Planeten auf meine Veranlassung verbreiteten magnetischen Stationen zur Folge gehabt haben.*“ (Humboldt 2009, 545).

Das Naturgemälde umfasst den Schnitt durch die Anden mit den hinzugesetzten Pflanzennamen und die sechzehn Spalten zur Luftwärme, zum Luftdruck, zur Feuchtigkeit der Atmosphäre usw., von denen Humboldt sagte, die Skalen enthielten gleichsam das Resultat von dem, was die Naturlehre in ihrem gegenwärtigen Zustand in Zahlen darbierte: „*Der Empiriker zählt und misst, was die Erscheinungen unmittelbar darbieten. Der Philosophie ist es aufbehalten, das allen Gemeinsame aufzufassen und auf Prinzipien zurückzuführen.*“ (Humboldt 1807b, 90).

² Den Hinweis auf diesen unveröffentlichten Brief verdanke ich Ulrich Päßler: Bibliothek Jagiellonska Krakau, Sammlung Autographa (ehemalige Autographensammlung der Preußischen Staatsbibliothek).

Die grundlegende Methode bei der Ermittlung der Isothermen, also der Linien, die die Orte mit gleicher mittlerer Jahrestemperatur miteinander verbinden, war die von Humboldt favorisierte Methode der Mittelbildung, mit der er den Schritt von der Meteorologie zur Klimatologie machte. Die entscheidende Erkenntnis war, dass diese Linien nicht zu den Breitengraden parallel sind, sondern diese schneiden. Humboldt wusste, dass Fourier eine analytische Wärmetheorie ausarbeitete – diese erschien 1822 – und sagte dazu: „*Ich werde mich auf das Aussprechen von Tatsachen beschränken. Die Theorie, welche diese Phänomene verknüpft, findet sich vorgetragen in dem schönen analytischen Werk, mit welchem Fourier bald die allgemeine Physik bereichern wird.*“ (Humboldt 1853, 310). Freilich entwickelte Fourier seine Theorie ohne jeden Bezug zu Humboldts gemessenen oder berechneten Daten.

Den Erdmagnetismus erforschte Humboldt seit seiner Zeit in Freiberg. Sein empirisch ermitteltes, zentrales Ergebnis war, dass die Totalintensität der erdmagnetischen Kraft vom magnetischen Nordpol zum magnetischen Äquator abnimmt (Knobloch 2018, 122-124). Er betrachtete es als das wichtigste Ergebnis seiner amerikanischen Reise. Als Gauß seine *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* 1839 veröffentlichte, bewunderte er das Werk aufrichtig – man lese etwa seinen Brief an Gauß vom 18. Juni 1839. Aber auch Gauß stützte sich bei der Herleitung seiner Theorie nicht auf Beobachtungsdaten von Humboldt und vieler anderer Gelehrter, verwandte jene aber zur Überprüfung seiner Theorie, verfolgte also eine Top-down-Strategie. Humboldt sah im Fortschritt der Lehre vom Erdmagnetismus den eigentümlichen Charakter des 19. Jahrhunderts (Humboldt 1845-1862 IV; 62).

Bibliografie

- Humboldt, Alexander von: Beobachtungen über das Gesetz der Wärmeabnahme in den höhern Regionen der Atmosphäre und über die unteren Grenzen des ewigen Schnees. (Im Auszuge). In: *Annalen der Physik* 24 (1806), Neuntes Stück, 1-49.
- Humboldt, Alexander von: *Essai sur la géographie des plantes; accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales, fondé sur des mesures*

exécutées, depuis le dixième degré de latitude boréale jusqu'au dixième degré de latitude australe, pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803. Avec une planche. Paris 1807a.

- Humboldt, Alexander von: *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer. Auf Beobachtungen und Messungen gegründet, welche vom 10ten Grade nördlicher bis zum 10ten Grade südlicher Breite in den Jahren 1799, 1800, 1801, 1802 und 1803 angestellt worden sind, von Alexander von Humboldt und Aimé Bonpland. Bearbeitet und hg. von dem Erstern. Mit einer Kupfertafel.* Tübingen/Paris 1807b.
- Humboldt, Alexander von: *De instituto operis et de distributione geographica plantarum secundum coeli temperiem et altitudinem montium progymnasia.* In: Bonpland, Aimé/Humboldt, Alexander von: *Nova genera et species plantarum quas in peregrinatione orbis novi collegerunt, descripserunt, partim adumbraverunt. Ex schedis autographis Amati Bonpland in ordinem digessit Carol. Sigismund. Kunth.* 7 Bde. Paris 1815-1826, Bd. I, S. III-LVIII.
- Humboldt, Alexander von. 1836-1852: *Kritische Untersuchung zur historischen Entwicklung der geographischen Kenntnisse von der neuen Welt und den Fortschritten der nautischen Astronomie im 15. und 16. Jahrhundert. Mit dem Geographischen und physischen Atlas der Äquinoktial-Gegenden des Neuen Kontinents Alexander von Humboldts sowie dem Unsichtbaren Atlas der von ihm untersuchten Kartenwerke. Nach der Übersetzung aus dem Französischen von Julius Ludwig Ideler ediert und mit einem Nachwort versehen von Ottmar Ette.* 2 Bde. Frankfurt/M. 2009.
- Humboldt, Alexander von: *Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung.* 5 Bände. Stuttgart/Tübingen 1845-1862.
- Humboldt, Alexander von: *Von den Isothermen Linien und der Verteilung der Wärme auf dem Erdkörper (deutsche Übersetzung der Arbeit von 1817).* In: Alexander von Humboldt: *Kleinere Schriften*, 1. Bd. Stuttgart. 1853, S. 206-314.
- Humboldt, Alexander von: *Briefe aus Amerika 1799-1804.* Hg. von Ulrike Moheit. Berlin 1993.
- Humboldt, Alexander von/Cotta: *Briefwechsel.* Hg. von Ulrike Leitner unter Mitarbeit von Eberhard Knobloch. Berlin 2009.
- Kant, Immanuel: *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft.* Riga 1786. Ich zitiere den Wiederabdruck in: Kant, Immanuel: *Werke in sechs Bänden*, hrsg. v. Wilhelm Weischedel. Wiesbaden 1956-1964, Bd. V, 7-135.
- Knobloch, Eberhard: *Naturwissenschaften, in: Ottmar Ette (Hrsg.), Alexander von Humboldt, Handbuch, Leben – Werk – Wirkung.* Stuttgart 2018, S. 113-126.
- Laplace, Pierre Simon Marquis de: *Exposition du système du monde.* Paris 1796. Ich zitiere die Auflage von 1835, die in Tours 1984 nachgedruckt wurde.



© Detlev Müller

Vom 28. Januar bis 29. März 2019 machte eine vom Landschaftspflegeverein Mittleres Elstertal e. V. geschaffene Glasarche Station auf dem Freiburger Schloßplatz. Die gläserne Arche, die auf künstlerische Weise an den berühmten Absolventen Alexander von Humboldt erinnern soll, wurde mit einem symbolischen Schauspiel verabschiedet. Dafür besucht Alexander von Humboldt Freiberg. In seiner neuen Uniform schaute der bedeutende Naturwissenschaftler zunächst bei der Lesung „Mit Humboldt ins Wochenende“ vorbei. Im Anschluss begab er sich auf den Schloßplatz und berichtete auf witzige und fachkundige Weise von seinen Reisen und seiner Zeit in Freiberg.

Von den „Florae Fribergensis Specimen“ zu den „Ideen zu einer Geographie der Pflanzen“: Humboldt als Wegbereiter der Pflanzengeographie¹

Hermann Heilmeier²

„Die Pflanzen, welche ich an diesem Basaltfelsen bei Linz fand, waren bloss *Artemisia campestris*, aber eine sonderbare Varietät ..., die sich im ganzen Habitus der *Artemisia pontica* und *Lichen crispus* näherte. Diese Flechtenart scheint, wie ich schon an mehreren Orten ... bemerkte, auf dem Basalt sehr häufig zu sein. ... Jedem Stein ist gewiß nicht jede Pflanze zum Wohnort bestimmt. Die Natur folgt hier noch unerkannten Gesetzen, die nur dadurch erforscht werden können, dass die Botaniker mehr Data zur Induktion darreichen.“

Diese Sätze aus der ersten bedeutenden Veröffentlichung des Freiherrn Alexander von Humboldt, den *Mineralogischen Beobachtungen über einige Basalte am Rhein* aus dem Jahr 1790, die er seinem Gesuch um Aufnahme des Studiums an der Bergakademie Freiberg beilegte, bezeugen in komprimierter Form die Arbeitsweise des jungen Studenten, wie sie für sein ganzes Leben kennzeichnend sein sollte (Dobat, 1985):

- Vergleich neuer Beobachtungen mit bereits Bekanntem
- Einbeziehung vieler Faktoren und Erkenntnisse verschiedener Disziplinen
- Ableitung allgemeingültiger Aussagen und Gesetzmäßigkeiten
- vernetztes Denken
- Herleitung und Aufzeigen neuartiger Fragestellungen.

Alexander von Humboldt war also kein Begründer einer Forschungsrichtung oder einer Wissenschaftsdisziplin, der auf seinen einmal erarbeiteten Erkenntnissen und deren Interpretation unbeirrt festzuhalten trachtete, sondern vielmehr ein Wegbereiter neuartigen Denkens und visionärer Forschungsprogramme, der den „state-of-the-art“ ständig für sich und andere in Frage stellte.

Die Grundlagen dazu wurden schon in frühester Jugend bereitet: In der Umgebung von Schloss Tegel, das der am 14. September 1769 geborene Alexander knapp 20 Jahre später Henriette Herz gegenüber einmal als „Schloss Langweil“ bezeichnen sollte, lebte er schon bald intensiv sein Interesse an Naturalien (Insekten, Steine, Pflanzen) aus, so dass er den Beinamen „der kleine Apotheker“ erhielt. Allerdings schien er schon damals ein Mensch des unmittelbaren Erlebens von Naturerscheinungen gewesen zu sein, wie Alexanders eigene Erinnerung an den Besuch des Spandauer Arztes Ernst Ludwig Heim am 30. Juli 1781 in Tegel bezeugt: „Er [Heim] hatte eine große Sammlung von Moosen und gab sich eines Tages die Mühe, meinem älteren Bruder die Linnéischen Klassen zu erläutern. Dieser, des Griechischen schon damals kundig, lernte die Namen auswendig, ich klebte *Lichen parietinus* [eine Flechte] und *Hypna* [ein Moos] auf Papier, und in wenigen Tagen war uns beiden die Lust zur Botanik wieder verschwunden.“

Sieben Jahre später jedoch kam es zu einer folgenreichen ersten Begegnung des damals 19-jährigen Alexander mit dem

Berliner Botaniker Karl Ludwig Willdenow, über die Humboldt später schrieb: „Von welchen Folgen war dieser Besuch für mein übriges Leben!“ Als Student der Kameralistik in Frankfurt/Oder (ein Studium, das er zusammen mit seinem Bruder Wilhelm auf Wunsch der Mutter aufnahm) hatte er vorher bereits mit Willdenows *Flora Berolinensis prodromus* versucht, heimische Pflanzen zu bestimmen. Auf gemeinsamen Exkursionen wurden die beiden enge Freunde, und in einem Brief aus dem Jahr 1806 urteilte Alexander darüber: „Sein sanfter, lebenswürdiger Charakter machte mir die Botanik noch werthvoller. Er gab mir keine förmlichen Stunden, sondern ich brachte ihm die Pflanzen, die ich gesammelt hatte, und er bestimmte sie mir. Auf diese Weise wurde ich für die Botanik, besonders für die Kryptogamen [Sporenpflanzen] begeistert. Der Anblick der ausländischen Pflanzen, die ich in den Herbarien sah, erfüllte meine Einbildung mit Genüssen, welche mir die Vegetation der wärmeren Länder darbieten musste.“ Die Bedeutung dieser Zeit für ihn würdigte Alexander im Jahr 1801 in Bogota: „Der Wunsch, entfernte Weltteile zu besuchen und die Produkte der Tropenwelt in ihrer Heimat zu sehen, ward erst in mir rege, als ich anfang, mich mit Botanik zu beschäftigen.“

Zu einer zweiten für Alexander sehr folgenreichen Begegnung kam es, als der Student der Naturwissenschaften, Mathematik und Sprachen an der Universität Göttingen während einer Forschungsreise nach Marburg, Heidelberg, in die Pfalz und längs des Rheins im Oktober 1789 in Mainz Georg Forster traf, der an der 2. Weltumsegelung von James Cook 1772–1775 teilgenommen hatte. Forster ermunterte ihn zur Publikation über die Basalte am Rhein (*Mineralogische Beobachtungen* ...). Im März 1790 traten die beiden Freunde eine Reise von Mainz nach England an, wo Alexander unter anderem die Kew Gardens besuchte und Sir Joseph Banks traf, Botaniker und Präsident der Royal Society. Wie Alexander 1801 schrieb, war der Hang nach der Tropenwelt erwacht „vollends bei dem Anblick des allverbreiteten, beweglichen, länderverbindenden Ozeans, den ich bei Ostende zuerst sah.“ Doch zurück in Deutschland musste Alexander im August, dem von der Mutter strikt vorgegebenen Karriereweg folgend, ein Studium an der Hamburger Handelsakademie beginnen: „... sehe nichts als Zahlen und Comptoirbücher vor mir und muß meine Pflanzen und Steine vergessen...“. Die „Erlösung“ brachte die Erlaubnis seiner Mutter, „nach seinem sehnlichsten Wunsch außerhalb der Städte in der freien Natur zu leben, zum praktischen Bergbau überzugehen“, und so konnte er sich am 14. Juni 1791 an der kurfürstlich-sächsischen Bergakademie in Freiberg einschreiben. Vier Monate später, am 14. Oktober 1791, schreibt er an Archibald MacLean: „Ich lebe hier einsam und zufrieden, wenn auch nicht froh. Zur Fröhlichkeit gehört eine Art ruhigen Genusses, den ich hier nicht erlange. Was andere Menschen bei einem Aufenthalte von drei Jahren auf der Bergakademie vollenden, ist bei mir in eine Zeit von sieben bis acht Monaten zusammengedrängt.“ Und bereits eine Woche nach Studienbeginn: „... Ich bringe fast alle Morgen von 7–12 Uhr in den Gruben zu, den Nachmittag habe ich Unterricht, und den Abend jage ich Moose, wie es Forster nannte.“ (Brief an Neumann, 23.06.1791).

1 Der Beitrag beruht auf einem Vortrag anlässlich der Eröffnung der Ausstellung „FLORAE FRIBERGENSIS“ in der Universitätsbibliothek „Georgius Agricola“ am 14. Mai 2019.

2 AG Biologie/Ökologie, Institut für Biowissenschaften und Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, TU Bergakademie Freiberg

Bereits die ersten Grubenbefahrungen weckten Humboldts Interesse an der sich in völliger Dunkelheit entwickelnden Vegetation. „... *ich erstaune täglich über den Reichtum unterirdischer Vegetation und über die Beständigkeit der Formen. Pflanzen, Schwämme, die Scopoli aus Schemnitzer Stollen abgezeichnet, finde ich hier ganz so ähnlich, als habe er dasselbe Exemplar gehabt. Ich zeichne die neuen Species ab, beobachte den Fortgang der Vegetation ...*“. In seiner *Florae Fribergensis specimen ...* stellte Humboldt zahlreiche neue Gattungen und Arten auf, beschrieb sie und ordnete sie in die beiden Abteilungen der Kryptogamen des Linnéschen Systems ein, die *Algae* (die überwiegend der modernen Gruppe der Flechten entsprechen) mit 124 *species*, und die *Fungi* (sämtliche Pilze) mit 134 *species*. Unter den insgesamt 258 *species* war eine große Anzahl seinerzeit unbeschriebener Formen. Allerdings lassen sich die meisten *species* der unterirdischen Kryptogamen Humboldts nicht aktuell gültigen allgemein anerkannten Arten zuordnen, sondern stellen typische Lichtmangelformen von Pilz-Myzelbildungen dar (s. Abb. 1), beispielsweise des Holzschädlings Hallimasch. Auch die von Humboldt im Freiburger Nachtigallstolln beschriebene *Ceratophora fribergensis* stellte sich als *Osmoporus odoratus* (Fenchel-Tramete) heraus (Dobat 1985). Von den 258 Kryptogamen-*species* wurden 210 oberirdisch in der Freiburger Gegend nachgewiesen, andererseits kamen 52 *species* fast ausschließlich unterirdisch vor, von denen 22 *species* durch Humboldt neu beschrieben wurden. Die Beschreibung der Arten umfasste unter anderem den Namen der *species*, deren Diagnose (Merkmalsangaben) sowie Angaben zum Standort, häufig mit näherer Bestimmung des Untergrunds und der bewachsenen Gesteine, und andere besondere *observations* wie morphologische Eigentümlichkeiten (Hoppe 1993).

Neben dem beschreibend-morphologischen Teil enthält, der oben dargestellten Arbeitsweise Humboldts folgend, die *Florae Fribergensis specimen* auch einen experimentell-physiologischen Teil. Humboldt hatte in der von ihm beschriebenen Kryptogamen-Flora eine besondere, von der Erdoberfläche unabhängige Pflanzenwelt erkannt, „weil Mangel an Licht und eine so verschieden gemischte Atmosphäre auch eine andere Organisation, als die überirdische, ahnen läßt.“ Um diese Hypothese zu überprüfen, hatte Humboldt im Eselstolln (Luft „ziemlich verdorben, und von wässerichten Dünsten feucht“) einen kleinen unterirdischen Versuchsgarten angelegt, in dem er unter anderem „Versuche und Beobachtungen über die grüne Farbe unterirdischer Vegetabilien“ durchführte, um den Einfluss des Sonnenlichts auf die vegetabilische Organisation und die Entwicklung der ausgesetzten Samen, Moose und Blütenpflanzen zu untersuchen – mit Parallelversuchen bei Tageslicht entsprechend den Prinzipien moderner Versuchsdurchführung. Diese Untersuchungen, die seine ganzheitliche Naturbetrachtung dokumentieren und ihn zum Begründer der Höhlenbotanik (Speläobotanik) in Deutschland werden ließen, sind im 2. Teil der *Flora Fribergensis*, den *Aphorismen aus der chemischen Physiologie der Pflanzen* dargestellt, die Humboldt für „das beste, das ich je geschrieben habe“ hielt (Brief vom 14. Juni 1793 an Karsten) und wofür er die Kursächsische Prämien-Medaille für Kunst und Wissenschaft in Gold erhielt.

In den folgenden Jahren unternahm Humboldt mehrere längere Reisen durch Europa, so auch 1797 nach Wien, wo er in den Gewächshäusern in Schönbrunn die damals größte Sammlung tropischer Pflanzen in Europa besichtigte und während eines Besuches beim Wiener Botaniker Nikolaus von Jacquin sein Interesse für die Pflanzenwelt West-Indiens geweckt wurde.



Abb. 1: Deutscher Türstock mit Pilzen am Streckenabzweig zum Jehmlich-Schacht, Churprinz Friedrich August Erbstolln, Großschirma

Dieses Interesse konnte er während seiner Expedition in die Neue Welt (5. Juni 1799 bis 3. August 1804; „eine der größten und erfolgreichsten wissenschaftlichen Unternehmungen aller Zeiten“; Dobat 1985) zusammen mit dem französischen Arzt und Botaniker Aimé Bonpland in einem bis dato nicht erreichten Ausmaß der „Stringenz in der Durchführung, in der konsequenten Dokumentation der Beobachtungen und vor allem in der zügigen Veröffentlichung der Forschungsergebnisse“ (Lack 2009) in die Tat umsetzen. Noch am Tag der Landung an der Küste des heutigen Venezuela (16. Juli 1799) schreibt Alexander an seinen Bruder Wilhelm: „Wie die Narren laufen wir bis jetzt umher; ... Bonpland versichert, dass er von Sinnen kommen werde, wenn die Wunder nicht bald aufhören. Aber schöner noch als diese Wunder im Einzelnen, ist der Eindruck, den das Ganze dieser kraftvollen, üppigen und doch dabei so leichten, erheiternden, milden Pflanzennatur macht.“ Hier zeigt sich wiederum Humboldts Streben nach einer Gesamtschau – wenige Stunden vor dem Aufbruch hatte er die berühmten Zeilen geschrieben: „Auf das Zusammenwirken der Kräfte, den Einfluss der unbelebten Schöpfung auf die belebte Tier- und Pflanzenwelt; auf diese Harmonie sollen stets meine Augen gerichtet sein.“

Die bedeutendste „Hardware“ der Reise war die Expeditionssammlung, die als die wichtigste botanische Sammlung für die floristische Erforschung des tropischen Amerika gilt und 60.000 gesammelte Pflanzen, darunter 3.600 neue Arten (ca. 1 % aller heute bekannten Pflanzenarten!) umfasst. Die Belege wurden an das Naturhistorische Museum Paris geschickt, die Dubletten an

Willdenow in Berlin, wo sie sich heute im Botanischen Museum Dahlem befinden.

Als erste botanische Publikation dieser Reise erschienen 1806 die *Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse*. Darin erwähnt Humboldt bereits die Kerngedanken seiner im Jahre 1807 publizierten *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen, nebst einem Naturgemälde der Tropenländer* Im Einzelnen sind dies:

- Der Charakter einer Landschaft wird bestimmt durch das Vorherrschende bestimmter Pflanzenfamilien (z. B. Gräser, Koniferen, Heiden, Kakteen), was sich heute unter anderem in einer der zentralen Fragen der Ökologie, der nach der Abundanz der Arten, und im Konzept der Vegetationsformationen wiederfindet, einem Gliederungssystem der Vegetation, bei dem die Einteilung der Pflanzengesellschaften in erster Linie nach der äußeren Erscheinung („Lebensform“) der dominierenden Pflanzenarten erfolgt.
- Zahl bzw. Anteil der Arten und Gattungen spezifischer Familien sind abhängig vom Breitengrad, d. h. Klima und Phylogenie spielen die entscheidende Rolle bei der geographischen Verteilung der Pflanzen, wie in dem epochalen Werk von Heinrich Walter (1973) *Vegetation of the Earth, in Relation to Climate ...* auf globaler Ebene dargestellt.
- Zahlenverhältnisse der Familien in einer bestimmten Gegend, wobei es einen Grenzwert für die Artenzahl gibt; auf derartigen Ansätzen Humboldts baut das heutige Konzept der Biodiversität auf.

Die Physiognomik, die äußere Erscheinung der Pflanzengestalten, bestimmt den landschaftlichen Vegetationscharakter der ganzen Erdoberfläche in verschiedenen Breiten- und Höhenzonen. Humboldt unterscheidet verschiedene Hauptformen der Vegetation, bestimmt durch vergleichbare morphologische Kriterien: Stamm, Verzweigung, Appendicularorgane (Blattform, -stellung, -größe; Beschaffenheit und Glanz des Parenchyms), die der Erhaltung des Individuums dienen. In der heutigen Pflanzen- und Vegetationsökologie bauen die Konzepte der *Plant Functional Types* und der *functional traits* auf diesen Gedanken Humboldts auf (siehe Gillison 2019). Aufgrund vergleichbarer morphologischer Eigenschaften unterscheidet Humboldt sechzehn Pflanzenformen, die „hauptsächlich die Physiognomie der Natur“ bestimmen, darunter Palmen, Mimosen, Heidekräuter, Kaktusform, Orchideen, Nadelhölzer, Lianen, Aloe-Gewächse, Grasform, Farne/Baumfarne, Liliengewächse (s. Abb. 2). Ein Teil dieser Pflanzenformen entspricht systematischen Einheiten, die aufgrund ihrer Phylogenie in ihrer Physiognomie weitgehend übereinstimmen. Andererseits sind bei bestimmten Pflanzenformen Vertreter ganz unterschiedlicher systematischer Gruppen vereint, wie bei der „Kaktusform“ (s. Abb. 3), welche altweltliche Euphorbiaceen (Wolfsmilchgewächse) und neuweltliche Cactaceen mit einbezieht. Humboldt erkannte klar, dass unter analogen standörtlichen (insbesondere klimatischen) Gegebenheiten trotz stammesgeschichtlicher Distanz ähnliche Wuchsformen herausgebildet werden (Konvergenz).

Die *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen* aus dem Jahr 1807 („das wichtigste Resultat meiner Reise“) bauen diese Kerngedanken zu einer viele Teildisziplinen der heutigen Geobotanik umfassenden Wissenschaftsdisziplin aus, in dem unter anderem die Bedeutung von Klima, Geographie und Geologie, weltweit verbreitete Arten (Kosmopoliten), Wanderung und Entstehungsgeschichte der Pflanzenarten und die Ausbreitung der Kulturpflanzen als Beispiele und Erklärungsmuster für die Verbreitung der Pflanzen herausgearbeitet werden. Das

wohl bedeutendste und für Humboldt erhellendste Ereignis der Expedition in die Neue Welt, die Besteigung des Chimborazo mit den unzähligen Beobachtungen und Messungen, u. a. der Meereshöhe, der Temperatur, der Exposition und des Substrats im Zusammenhang mit dem Vorkommen von Pflanzenarten, war für ihn wie eine botanische Reise vom Äquator zu den Polen (Wulf 2016) mit tropischen Pflanzen in den Tälern und Flechten an der Schneegrenze. Aus dieser am Chimborazo gewonnenen Gesamtschau entstand statt der üblichen taxonomischen Kategorisierung von Flora und Fauna ein „Naturgemälde“ der botanischen, zoologischen und geologischen Beobachtungen im Kontext physikalischer Messungen (Humboldt nutzte mehr als 50 der modernsten Messgeräte seiner Zeit; Veit 2019), welches in der Verknüpfung von Messergebnissen und Angaben zur Verbreitung von Pflanzen entlang eines idealisierten Querschnitts durch die Anden bis heute einzigartig ist. In dieser Abstraktion erkannte Humboldt die „Einheit in der Vielheit“ und entwickelte das „Gesetz konstanter Stations-Verhältnisse zwischen Berghöhe und geographischer Breite“, womit er der Pflanzen- bzw. Vegetationsgeographie den Weg bereitete. Die die Vegetation einer Landschaft prägenden Pflanzen sind Ausdruck der charakteristischen Lebensformen eines bestimmten Standorts und Klimas. Die von Humboldt erstmalig auf klimatologische Fragestellungen angewandten Isolinien (Isothermen) nutzte er für seine ökologischen und pflanzengeographischen Fragestellungen (Brönnimann 2019). Mit ihrer Hilfe definierte er sich entsprechende Klima- und Vegetationszonen auf verschiedenen Kontinenten, was das „heutige Verständnis von Ökosystemen“ geprägt hat (Wulf 2016). Auch wenn dieses auf Humboldt zurückgehende Bild der globalen Vegetation, die lange Zeit als statisch und deterministisch angesehen wurde, durch die Einbeziehung dynamischer und stochastischer Prozesse wie Feuer und Herbivorie erweitert wurde (s. z. B. Pausas und Bond 2019), so spielt der Humboldtsche Ansatz der Physiognomie und Wuchsform bei der Modellierung und Erklärung der (potentiellen) Vegetation der Erde im Hinblick auf Klima(änderungen) weiterhin eine bedeutende Rolle (s. z. B. Box 2019), insbesondere durch seine Betonung der funktionellen Aspekte der Morphologie und der sich daraus ergebenden geographischen Verteilung der Pflanzen (Heilmeyer 2019).

Doch Humboldt stellt nicht nur „globale Gesetze“ der Pflanzenverbreitung in Abhängigkeit vom Klima auf, er widmet sich auch den ihr zugrundeliegenden Prozessen, die heutzutage in der Ökologie der Populationen und Lebensgemeinschaften als Teildisziplin der Geobotanik behandelt werden. Gemäß seiner Meinung wird die räumliche Ordnung der Pflanzendecke von zwei Pflanzen-„Klassen“ geprägt, den „*einzelnen und zerstreuten wachsenden Gewächsen*“ einerseits und den „*gesellig vereinten Gewächsen*“ andererseits. Die diesen beiden Verteilungsmustern zugrundeliegenden pflanzlichen „Strategien“ spielen in der aktuellen Diskussion über die Strukturierung von Pflanzengesellschaften eine bedeutende Rolle (Heilmeyer et al. 2016). Die Bedeutung von Wanderungen von Pflanzenarten, die Humboldt anschaulich an den vergleichenden Beispielen der Vegetation Nord-Amerikas und Mexikos einerseits und der Vegetation rund um das Mittelmeer andererseits diskutiert, gewinnt angesichts möglicher dramatischer Verschiebungen von Klima- und damit Vegetationszonen vehement an Bedeutung (Heilmeyer 2019). Der für ihn schon zu Beginn der Industrialisierung klar erkennbaren Einförmigkeit der Landschaft durch die Agrikultur in Europa stellt Humboldt die „unzerstörbare Pflanzenwelt der Tropen“



Abb. 2 (li.): Palmen, Mimosen und Kaktusform als die die Physiognomie der Caatinga (NO-Brasilien) dominierenden Wuchsformen

Abb. 3: „Kaktusform“ aus der brasilianischen Caatinga, wie sie sich in ähnlicher Weise Humboldt am Chimborazo dargeboten hat (vgl. das berühmte Gemälde von J.-T. Thiebaut nach A. v. Humboldt, Der Chimborazo gesehen von der Ebene von Tapia, 1811). Die Physiognomie der Landschaft wird überwiegend durch Hartlaubgewächse (Bäume und Sträucher) sowie Kaktusgewächse bestimmt.



© H. Heilmeyer (2)

entgegen. Allerdings schloss er scharf aus seinen Klimastudien am Valencia-See im heutigen Venezuela auf die menschliche Rodung als „vielleicht einen Hauptgrund der seit 5 Jahren so zunehmenden Dürre“. In der *Reise in die Äquinoktialgegenden des Neuen Kontinents* erstellt Humboldt eine vielbeachtete Analyse über den Zusammenhang Wald-Wasser-Klima. „Fällt man die Bäume, welche Gipfel und Abhänge der Gebirge bedecken, so schafft man in allen Klimazonen kommenden Geschlechtern ein zwiefaches Ungemach: Mangel an Brennholz und Wasser ... Daraus geht hervor, dass die Zerstörung der Wälder, der Mangel an fortwährend fließenden Quellen und die Existenz von Torrenten drei Erscheinungen sind, die in ursächlichem Zusammenhang stehen.“ Humboldt fasst in dieser Studie zum ersten Mal folgende vier grundlegende klimatische Funktionen von Wäldern zusammen: 1. positive Wirkung auf den Niederschlag durch die Verdunstung von Wasser; 2. temperatúrausgleichende (kühlende) Wirkung; 3. Wasserspeicherfunktion; 4. Pufferwirkung gegen Bodenaustrocknung. Darüber hinaus weist er auf die Erosionswirkung hin. In der aktuellen Ökosystemforschung werden diese Funktionen als sog. Ökosystemdienstleistungen analysiert und in ihrer Wohlfahrtsfunktion für die menschliche Gesellschaft bewertet (MEA 2005).

Somit beeinflussen der Forschungsansatz („*Mein eigentlicher, einziger Zweck ist es, das Zusammen- und Ineinander-Weben aller Naturkräfte zu untersuchen*“; Brief an David Friedländer, 11.04.1799) und die Herangehensweise Humboldts („*in der Stube die Anfangsgründe der Botanik zu studieren, ohne unmittelbare Vergleichung mit der Natur, ist ein trockenes, hyperlangweiliges Studium*“) und seine Erkenntnisse und „Ideen“ unser Verständnis von Ökologie heute noch (Wulf 2016). Der bereits in der *Florae Fribergensis specimen* erkennbare Ansatz, die Pflanzen an ihrem Standort nicht nur in systematischer Hinsicht zu beschreiben, sondern die komplexen Wirkungszusammenhänge ihrer Umweltbeziehungen zu verstehen, gipfelt in den Erkenntnissen der *Reise in die Neuen Kontinente*, mit denen er begann, durch die Kombination botanischer Beobachtungen und physikalischer Messungen die „*Pflanzengeographie als Teildisziplin einer ‚physique du monde‘ zu etablieren*“ (Päbler 2018). Sein Konzept der Physiognomik wurde in den aktuellen Konzepten der „Wuchsformen“, „Lebensformen“ und „funktionellen Pflanzentypen“ aufgegriffen, seine Ansätze zur Arithmetik der Botanik finden Verwendung in der Abschätzung der globalen Biodiversität sowie bei der Verarbeitung von *big data* in der Makroökologie (Keppel und Kreft 2019) und seine Ideen zu Gesetzmäßigkeiten in der

weltweiten Verteilung von Pflanzen dienen als Grundlage für Dynamische Globale Vegetationsmodelle und Klimawandelszenarien. Humboldts Ansatz, Fragen an die Natur zu stellen, ist laut Schrodt et al. (2019) essentiell zur Lösung gegenwärtiger globaler Probleme. Aus diesen Gründen bezeichnet Andrea Wulf (2016) die *Ideen zu einer Geographie der Pflanze* wohl zu Recht als „*erstes ökologisches Buch der Welt*“.

Anmerkung: Die Humboldt-Zitate stammen überwiegend aus: Alexander von Humboldt – *Mein vielbewegtes Leben. Ein biographisches Porträt* präsentiert von Frank Holl. Die Andere Bibliothek, Berlin 2017.

Literatur:

- Box E. (2019): Form and character diversity of potential world vegetation. *Flora* 254, 203-221
- Brönnimann S. (2019): Dem Empiriker über die Schulter geschaut. Messen, Sammeln, Ordnen, Darstellen: Humboldts Umgang mit Klimadaten. *Geo-Agenda* 2019/2, 22-25
- Dobat K. (1985): Alexander von Humboldt als Botaniker. In: Hein W.-H. (Hrsg.): Alexander von Humboldt. Leben und Werk. C.H. Boehringer Sohn, Ingelheim am Rhein, S. 167-194
- Gillison A.N. (2019): Plant functional indicators of vegetation response to climate change, past present and future: I. Trends, emerging hypotheses and plant functional modality. *Flora* 254, 12-30
- Heilmeyer H. (2019): Functional traits explaining plant responses to past and future climate changes. *Flora* 254, 1-11
- Heilmeyer H., Achtziger R., Günther A., Richert E., Wiche O. (2016): Bergbaufolgelandschaften – ideale Standorte zur Anwendung von Prinzipien der Ökologie. In: Groß U. (Hrsg.): *Glanzlichter der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg 250 Jahre nach ihrer Gründung*. Chemnitzer Verlag und Druck, S. 451-459
- Hoppe B. (1993): *Plantae subterraneae* zur Zeit von Alexander von Humboldt. In: *Studia Fribergensia*. Akademie-Verlag, Berlin, S. 76-92
- Keppel G., Kreft H. (2019): Integration and synthesis of quantitative data: Alexander von Humboldt's renewed relevance in modern biogeography and ecology. *Frontiers of Biogeography*. doi:10.21425/F5FBG43187
- Lack H.W. (2009): Alexander von Humboldt und die Botanische Erforschung Amerikas. Prestel-Verlag, München
- MEA (2005): *Millenium Ecosystem Assessment*. <https://www.millennium-assessment.org/en/index.html>
- Päbler U. (2018): *Die edition humboldt digital*. Dokumente zur Neuausgabe der *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen* (1825-1826). *HiN XiX*, 5-15
- Pausas J.G., Bond W.J. (2019): Humboldt and the reinvention of nature. *Journal of Ecology* 107, 1031-1037
- Schrodt F., Santos M.J., Bailey J. J., Field, R. (2019): Challenges and opportunities for biogeography—What can we still learn from von Humboldt? *Journal of Biogeography* 46, 1631-1642
- Veit H. (2019): Alexander von Humboldt als Geograph und Landschaftsökologe. *GeoAgenda* 2019/2, 14-17
- Walter H. (1973): *Vegetation of the Earth, in Relation to Climate and the Eco-physiological Conditions*. Springer, Heidelberg-New York
- Wulf A. (2016): Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur. C. Bertelsmann, München.

Alexander von Humboldt: Einführung in ein Leben und Wirken in ständiger Bewegung

Ottmar Ette¹

Alexander von Humboldts Leben und Wirken gliedert sich auf geradezu natürliche Weise in drei jeweils knapp dreißig Jahre umfassende Abschnitte. Während der ersten Phase war der 1769 im Zeichen eines Kometen zu Berlin Geborene zu dem geworden, was er selbst einen „Nomaden“, einen „Fremdling zwischen den Wissenschaften“ nannte. Er hatte die unterschiedlichsten Wissenschaften – von der Chemie und Mathematik über die Botanik und Geografie bis hin zur Geschichte und jener Kameralistik gequert, die er an den „frostigen Ufern der Oder“, an der Viadrina in Frankfurt (Oder) nach dem Willen der Mutter studiert hatte.

Der junge Humboldt hatte sich, teils nacheinander und teils gleichzeitig, auf die verschiedensten Disziplinen eingelassen und diese Vielzahl an der Universität Göttingen noch um die Anthropologie, die Kraneologie oder Schädelkunde, die Philologie und gewiss auch die Philosophie erweitert. Dazu kam seine Studienzeit an einer Handelsakademie in Hamburg, die ihm einen ersten Einblick in weltweite Verkehrs- und Handelsströme ermöglichte. Das montantchnologische Studium im berühmten sächsischen Freiberg absolvierte er in einem Drittel der vorgesehenen Zeit und startete eine Blitzkarriere im preußischen Bergdienst, die ihn rasch als Teil jener jungen Generation profilierte, welche die Modernisierung Preußens entschlossen vorantrieb. Humboldt war damals schon ein gemachter Mann, seine weiteren Aufstiegschancen in Preußen waren herausragend. Doch Humboldt war hungrig: Er wollte mehr sein als nur ein preußischer Spitzenbeamter.

Bald schon bot sich die Gelegenheit für ein anderes Leben. Denn nach dem Tod seiner Mutter kehrte er Preußen kurzerhand den Rücken und verwandelte sein Erbe in klingende Münze, die er für eine geplante und von ihm sehnlichst herbeigewünschte Reise in außereuropäische Regionen einsetzen konnte. Eine Weltumsegelung oder doch die Begleitung französischer Wissenschaftler im Schlepptau des napoleonischen Feldzuges nach Ägypten? Eine Überfahrt nach Tunis und die Erforschung des Nordens Afrikas? Oder besser nach Marokko, in den Hohen Atlas und von dort nach Mekka, um über Kairo, Griechenland und Italien nach Westeuropa zurückzukehren? Nach etlichen gescheiterten Reiseplänen war es schließlich die Reise durch die spanischen Kolonialgebiete Amerikas, eine Reise durch die heutigen Länder Venezuela, Cuba, Kolumbien, Ecuador, Peru, Mexico und erneut Cuba, die ihn zwischen 1799 und 1804 in einen internationalen Star der Wissenschaften verwandelte.

Die zweite Phase seines Lebens hatte damit begonnen. Entscheidend für diese Wandlung war eine neue Wissenschaftskonzeption: die Humboldtsche Wissenschaft, die er mit seiner Reise begründete und mit seinen nachfolgenden Schriften in den Wissenschaften etablierte. Seine *Amerikanischen Reisetagebücher* geben uns Schritt für Schritt heute noch Einblick in diese so entscheidende Entwicklung. Ein gewaltiges Reisewerk entstand, das so umfangreich und kostspielig war, dass selbst Humboldt sich nicht alle Bände leisten konnte. Alexander von Humboldt war nicht nur der Begründer von Einzeldisziplinen wie der Pflanzengeographie oder der Altamerikanistik, sondern

im Sinne Michel Foucaults ein wahrer Diskursbegründer. Denn mit der Reise in die Neue Welt begann ein tiefgründiges Zusammendenken all jener Disziplinen, in die sich Humboldt zuvor eingearbeitet und vertieft hatte. Nomadisch und keinesfalls monadisch blieb sein Wissenschaftskonzept allemal. Früh hatte sein Bruder Wilhelm schon erkannt, dass die große Gabe des Jüngeren in der Kombinatorik bestand: im Zusammendenken des auf den ersten Blick nicht Zusammengehörigen. Es war der Beginn einer transdisziplinären Wissenschaft, der die große Entfaltung heute noch bevorsteht. Auf Tausenden gedruckter Seiten in Bänden und Folianten, verzahnt mit einer an die 50.000 Briefe umfassenden Korrespondenz und einem wissenschaftlichen Nachlass, der bis heute erst in Teilen aufgearbeitet ist:

Die Humboldtsche Wissenschaft war entstanden.

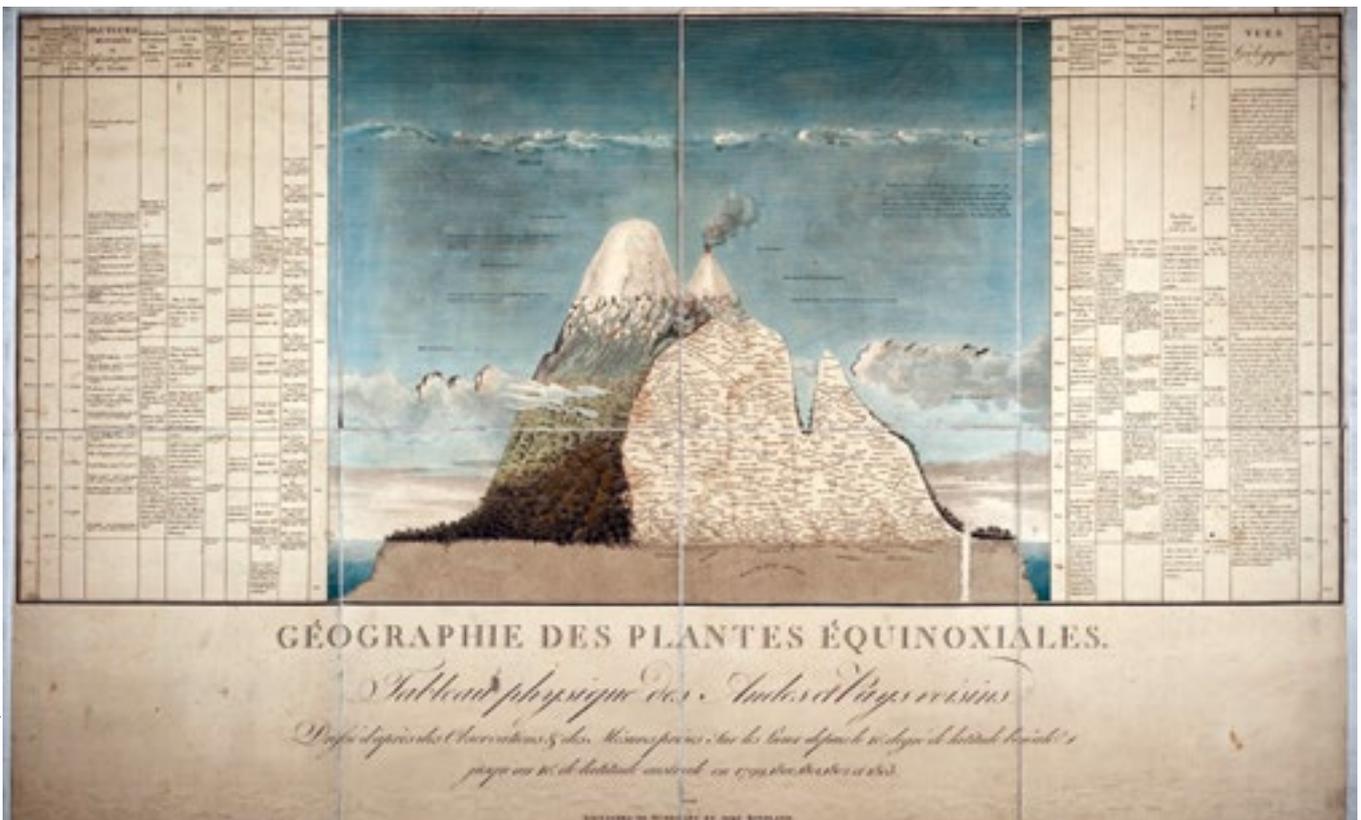
Die dritte und letzte Phase seines Lebens beginnt erneut mit einer transkontinentalen Reise. Nach dem Scheitern all seiner asiatischen Reisepläne und den vergeblichen Versuchen, das britische Kolonialreich zu besuchen – die Hüter des Empire hüteten sich vor allem, einen so ausgewiesenen Kolonialismuskritiker nach Indien und in das Gebiet des Himalaya reisen zu lassen –, »rettete« Humboldt eine Einladung des Zaren, Russland zu besuchen. Seine Asienreise wurde wahr. Mit der Russisch-Sibirischen Forschungsreise beginnt die letzte Phase seines Lebens und Schaffens, die ihn erneut aus der Bewegung neue Horizonte seines Verständnisses der Welt und unseres Planeten eröffnete. Diese Reise führte ihn nicht nur nach Zentral-Asien, dem er sein erneut – wie sein amerikanisches Reisewerk – in französischer Sprache verfasstes mehrbändiges Werk *Asie Centrale* widmete – sowie bis an die Grenzen Chinas, sondern ermöglichte ihm auch, einen seit den neunziger Jahren des 18. Jahrhunderts gehegten Traum zu verwirklichen: die Niederschrift eines Werkes – wie er selbst sich ausdrückte – „über Himmel und Erde“, über „alles Geschaffene“: seinen *Kosmos*. Band um Band dieser Summa seines Lebens, dieses Bestsellers der Wissenschaftsgeschichte erschien, bis er schließlich über dem fünften Band des *Kosmos* verstarb, fast an die neunzig Jahre alt.

Doch wollte man einen »Totaleindruck« seines Schaffens



Julius Schrader: Baron Alexander von Humboldt (1769–1859). Öl auf Leinwand, 1859

1 Ottmar Ette, Romanist und Komparatist an der Universität Potsdam, Ehrenmitglied der Modern Language Association of America, Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, der Leibniz-Sozietät und der Academia Europaea



Alexander von Humboldts Naturgemälde der Tropen: das „Tableau physique des Andes et pays voisins“ (1807)

gewinnen und auf einen Blick Einsicht in sein gesamtes Schaffen erhalten, so müsste man wohl am besten auf ein herausragendes Ergebnis seiner zweiten Schaffensperiode und damit auf einen Teil seines amerikanischen Reisewerks zurückgreifen. Betrachten wir folglich stellvertretend für sein gesamtes wissenschaftliches Wirken sein spektakuläres *Tableau physique des Andes et Pays voisins*, das sicherlich zu den berühmtesten Wissenschaftsdarstellungen des gesamten 19. Jahrhunderts zählt. Es geht auf einen Humboldtschen Entwurf des Jahres 1802 im ecuadorianischen Guayaquil zurück und erschien im Jahr 1807 in einem separaten Band zu seiner *Géographie des Plantes*, der ersten wissenschaftlichen Buchpublikation nach Abschluss seiner Amerikareise und zugleich der damit verbundenen Grundlegung der Disziplin der Pflanzengeographie. Auch wenn es den Stand seiner Wissenschaft um 1807 repräsentiert und sich an diesen ein halbes Jahrhundert wissenschaftlicher Tätigkeiten anschloss, ist es doch von grundlegender Bedeutung für das gesamte *Opus Americanum*. In diesem Naturgemälde der Tropen-Länder entwickelte er eine schon auf den ersten Blick erkennbare Einheit von Natur und Kunst, wie sie auch im Begriff des »Natur-Gemälde« selbst zum Ausdruck kommt. Bei dieser einzigartigen Verquickung von Wissenschaft und Ästhetik, bei welcher Ästhetik nicht als »Schmuck« oder »Zierat«, sondern als das eigentliche, künstlerisch gestaltete Verbindungswissen zwischen allen Bereichen des Wissens und der Wissenschaft verstanden werden sollte, gelang es dem preußischen Natur- und Kulturforscher, gleichsam modellhaft sein Bild vom Planeten Erde und von jener Humboldtschen Wissenschaft herauszuarbeiten, die in ihrem transdisziplinären Zuschnitt heute mehr denn je von größter Aktualität ist. Hier lässt sich ablesen, was die Humboldtsche Wissenschaft ausmacht.

Denn in diesem inselartig herauspräparierten Schnitt durch die Andenvulkane Chimborazo und Cotopaxi ist buchstäblich

alles in Bewegung. Zum einen ist es der Festlandssockel, zu dem Humboldt schon früh festgestellt hatte, dass sich die Umrisse Südamerikas sehr präzise in die Umrisse Afrikas einfügen ließen und daher eine Wanderung des Subkontinents nach Westen wahrscheinlich sei; und zum anderen ist es auch die gesamte dargestellte Geologie – deutet der rauchende Schlund des Vulkans doch an, dass das die Vulkankegel aufbauende Gestein in ständiger »plutonistischer« Bewegung begriffen ist. Aber auch und vor allem sind es die Pflanzen, die auf der Wanderung sind, ist die von Humboldt begründete Pflanzengeographie doch keine Kartierung oder statische Bestandsaufnahme des Vorhandenseins oder Vorkommens von Pflanzen, sondern eine Untersuchung der Wanderungen von Gewächsen an der Oberfläche (und bei den Kryptogamen selbst unter) der Erde. Und schließlich sind auch die verschiedenen Parameter etwa der Schneegrenze, aber auch der unterschiedlichen Höhenstufen in Bewegung, flachen alle Grenzen, etwa des ewigen Schnees sowie anderer Höhenstufen, doch hin zu den Polen ab, wie das *Tableau physique* präzise vermerkt.

In diesem »Totaleindruck« der Humboldtschen Wissenschaft aber bewegen sich auch die Menschen, werden etwa die afrikanischen Sklaven vermerkt, die in den tropischen Plantagen Amerikas eingesetzt wurden. Nicht nur Gesteine, Pflanzen und Tiere, sondern gerade auch die Menschen sind es, die – wie die europäischen Eroberer – zunehmend das Antlitz der Erde prägen. Früh schon hatte Humboldt in seinen Schriften erkannt, wie sehr der Mensch in die Natur eingriff, sie veränderte und damit auch seine Lebensbedingungen selbst transformierte. Sein zentrales Axiom – „Alles ist Wechselwirkung“ – lässt uns noch heute verstehen, in welchem fundamentalem Sinne Humboldt ökologisch und vernetzend dachte. Natur und Kultur sind für ihn nicht voneinander zu trennen, sondern aufs Engste miteinander verwoben.

Alexander von Humboldt und die Gefahrenabwehr am Familienschacht

Bernhard Cramer¹

Schadensmeldung: Offener Schacht am Untermarkt

Am 1. August 2018 meldeten Mitarbeiter einer archäologischen Grabungskampagne im Zuge von Straßenbauarbeiten am Untermarkt in Freiberg, dass unerwartet ein Schacht an der Oberfläche angetroffen worden sei. Nordöstlich des Abraham-Gottlob-Werner-Baus, im Bereich der Bushaltestelle, wurde unmittelbar unter der Geländeoberfläche ein akkurat ausgeführtes, etwa 0,75 m starkes Bruchsteinmauerwerk eines mit rund 80° nach Süden einfallenden Schachtes freigelegt (Abb. 1). Der Schachtquerschnitt weist an der Oberfläche eine Länge von 2,35 m und eine bankrechte Breite von 0,72 m (kurze Schachtstöße) bzw. 1,16 m (Schachtmitte) auf; das hangende Schachtmauerwerk ist gewölbt (Abb. 1).



Abb. 1: Blick vom Untermarkt nach NW auf die Gebäudeecke des Abraham-Gottlob-Werner-Baus an der Brennhausgasse Ende August 2018: frei gelegtes Bruchsteinmauerwerk des Familienschachts

Abwehr von Gefahren aus dem Altbergbau

Von Beginn an war offensichtlich, dass dieser Schacht einer früheren Bergbauperiode zugeordnet werden musste. Für derartige Hinterlassenschaften des alten Bergbaus gibt es in der Region in aller Regel keinen Rechtsnachfolger. Das heißt, es existiert kein Bergbauunternehmen, der für diese späten Bergbaufolgen heute noch haftbar gemacht werden könnte. Geht – wie im Fall des Tagesbruchs am Untermarkt – eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung von solchen Hinterlassenschaften aus, handelt das Sächsische Oberbergamt nach dem Sächsischen Polizeigesetz und der Sächsischen Hohlraumverordnung als zuständige Polizeibehörde für die Gefahrenabwehr (§ 3 SächsHohlrVO). In den zurückliegenden Jahren wurden dem Oberbergamt in dieser Funktion im Durchschnitt jährlich rund 160 Schadstellen des Altbergbaus im Freistaat Sachsen gemeldet. Je nach Gefährdung und Ausmaß des Schadens entscheidet das Oberbergamt für jede Gefahrenstelle über die Notwendigkeit der Sicherung und Sanierung. So betreut die Behörde alljährlich rund 60 Baustellen zur Gefahrenabwehr. Der Freistaat wendet für diese Maßnahmen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung pro Jahr durchschnittlich 13 Mio. € auf.

In seiner Zuständigkeit als Polizeibehörde ließ das Oberbergamt den offenen Schacht auf dem Untermarkt umgehend sichern. Am 6. August 2018 beauftragte das Oberbergamt die

Firma GolHo mit der Erstellung einer Sachstandsanzeige, auf deren Grundlage die altbergbauliche Situation und die Handlungsnotwendigkeiten im Sinne der Abwehr von Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung untersucht und bewertet werden sollten.

Familienschacht der Neubeschert Glück Fundgrube in der Stadt

Nach ersten Recherchen bestätigte sich schnell die Vermutung, dass es sich bei dem offenen Schacht auf dem Untermarkt um den zum Ende des 18. Jahrhunderts ausgebauten Familienschacht auf der Neubeschert Glück Fundgrube in der Stadt handelt. Dieser wurde zunächst von der Tagesoberfläche aus 28 m tief bis zum Esel Stolln (= Hermser Stolln oder auch Alter Fürsten Stolln) und dann weiter mit umschlagendem Einfallen bis zum Tiefen Fürsten Stolln in rund 50 m Teufe aufgefahren (Abb. 2).

Die wechselvolle Geschichte der Neubeschert Glück Fundgrube in der Stadt im 18. und 19. Jahrhundert wurde von Wagenbreth (1960) ausführlich beschrieben. Danach erstreckte sich die Grube in ihrer maximalen Ausdehnung über den östlichen Teil der Altstadt Freibergs sowie angrenzende Bereiche vom Schlüsselteich Richtung Osten. Während die Ursprünge der Grube weitgehend im Dunkeln liegen, findet die Neubeschert Glück in der Stadt nach Wagenbreth (1960) ab 1708 erste Erwähnung als Zubußzeche. In den nachfolgenden Jahrzehnten wurde sie zeitweise als gewerkschaftliche Grube, zeitweise als

¹ Prof. Dr. Bernhard Cramer
Oerberghauptmann
Sächsisches Oberbergamt, Kirchgasse 11, 09599 Freiberg
bernhard.cramer@oba.sachsen.de

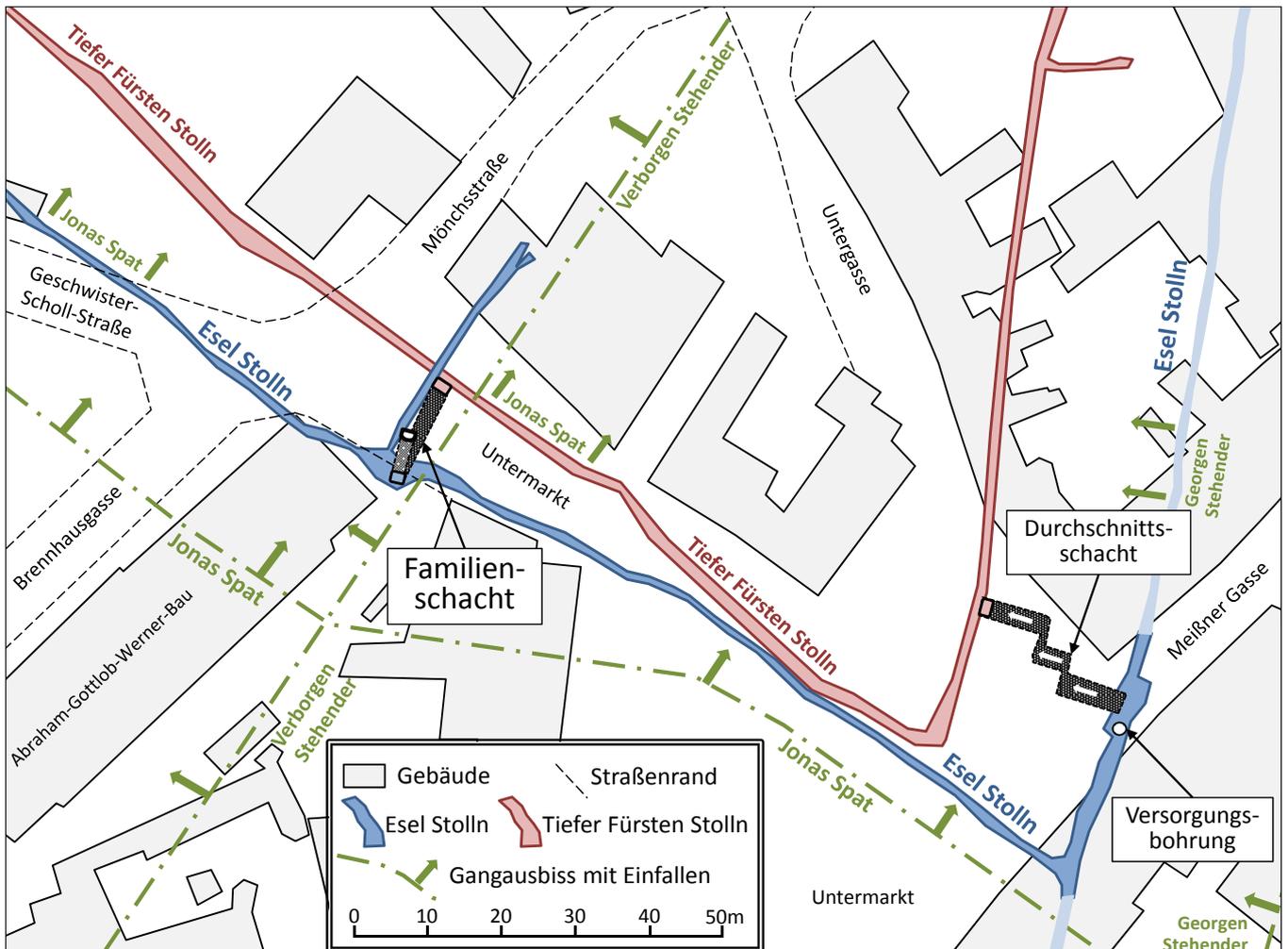


Abb. 2: Riss der altbergbaulichen Situation am Untermarkt

Eigenlöhnerzeche betrieben. 1740 wurde sie erneut in eine Gewerkschaft umgewandelt, um Finanzkraft für die Beherrschung starker Wasserzutritte in den Grubenbauen unterhalb des Tiefen Fürsten Stollns zu entwickeln. War die Entwässerung bis dahin von Menschenhand erfolgt, begann die Gewerkschaft – auch auf Empfehlung des Bergamtes – mit dem Bau eines Kunstgezeuges, das vermutlich um 1747 fertiggestellt wurde (Wagenbreth, 1960).

Bis zu dieser Zeit war der Bergbau im südlichen Teil der Grube umgegangen. Nun entwickelte er sich weiter in Richtung Nordwest bis an die Markscheide der Schlüssel Fundgrube. Schließlich übernahm die Neubeschert Glück in der Stadt von 1772 bis 1774 wesentliche Teile der untertägigen und obertägigen Anlagen der Schlüssel Fundgrube. So entwickelte sie sich zu einem Bergwerk von beachtlicher Größe mit 80 Mann Belegschaft, zwei Huthäusern, mehreren Schächten, Aufbereitungsgebäuden, weitläufigen Grubenbauen mit zwei Kunstgezeugen und dem Schlüsselteich als Reservoir für Aufschlagwasser (Wagenbreth, 1960). Mit einem Einbruch der Stollenwässer des Tiefen Fürsten Stollns in die liegenden Tiefbaue erfolgte 1774 ein herber Rückschlag mit schweren Schäden in der Grube.

In den nachfolgenden Jahren wurde der Grubenbetrieb mühsam wiederaufgebaut. Laut einem bei Wagenbreth (1960) zitierten Befahrungsbericht fiel dabei im Januar 1786 „nahe bei dem Freierslebischen Hauße am Aschmarkt“ (heutiger Untermarkt) ein Tagesbruch am sogenannten Familienschacht (Abb. 2). Dieser wurde in der Folge für die Förderung vorgerichtet und später

ausgemauert. Im Zuge des Wiederaufbaus der Grube wurde bis 1790 insbesondere auch der Wiesenschacht technisch ertüchtigt und im Bereich des Schachtes auf dem Niveau des Tiefen Fürsten Stollns eine Radstube mit Kunstrad zur Wasserhaltung in den tiefen Grubenteilen errichtet. Nach Wagenbreth (1960) erlebte der Bergbaubetrieb auf der Grube nach dieser technischen Ertüchtigung ab 1790 für wenige Jahre eine Blütezeit. Aber bereits 1797 wurde er mangels Erträgen zunächst eingestellt. Die nachfolgende Zeit ist von einem stetigen Niedergang des Anlagenzustands und der Aktivitäten auf Neubeschert Glück gekennzeichnet. Wagenbreth (1960) belegt das endgültige Aus der Grube mit der Austragung aus dem Berglehnbuch für das Jahr 1840.

Alexander von Humboldt und der Familienschacht

Alexander von Humboldt studierte von Juli 1791 bis Februar 1792 an der Bergakademie Freiberg. Über die Bedeutung seiner geologischen und bergtechnischen Ausbildung gerade für den Beginn seiner beruflichen Entwicklung als Bergbeamter berichtete Baumgärtel (1960) ausführlich. Trotz der nach heutigem Maßstab kurzen Studiendauer in Freiberg bezeichnete sich von Humboldt in einer fachlichen Stellungnahme zum Plan des Tiefen Meißner ErbStollns noch vier Jahrzehnte nach Abschluss

seines Studiums – offensichtlich nicht ohne Stolz – als „Schüler Werners, und als praktischer Bergmann in der Freiburger Akademie gebildet“ (von Humboldt, 1833).

Die Studienzeit Alexander von Humboldts in Freiberg fällt also in die kurze Blütezeit der Neu Beschert Glück Fundgrube (Wagenbreth, 1960) mit dem damals aktiven Familienschacht auf dem Untermarkt. Bereits am 6. Juli 1791, drei Wochen nach seiner Ankunft in Freiberg, befuhr er die Grube im Rahmen seiner Studien vom Wiesenschacht bis zum Familienschacht. Aus heutiger Sicht mag man diese Befahrung in ihrer Bedeutung wie eine Erstsemesterexkursion bewerten. Wagenbreth (1969) zitiert das kurze, sachliche Befahrungsprotokoll Alexander von Humboldts zum Ausfahren auf dem Untermarkt: „Den Familien-Schacht unter 80 Gr. Tonnlage 6 Fahrten hinaus zu Tage“.

Mit diesem Satz aus dem Jahr 1791 macht Alexander von Humboldt den Tagesbruch am Familienschacht im Jahr 2018, also im Vorjahr des 250. Geburtsjubiläums des bedeutenden deutschen Naturforschers, zu einem besonderen Ereignis für die Freiburger Stadtgesellschaft. Denn mit dem Tagesbruch öffnete sich am Vorabend seines runden Geburtstags ein schmaler Spalt für geschichtlich interessierte Blicke in die Zeit seiner Studien in Freiberg.

Die Sicherung des Familienschachtes und angrenzender Grubenbaue

Für die Sicherung, Erkundung und Verwahrung der am Untermarkt angetroffenen Schadstellen, bedingt durch tagesnahe Hohlräume und den Familienschacht selbst, startete das Oberbergamt umgehend – nach Vorlage des Sachstandsberichts – eine öffentliche Ausschreibung. Als Ziele der Sanierungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr wurden festgelegt:

- Kontrolle der zugänglichen Hohlräume bezüglich Standsicherheit, ggf. Sicherung gegen Nachbrechen,
- Herstellung einer geordneten Wasserableitung aus den Grubenbauen über den Esel Stolln mit Ableitung auf das Niveau des Tiefen Fürsten Stollns,
- vermessungstechnische Erfassung der bekannten und noch unbekanntem Hohlräume, Zulage zu ehemaligen Schadstellen sowie die Ergänzung und Aktualisierung der Bergschadenskundlichen Analyse für Freiberg,
- eine dauerhafte Verwahrung tagesnaher Hohlräume mit Gefahrenpotenzial für die Tagesoberfläche,
- Sicherung der Schachtkontur an schadhaften Stellen,
- Herstellung der Fahrbarkeit des Schachtes für spätere Kontrollen inklusive seiner Ausrüstung mit Fahrten und Umtrittbühnen,
- sichere Gestaltung des Schachtkopfbereiches mit Zugangs-



Abb. 3: Füllort Familienschacht auf dem Niveau Esel Stolln während der Sanierungsarbeiten

öffnung als Einrichtung zur Gefahrenabwehr gemäß § 2 (4) SächsHohlrVO.

Mit der Ausführung dieser Arbeiten wurde die Bergsicherung Freital GmbH beauftragt.

Der Familienschacht steht auf einem Gangkreuz des NW-SE streichenden Jonas Spats mit dem annähernd 90° kreuzenden Verborgten Stehenden (Abb. 2). Auf beiden Sohlen erfolgte der Erzabbau im Bereich des Schachtes insbesondere auf dem Jonas Spat, so dass Esel Stolln und Tiefer Fürsten Stolln hier im Streichen der Gangstruktur aufgefahren sind. Im Zuge der Sanierung wurden ausgehend vom Füllort am Schacht (Abb. 3) bislang



Abb. 4: Abbauhohlräume mit Verbruch auf dem Niveau Esel Stolln im Einmündungsbereich Meissner Gasse

Beräumungs- und Sicherungsarbeiten auf dem Niveau des Esel Stollns in Richtung NW bis zu einem alten Tagesschacht im Bereich des Meissner Rings durchgeführt (Stand August 2019). Nach SE kreuzt der Jonas Spat im Bereich der Meissner Gasse den Georgen Stehenden. Auf dem Niveau des Esel Stollns wurden hier große Abbauhohlräume von unbekannter Erstreckung in Richtung Tagesoberfläche angetroffen (Abb. 4), die teilweise mit instabilen Versatzmassen befüllt sind. Diese stellen eine Gefährdung für die geotechnische Sicherheit im Bereich der Einmündung Meißner Gasse in den Untermarkt dar und müssen daher gesichert werden. Zur Absicherung dieser Arbeiten wurde hier im Bereich des Gehweges eine Versorgungsbohrung abgeteuft (Abb. 2).

Direkt nördlich der Versorgungsbohrung verbindet der tonnlägige Durchschnittsschacht die Sohlen des Esel Stollns und des Tiefen Fürsten Stollns (Abb. 2). Zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes (Oktober 2019) werden zwei Varianten geprüft, um die Wasserlösung aus den oberflächennahen Bereichen des Grubengebäudes auf das Niveau Tiefer Fürsten Stolln sicher zu stellen. Entweder sollen die aus dem hangenden Gebirge zutretenden Wässer über den Durchschnittsschacht oder direkt über den Familienschacht verströmt werden. Für beide Varianten wird ein Abschluss der Sicherungsmaßnahmen im Verlauf des Jahres 2020 angestrebt. Ein Umfang der für diese Maßnahmen zur Gefahrenabwehr insgesamt aufzuwendenden Finanzmittel ist bei noch laufenden Arbeiten grundsätzlich schwer zu benennen. Aus den Erfahrungen vergleichbarer Sicherungsbaustellen kann von einem Mittelbedarf in der Größenordnung von 1 Mill. € ausgegangen werden.

Mit der Sanierung des Familienschachtes ergibt sich für das Sächsische Oberbergamt die Gelegenheit, einen revisionsfähigen Zugangspunkt zum oberflächennahen Bergbau im Innenstadtbereich des Untermarktes zu schaffen. Daher wird der Schacht für spätere Kontrollbefahrungen mit Fahrten und Umtrittsbühnen ausgerüstet. Zudem wird der Schachtkopfbereich als künftige Zugangsöffnung für Maßnahmen der Gefahrenabwehr gestaltet. Aufgrund der geschilderten historischen Bedeutung dieses Schachtes für die Stadtgeschichte haben sich die Saxonia-Freiberg-Stiftung, die TU Bergakademie und die Stadt Freiberg auf ein für die Öffentlichkeit bestimmtes, im Bereich des Schachtkopfes lokalisiertes Informationsangebot verständigt. Dieses soll zum Abschluss der Sanierungsarbeiten installiert werden.

Literatur

- Baumgärtel, H. (1960): Alexander von Humboldt und der Bergbau.- Freiburger Forschungsheft D 33, 116-149; Akademie-Verlag, Berlin.
- von Humboldt, A. (1833): Gutachten über die Herantreibung des Meissner Stollns in die Freiburger Erzrefier. Beilage No. XII, in: von Herder, S. A. W. (1838): Der tiefe Meissner Erbstolln – Der einzige, den Bergbau der Freyberger Refier für die fernste Zukunft sichernde Betriebsplan. 115 S., 12 Beilagen; F. A. Brockhaus, Leipzig.
- Wagenbreth, O. (1960): Alexander von Humboldts Grubenfahrt auf „Neubeschert-Glück in der Stadt“ und die Geschichte dieser Freiburger Grube. Freiburger Forschungsheft D 33, 152-166; Akademie-Verlag, Berlin.
- Sächsische Hohlraumverordnung (SächsHohlVO) vom 20. Februar 2012: Polizeiverordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr über die Abwehr von Gefahren aus unterirdischen Hohlräumen sowie Halden und Restlöchern.

Zum 10-jährigen Jubiläum der Terra Mineralia

Dr. Dr. h. c. Erika Pohl-Ströher (18.1.1919–18.12.2016) hat zeit ihres Lebens eine der wertvollsten und größten privaten Mineraliensammlungen der Welt zusammengetragen. 2004 überließ sie einen großen Teil ihrer Sammlung der TU Bergakademie Freiberg als Dauerleihgabe. Seit der Eröffnung im Oktober 2008 und Komplettierung im April 2009 haben über eine Million Besucher die faszinierenden Schätze aus allen Kontinenten in einer modern gestalteten Ausstellung im Schloss Freudenstein bestaunt. Anlässlich des 100. Geburtstages der Stifterin und des 10. Geburtstages der terra mineralia fand am 16. April 2019 ein großer Festakt in der Alten Mensa statt. Die Festrede wurde vom sächsischen Ministerpräsident Michael Kretschmer gehalten. Bertram Pohl, Sohn von Frau Dr. Dr. h. c. Erika Pohl-Ströher, vermittelte in seinem Beitrag ein eindrucksvolles Bild von der Sammelleidenschaft seiner Mutter:

Liebe Ehrengäste,
meine Damen und Herren,

Zehn Jahre Terra Mineralia – das ist eine Dekade. Unserer Mutter waren derer beinahe zehn vergönnt. 97 Jahre und elf Monate durfte sie erleben, bewusst erleben bis zu ihrem letzten Atemzug. Und dies ist keine Selbstverständlichkeit.

Geboren am 18. Januar 1919, im Schatten des Ersten Weltkriegs und des Versailler Vertrags, erlebte sie in ihrer Kindheit die ersten Gehversuche der Demokratie auf deutschem Boden, aber auch das Chaos von Hyperinflation und Wirtschaftskrise. Ihre Jugend wiederum war geprägt von Zeiten der Diktatur und des Hasses. Studiert und doktoriert hat sie während des Zweiten Weltkrieges. Viele ihrer männlichen Freunde verschwanden an die Front, viele kamen nie zurück. Unsere Mutter musste also viele Einschränkungen und Entbehrungen erfahren – vielleicht eine Erklärung, warum später im Hause Pohl nichts weggeworfen wurde, was noch irgendwie brauchbar erschien.

Aber auch die Familie Ströher war eine Familie von Sammlern. So war Mutters Vater Karl ein bedeutender Sammler moderner Kunst. Unsere Mutter hatte jedoch zweifelsfrei das am stärksten ausgeprägte „Sammlergen“ in der Familie ... und dieses kombinierte sich mit ihren Jugenderfahrungen.

In der Zeit der Wirren nach dem Zweiten Weltkrieg lernten unsere Eltern sich kennen und lieben und heirateten 1948, um eine Familie zu gründen. Karl Ströher holte den neuen Schwiegersohn alsbald in seine Firma, um vor allem das Auslandsgeschäft wieder aufzubauen. In den fünfziger Jahren sammelte unsere Mutter bereits eine erquickliche Menge an Bildern und Filmen von uns Kindern, und schließlich kam ich 1960 als Nachzügler hinzu.

Mauerbau, Checkpoint Charlie, Kubakrise ... Mit dem Zweiten Weltkrieg und Korea noch immer in den Knochen, zankten sich die Mächtigen der Welt erneut wie kleine Kinder. Während Amerika versucht, mit „duck and cover“ dem Armageddon zu entgehen, denkt unsere Mutter viel pragmatischer und plant die temporäre Flucht in die vermeintlich vor dem Atomblitz sicheren Schweizer Berge. Ziel ist das Ferienhaus der Familie Ströher – ein Chalet in Beatenberg, wo sie bei Gefahr mit Kindern,

Zoo und Hausrat einkehrt. Doch schon bald möchte sie mit wissenschaftlicher Neugier die Umgebung auskundschaften. Besonders beliebt waren da Touren wie die Drei-Pässe-Tour: Susten–Grimsel–Furka. Ob einer dünnen Blase geschuldet oder aufgrund von überhitzten Bremsen und Motoren, jedenfalls gab es so manches „Päusli“. Was funkelt da doch Quarz und Glimmer am Wegesrand! Die Neugier der Naturwissenschaftlerin ist gelenkt und die Liebe der Ästhetin erweckt. Hat sie die ersten Steine noch am Wegesrand aufgesammelt, so fand sie schnell Kaufmöglichkeiten für die schönsten Mineralien.

Schon ging es los auf Mineralientour zu Börsen und Händlern: Max Meier, der Chauffeur, hatte seinen Koffer im Beifahrerfußraum, auf diesem Sitz die erste Kühltasche, hinten links Mutters Gepäck und die zweite Kühltasche und Mutter hinten rechts. So ward der Kofferraum reserviert und frei für Mineralien! All die Schätze kamen ins Haus in Trautheim bei Darmstadt.

Dort gab es eine große Eingangshalle mit einer Doppeltür geradeaus. Der Wohnraum dahinter hatte ein großes U als Wand mit der Doppeltür im Zentrum. Rechts eine Schiebetür zum „guten“ Wohnzimmer und links war der Raum offen zum Esszimmer. Dieses U erhielt die erste Vitrine mit einer schönen Umbauung der Tür. Schon bald gesellte sich zu dieser ersten Vitrine ein Zwilling in der Eingangshalle. Im Esszimmer folgte oberhalb der Anrichte eine kleine Vitrine auf Augenhöhe. Dort fanden Achatplatten ihr neues Zuhause. Mutter ordnete sie schön an wie farbige Schmetterlinge. Einige weitere Vitrinen folgten im Wohnbereich. Im Keller jedoch befand sich ein großer Raum für die Modelleisenbahn. Kurz entschlossen waren Rainald und Tilman zu alt und Burkhard und ich zu jung für eine Modelleisenbahn. So ward schwuppdwupp ein wunderschöner Ausstellungsraum mit Reihen von Vitrinen geschaffen. Weitere Kellerräume dienten fortan als Lager.

Um den Überblick über die Sammlung zu erhalten, brauchte es natürlich eine saubere Listenführung. Damals gab es noch keine Computer, sondern Sekretärinnen mussten die Listen auf der mechanischen Schreibmaschine tippen. Auch Kopien gab es keine, sondern nur drei Durchschläge auf hauchdünnem Papier. Konnte man einen Tippfehler auf dem Original noch verbessern, so waren die Durchschläge von hässlichen schwarzen Flecken gezeichnet.

Natürlich musste man auch jedes Mineral nummerieren, um es gemäß Liste wiederfinden zu können. Dazu schnitt eine Sekretärin ein Speckpapier – wie man es beim Metzger erhält – auf A4-Größe. Darauf klebte sie Hansaplast-Streifen vertikal und spannte das Ganze in die gute alte mechanische Schreibmaschine. So schrieb sie dann stundenlang Nummer um Nummer auf das Hansaplast. Danach wurden die Streifen wieder abgelöst und auf ein Frühstücksbrettchen aus Plastik geklebt, sauber nebeneinander. Mit einem Lineal und einer Rasierklinge durchschnitt man nun im Zwischenraum der Nummern das



Bertram Pohl bei seiner Ansprache

Hansaplast. Unsere Mutter konnte nun auf jedes Mineral eine Kennnummer aus Hansaplast kleben, bevor das gute Stück in die Vitrine kam. Aber oh Unglück! Schon bald lagen die Nummern auf den Glasböden unter den Mineralien; das Hansaplast hatte sich abgelöst. Zur Klebeverstärkung bekam nun jede Nummer einen Tropfen Uhu, und das Malheur war schnell behoben. So musste auch fortan der Uhu herhalten – und über die Jahre werden wohl ein paar hundert Tuben verbraucht worden sein. So wuchs die Sammlung und wuchs ...

1971 kam der Umzug in die Schweiz. Natürlich musste die Sammlung auch mit. Drei Monate lang wurde Familie und Personal rekrutiert, um die Steine zu verpacken. Die Empfindlichen wurden wattiert und alle wurden mit Klopapier umwickelt. Danach wurde noch einmal jedes Stück mit Luftpolsterfolie verpackt. Mutter hat dies gehasst!

Das nächste Problem war nun: Wohin mit den Mineralien? In den Kofferraum kamen sie in allen möglichen Schachteln und Tüten. Für die Logistik eines Umzuges waren diese aber nicht brauchbar; so konnte die Sammlung nicht transportiert werden. Die Lösung waren Holland-Tomaten! Ja, diese dicken, wässrigen Dinger ohne jedweden Geschmack, die keiner kauft, die aber zu tausenden Tonnen jedes Jahr importiert werden. Meine Damen und Herren, ohne Holland-Tomaten gäbe es keine Sammlung Pohl-Ströher, keine Terra Mineralia und wir wären heute nicht hier. Es ging nicht so um die Tomaten, als um deren Verpackung. Tomaten und Mineralien haben das gleiche logistische Problem: Wie kann man sie in großen Mengen stapeln, ohne dass es zu Druckschäden kommt? Die Stiegen sind in ihren Maßen an Europaletten angepasst und wunderbar bis mannshoch stapelbar – mit festem Boden, der sich nicht durchbiegt. Seitlich ist viel Platz, um jede Stiege zu beschriften – und auch eine ältere Dame kann so eine gefüllte Stiege leicht tragen. Sind die Tomaten ausgepackt, werden die Stiegen beim Lebensmittelhändler in den Müll entsorgt.

So mussten die Wella-Fahrer, wenn sie mit ihrem VW-Bus die Frisöre belieferten, bei allen Lebensmittelhändlern Station machen und Tomatenkisten aus dem Müll fischen. In nur drei Monaten kamen auf diese Weise die umwickelten Mineralien in die Holland-Stiegen und die ganze Sammlung auf dem Umzugslastwagen in die Schweiz.

In Avry bei Fribourg haben unsere Eltern ein Haus gekauft, das für die Familie genügend Platz bot, allerdings nicht für die Sammlung. Ein paar Vitrinen im Wohnbereich durften zwar nicht fehlen, aber im Keller fehlte der Platz, um die Sammlung auszupacken. Auch wenn unsere Mutter weiter sammelte, so musste sie doch das Meiste einlagern.

In Ferpicloz bauten die Pohls ihr neues Heim mit einem ganz großen Keller für die Mineralien. Beim Einzug 1974 konnte die ganze Sammlung im Ausstellungsraum im Keller gut in Szene gesetzt werden. Schon bald gaben sich die Händler die Klinke in die Hand und waren häufig zu Gast am familiären Mittagstisch. Der berühmte Tisch am Kachelofen ward zum Verkaufsraum umfunktioniert und Mineralienstiegen rings herum. „Frau Dr. Pohl, das müssen Sie nehmen, dies ist einzigartig, das gibt es nicht nochmal auf der Welt und das kommt auch nie wieder.“ wurde die Ware Mutters kritischem Auge unterbreitet.

Besonders clever war es, nicht einzelne Mineralien anzubieten, sondern die Preise nur stiegenweise zu unterbreiten. Besonders schrullig auch die frequenten Telefonate: „Kipping hier, Frau Dr. soll zurückrufen!“ Klick bevor man irgendetwas sagen konnte. Damals war Telefonieren noch etwas teurer. „Mutti, das war Herr Kipping“ – und schon verschwand sie für eine halbe Stunde ...

Und so wächst die Sammlung langsam aus dem Keller und auch langsam aus dem Haus heraus – bis hin zur Notwendigkeit der Anmietung weiterer Flächen im Dorf. Unsere Mutter sammelte nicht mehr nur Mineralien, sondern sie sammelte Sammlungen; dazu später mehr.

2003 reifte bei Mutter das Bedürfnis, ein bleibendes Domizil für ihre Mineralien zu schaffen, wofür sie auch durch die Familie bestärkt wurde. Es gab da verschiedene Verhandlungen mit Museen, aber bald war Prof. Unland ein gern gesehener Gast in Ferpicloz -- und so fiel die Wahl der Familie auf Freiberg. Auch wenn die Umsetzung der Terra Mineralia nicht einfach



Dr. Dr. h.c. Erika Pohl-Ströher in der terra mineralia

© TU Bergakademie Freiberg/Deiv Müller

war für Freiberg und das Land Sachsen, so war sie bekanntlich ein voller Erfolg für die ganze Region.

Jede gute Geschichte hat einen Epilog, so auch diese. Ja, meine Damen und Herren, was macht eine Sammlerin, wenn sich die Vitrinen leeren und die Mineralien nach Freiberg reisen? Richtig, nachsammeln! Sowie sich unsere Vitrinen leerten, bestückte unsere Mutter diese mit neuen Mineralien.

Dazu noch ein paar Zahlen: In der Terra Mineralia sind 3.500 Steine ausgestellt und im Krügerhaus weitere 500. Etwa 18.000 Mineralien machen den Gesamtbestand der Terra Mineralia in Freiberg aus. Unsere Mutter hat etwa 5.500 „SCH“-Nummern (Sch für Schatz) und 91.500 normale Nummern vergeben. Sie hat etwa 25.000 Mineralien noch nach 2003 gesammelt und uns gut 70.000 Stücke hinterlassen. Das heißt, nicht alle Nummern wurden tatsächlich vergeben – einige gingen wohl verloren, und Mutter hat auch etliche Mineralien wiederverkauft oder eingetauscht.

Weitere Sammlungen unserer Mutter finden sich in der Manufaktur der Träume in Annaberg-Buchholz: Erzgebirgische Weihnachtskultur und Erzgebirgisches Holzspielzeug. Im Depot Pohl-Ströher in Gelenau gibt es weiteres Holzspielzeug, Weihnachtskultur und Weihnachtsberge, Ostereier, Puppen und Teddys und vieles mehr.

Dies alles nur dank unserer Mutter. Danke.

Entwicklung neuer Strategien zur biotechnologischen Gewinnung wirksamer Antioxidantien

Michel Oelschlägel¹, Anna Stuhr, André Pollender, Dagmar Ganz

Antioxidantien bilden eine wichtige Stoffklasse, die in den letzten Jahrzehnten in den Fokus einer gesundheitsfördernden Lebensweise gerückt ist. Eine industrielle Anwendung ist deshalb in zunehmendem Maße insbesondere in der Kosmetik-, Lebensmittel- oder Pharmaindustrie zu verzeichnen. Ein sehr wirksames Antioxidationsmittel ist die Verbindung 3-Hydroxytyrosol, die natürlicherweise vor allem in Oliven vorkommt. Die zunehmende Nachfrage nach dieser Verbindung initiierte die Suche nach effizienteren Herstellungswegen. Dank der Dr. Erich Krüger-Stiftung wird nun auch in Freiberg an neuartigen, biotechnologischen Verfahren zur Herstellung derartiger Antioxidantien geforscht.

Die Biotechnologie ist eine weltweit aufstrebende wissenschaftliche und wirtschaftliche Disziplin. Durch die Nutzung mikrobiologischer Zellbestandteile oder der Mikroorganismen selbst können vollkommen neue Wege in den Bereichen der Stoffsynthese, der Lebensmittelerzeugung, der Medizin sowie des Umweltschutzes beschritten werden. Die sogenannte Weiße Biotechnologie befasst sich dabei mit der zielgerichteten Synthese ausgewählter Verbindungen.

Auch die zunehmende Diskussion zur Ressourcen- und Energieschonung sowie die Suche nach immer umweltverträglicheren Verfahren beflügelt die Biotechnologie zusätzlich, da sie insbesondere unter diesen Aspekten oft Vorteile gegenüber den rein chemischen Verfahren aufweist. In Folge des steigenden Bewusstseins für eine nachhaltige und gesunde Ernährung oder Körperpflege spielt die Biotechnologie gerade im Bereich der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie eine immer stärkere Rolle. Im Nahrungsmittelsektor sind hierbei vor allem auch Nahrungsmittelzusätze wie Vitamine und Antioxidantien zu nennen. Diese sind oft nur unzureichend in der herkömmlichen Nahrung enthalten. Aufgrund der generell steigenden Bedeutung einer Aufwertung von Nahrungsmitteln und Kosmetika mit gesundheitsfördernden Zusatzstoffen ist von einem weiter wachsenden Markt für solche Substanzen auszugehen.

Warum sind Antioxidantien für unsere Gesundheit relevant?

Zellen lebender Organismen sind einer altersbedingten Degeneration unterworfen, die maßgeblich durch das Einwirken sogenannter freier Radikale bestimmt wird². Als freie Radikale werden Atome, Atomgruppen oder Moleküle mit ungepaarten Elektronen bezeichnet, die aufgrund ihrer Reaktionsfreudigkeit Zellstrukturen angreifen und schädigen. Diese reaktiven Strukturen entstehen u. a. durch körperinterne Stoffwechselreaktionen oder durch Umwelteinwirkungen wie beispielsweise UV-Strahlung³. Insbesondere die Schädigung der in den Zellen enthaltenen DNA – auf der alle genetischen Zellinformationen gespeichert sind – ist hierbei kritisch. Die Einwirkung von radikalischen Strukturen auf die DNA kann die Regenerationsfähigkeit der Zellen beeinflussen. Im schlimmsten Fall kann diese Schädigung sogar zur Entartung führen, wodurch verschiedene schwerwiegende Krankheiten ausgelöst werden können⁴.

Unser Körper besitzt durchaus natürliche Schutzmechanismen, um sich vor diesen Radikalen zu schützen⁵. So existieren bestimmte Enzyme, die einen Teil dieser Radikale abfangen können. Doch nicht immer reicht diese körpereigene Schutzfunktion aus. Einen zusätzlichen, wirksamen Schutz gegen die schädliche Wirkung von freien Radikalen bieten daher Antioxidantien⁶. Damit sind Stoffe gemeint, die bevorzugt mit freien Radikalen reagieren und diese dadurch neutralisieren. Ein sehr bekanntes Antioxidans ist das Vitamin C. Weniger bekannt, aber noch effizienter, ist dagegen die Verbindung 3-Hydroxytyrosol⁷.

3-Hydroxytyrosol – eine bemerkenswerte Verbindung

3-Hydroxytyrosol gehört zu den aromatischen Alkoholen in der Gruppe der 2-Phenylethanoole (*Abb. 1*). Die Substituenten am

aromatischen Grundkörper, insbesondere die zwei direkt benachbarten Hydroxygruppen, sind verantwortlich für die antioxidative Wirkung. Freie Radikale finden in diesen funktionellen Gruppen einen äußerst wirksamen Reaktionspartner. 3-Hydroxytyrosol ist somit ein effektiver Radikalfänger und eines der stärksten in der Natur vorkommenden Antioxidationsmittel⁸. Es wird berichtet, dass 3-Hydroxytyrosol zellinterne Prozesse der Zellalterung und -entartung hemmt, wodurch auch Krankheiten wie Krebs, Arteriosklerose, Alzheimer und anderen Zivilisationskrankheiten vorbeugend entgegengewirkt wird⁹. Sogar bei der Behandlung von HIV-Infektionen kann 3-Hydroxytyrosol unterstützend wirken¹⁰. Wie viele Phenylethanoole zeigt auch 3-Hydroxytyrosol eine stark antimikrobielle Wirkung gegen verschiedene pathogene Bakterienarten¹¹.

In der Natur lässt sich 3-Hydroxytyrosol in einigen Pflanzen, wie u. a. in Oliven, nachweisen. Da der Gehalt in den Pflanzen aber gering ist, ist die extraktive Gewinnung dieser Substanz aus diesen Pflanzen aufwändig¹² und für eine breitere Anwendung der Substanz nicht ausreichend. Der wachsende Bedarf an 3-Hydroxytyrosol seitens der Lebensmittel- oder Kosmetikindustrie motiviert die Entwicklung neuer chemischer oder biochemischer Verfahren. Derzeit verwendete Ausgangsstoffe in solchen neuen Verfahren sind hierbei insbesondere Tyrosol, teils zusammen mit Vitamin C, oder 3,4-Dimethoxyphenylethanol¹³.

Die Suche nach neuen Syntheseverfahren für 3-Hydroxytyrosol und verwandte Substanzen ist auch das Ziel unseres im Januar 2019 gestarteten und durch die Dr. Erich Krüger-Stiftung geförderten Projektvorhabens an der TU Bergakademie Freiberg am Institut für Biowissenschaften. Unser Fokus liegt dabei auf nachwachsenden, pflanzlichen Ausgangsstoffen, welche über eine katalytisch wirkende

1 AG Umweltmikrobiologie, Institut für Biowissenschaften, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Str. 29, Freiberg; Tel. 03731-39-2325, Fax 03731-39-3012, michel.oelschlaegel@ioez.tu-freiberg.de

2 Lobo et al., 2010

3 ebd.

4 ebd.

5 ebd.

6 ebd.

7 Achmon & Fishman, 2015

8 Achmon & Fishman, 2015

9 Achmon & Fishman, 2015; Hu et al., 2014

10 Vilaplana-Pérez et al., 2014

11 Tafesh et al., 2011

12 Fernández-Bolaños et al., 2002

13 Espin De Gea, 2003; Krueger et al., 2014

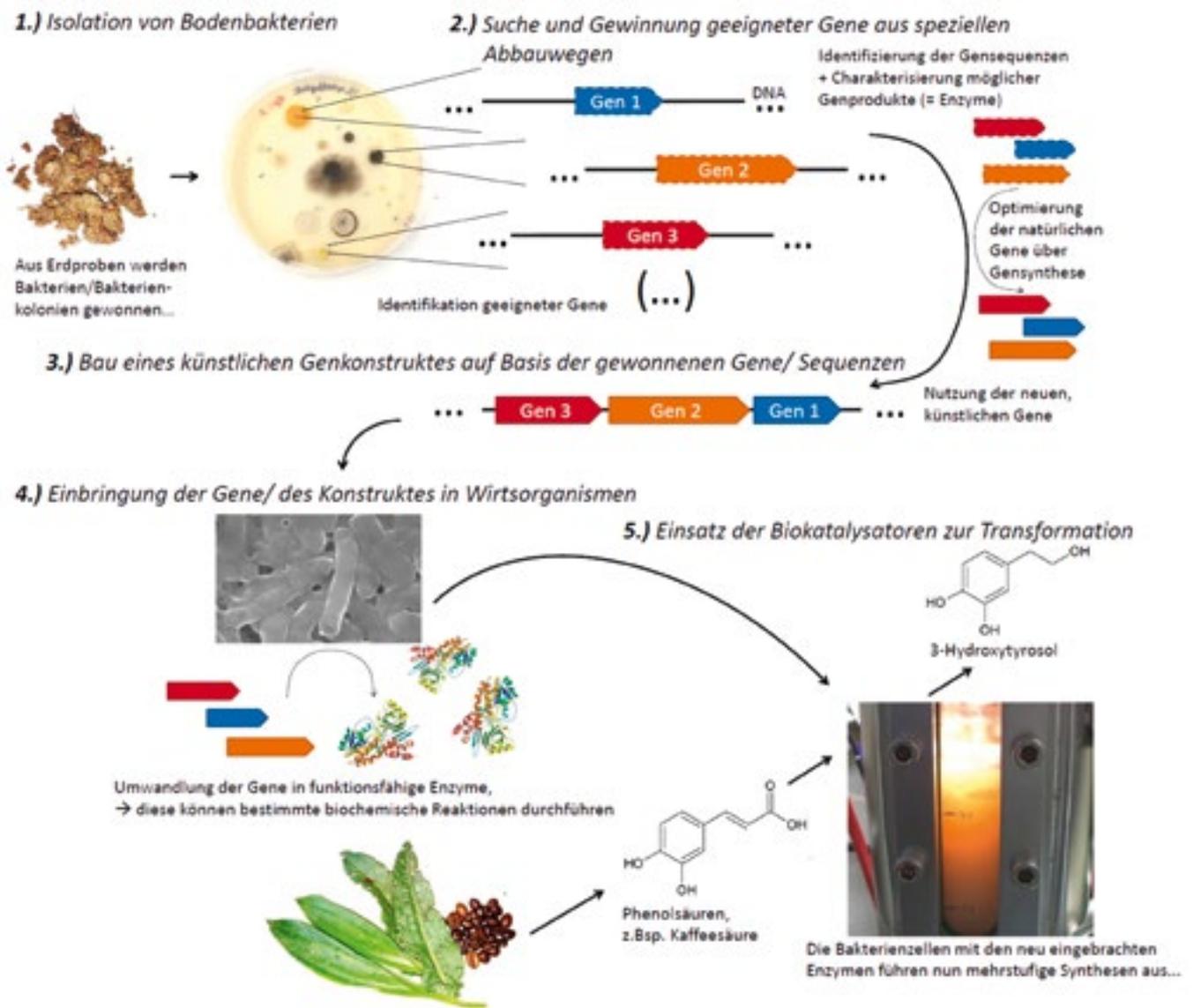


Abb. 1: Prinzip der Konstruktion geeigneter Biokatalysatoren für den Umsatz von pflanzlichen Phenolsäuren in starke Antioxidationsmittel wie 3-Hydroxytyrosol

Enzymkaskade in die gewünschten Verbindungen überführt werden sollen. Basierend auf diesen Verfahren wird u. a. die Gründung eines Start-Ups angestrebt.

Entwicklung neuer Strategien zur Gewinnung von 3-Hydroxytyrosol und anderer Antioxidantien

Im Rahmen unserer etwa 10-jährigen Forschung im Bereich der biochemischen Feinchemikaliensynthese wurden bereits verschiedene effektive Biokatalysatoren entwickelt. Diese Biokatalysatoren umfassen zum einen Enzyme, die als zellfreie Proteine eingesetzt werden können und welche einzelne Reaktionen selektiv katalysieren (Schlüssel/Schloss-Prinzip), aber auch Bakterienstämme, die in Form einer Zellkultur eingesetzt werden und die gleich mehrere gewünschte Enzyme natürlicherweise oder künstlich gelenkt produzieren. So können wir mit diesen

Biokatalysatoren bereits erfolgreich Styrolverbindungen in andere Wertstoffe wie Phenylacetaldehyde oder Phenylelessigsäuren überführen¹⁴. Diese Substanzen werden beispielsweise als Aroma- und Duftstoffe oder Pharmavorstufen verwendet. Die Enzyme für diese Verfahren stammen oft aus Abbauwegen von Bodenbakterien. Neben der Suche nach neuen Enzymen konnte im Laufe unserer bisherigen Arbeiten auch eine neue Bakterienart hier in Freiberg isoliert und erstmals beschrieben werden. In Anlehnung an die Stadt Freiberg erhielt sie den Namen *Sphingopyxis fribergensis* Kp5.2¹⁵. Gerade auch in diesem Organismus finden sich viele neue und spannende Enzyme für biotechnologische Anwendungen.

14 u.a. Oelschlägel et al., 2015 I, 2015 II, 2017; Stühr et al., 2018

15 Oelschlägel et al., 2015 III

Auf Basis der Erkenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Biokatalyse werden nun im Rahmen des aktuellen Projektvorhabens ausgewählte Enzyme aus verschiedenen Mikroorganismen in Form einer Kaskadenreaktion eingesetzt, um die Synthese von insbesondere 3-Hydroxytyrosol aus geeigneten, ökonomisch gewinnbaren Pflanzeninhaltsstoffen zu ermöglichen. Geeignete Pflanzeninhaltsstoffe sind u. a. bestimmte Phenolsäuren, die beispielsweise aus Bestandteilen von Kaffeepflanzen gewonnen werden können (Abb. 1). Die ausgewählten Enzyme wurden dazu künstlich in eine schnellwachsende Bakterienart eingebracht. Die Grundlage dafür bilden die dazugehörigen Gene der Enzyme. Ein Gen ist ein DNA-Abschnitt, welcher u. a. die Informationen über den Aufbau eines Proteins oder Enzyms codiert und auf dessen Basis in der Zelle solche Strukturen produziert



Abb. 2: Synthese von 3-Hydroxytyrosol im Maßstab von 1,5 L in Schüttelkolben

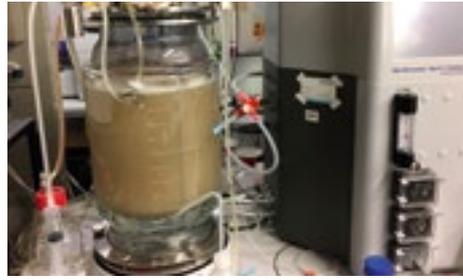


Abb. 3: Etablierung eines Herstellungsprozesses für 3-Hydroxytyrosol im Biofermenter im Maßstab von 9-10 L

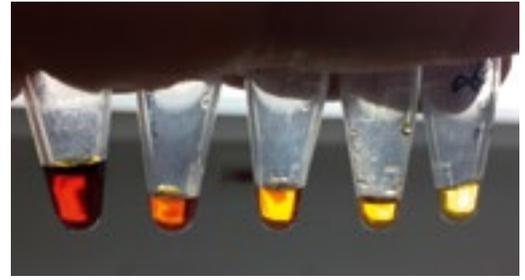


Abb. 4: Aufreinigung von biotechnologisch gewonnenem 3-Hydroxytyrosol (zunehmende Reinheit von links nach rechts)

werden. Im Falle unseres Vorhabens wurden Gensequenzen von Enzymen aus natürlich vorkommenden Bakterien als Grundlage genommen und diese Sequenzen zunächst unter Zuhilfenahme der Bioinformatik optimiert. Dabei wurden bestimmte Sequenzbereiche verändert oder um neue funktionelle DNA-Abschnitte erweitert. Diese Veränderungen bewirken eine Verbesserung des späteren, zellinternen Ablesens dieser Gene und der Umwandlung der Gene in die entsprechenden Enzyme. Weiterhin vereinfachen sie das Einbringen der Gene in den ausgewählten Bakterienstamm. Anschließend wurden aus diesen am Computer neu designten Gensequenzen über ein komplexes chemisches Verfahren entsprechende DNA-Moleküle konstruiert. Die auf diese Weise gewonnenen, künstlichen DNA-Abschnitte wurden anschließend in Zellen eines möglichst schnell wachsenden Bakterienstammes eingebracht. In den Zellen kann anschließend durch Zugabe bestimmter Substanzen die Umwandlung der auf den Genen gespeicherten Information in die entsprechenden Enzyme angeschaltet werden. Auf diese Weise kann in einem Bakterienstamm ein komplett neuer metabolischer Weg bestehend aus mehreren Enzymreaktionen eingebracht werden, über den der Organismus natürlicherweise nicht verfügt. Diese Zellen können anschließend für komplexe, mehrstufige Synthesen eingesetzt werden. Aus einem zugesetzten Substrat, in unserem Fall aus pflanzlichen, aromatischen Phenolsäuren, stellen die Bakterienzellen anschließend das gewünschte Produkt her.

Insgesamt 16 neue Biokatalysatoren konnten bereits in den ersten Monaten seit Beginn des Projektes konstruiert und erfolgreich für die Synthese von 3-Hydroxytyrosol eingesetzt werden. Mit dem besten Kandidaten wird derzeit weitergearbeitet. Im Rahmen der weiteren Optimierung des Biokatalysators werden auch störende Abbauege in den Zellen über gentechnische Verfahren ausgeschaltet, um eine bessere

Produktausbeute zu erzielen. Zudem werden bereits verschiedene Kultivierungsverfahren für den Biokatalysator erprobt (Abb. 2 und 3). Das Ziel ist letztlich die Kultivierung des optimierten Biokatalysators in Bioreaktoren, aus welchen diskontinuierlich 3-Hydroxytyrosol und andere Antioxidationsmittel gewonnen und abgetrennt werden können (Abb. 4). Die letztlich erreichten Ausbeuten werden dann auch nach betriebswirtschaftlichen Aspekten bewertet. Auf Basis dieser Daten soll nachfolgend eine mögliche Verwertungsstrategie aufgebaut werden.

Zusammenfassung

Unsere ergebnisreichen Forschungsarbeiten im letzten Jahrzehnt führten zu einem erheblichen Erkenntnisgewinn auf dem Gebiet der Biokatalyse. Diese Erfahrungen bilden die Basis für die Entwicklung biotechnologischer und nachhaltiger Verfahren zur Darstellung von 3-Hydroxytyrosol und von verwandten Substanzen ausgehend von pflanzlichen Rohstoffen. Damit wird die Grundlage für die ökologische und nachhaltige Herstellung sehr wirksamer und damit gesundheitsfördernder Antioxidationsmittel geschaffen. Unter Beachtung des wachsenden Marktes an Antioxidationsmitteln steht auch eine wirtschaftliche Verwertung der Verfahren im Fokus des Projektvorhabens.

Danksagung: Wir bedanken uns herzlich bei der Dr. Erich Krüger-Stiftung für die zweijährige Finanzierung unserer Forschung und für das damit ausgedrückte Vertrauen in unser Vorhaben. Weiterhin bedanken wir uns herzlich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung von Promotionsstipendien und eines größeren Industrieprojektes, wodurch die Grundlage für das aktuelle Projektvorhaben geschaffen wurde.

Literatur

- Achmon, Y., A. Fishman (2015) The antioxidant hydroxytyrosol: biotechnological production challenges and opportunities. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99: 1119-1130.

- Espin De Gea, J., F. De Tomas Barberan, M. G. Viguera, F. Ferreres De Arce, C. S. Rivas, H. Wichers (2003) Enzymatic synthesis of antioxidant hydroxytyrosol. US-Patent Nr. 20030180833.
- Fernández-Bolaños, J., G. Rodríguez, R. Rodríguez, A. Heredia, R. Guillén, A. Jiménez (2002) Production in large quantities of highly purified hydroxytyrosol from liquid-solid waste of two-phase olive oil processing or "Alperujo". *J. Agric. Food Chem.* 50: 6804-6811.
- Hu, T., X.-W. He, J.-G. Jiang, X.-L. Xu (2014) Hydroxytyrosol and its potential therapeutic effects. *J. Agric. Food Chem.* 62: 1449-1455.
- Krueger, B., G. Fleischmann, H. Petersen (2014) Process for the preparation of hydroxytyrosol. US-Patent Nr. US8822738B1 (Wacker Chemie AG).
- Lobo, V. A. Patil, A. Phatak, N. Chandra (2010) Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn Rev.* 4(8): 118-126.
- Oelschlägel, M., C. Heiland, M. Schlömann, D. Tischler (2015 I) Production of a recombinant membrane protein in an *Escherichia coli* strain for the whole cell biosynthesis of phenylacetic acids. *Biotechnology Reports* 7:38-43.
- Oelschlägel, M., S. R. Kaschabek, J. Zimmerling, M. Schlömann, D. Tischler (2015 II) Co-metabolic formation of substituted phenylacetic acids by styrene-degrading bacteria. *Biotechnology Reports* 6:20-26.
- Oelschlägel, M., C. Rückert, J. Kalinowski, G. Schmidt, M. Schlömann, D. Tischler (2015 III) Description of *Sphingopyxis fribergensis* sp. nov. – a soil bacterium with the ability to degrade styrene and phenylacetic acid. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 65:3008-3015.
- Oelschlägel, M., L. Richter, A. Stuhr, S. Hofmann, M. Schlömann (2017) Heterologous production of different styrene oxide isomerases for the highly efficient synthesis of phenylacetaldehyde. *J. Biotech.* 252:43-49.
- Stuhr, A., S. Hofmann, M. Schlömann, M. Oelschlägel (2018) Investigation of the co-metabolic transformation of 4-chlorostyrene into 4-chlorophenylacetic acid in *Pseudomonas fluorescens* ST. *J. Biotech.* doi: 10.1016/j.btre.2018.e00248.
- Tafesh, A., N. Najami, J. Jadoun, F. Halahlih, H. Riepl, H. Azaizeh (2011) Synergistic antibacterial effects of polyphenolic compounds from olive mill wastewater. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 431021.
- Vilaplana-Pérez, C., D. Auñón, L. A. García-Flores, A. Gil-Izquierdo (2014) Hydroxytyrosol and potential uses in cardiovascular diseases, cancer, and AIDS. *Front Nutr.* 1: 18

Schlagnote: Weiße Biotechnologie (White Biotechnology), Enzymkaskade (enzyme cascade), Antioxidantien, Hydroxytyrosol, Oliven, Functional food, Funktionelle Lebensmittel

Geomathematik und Geoinformatik an der TU Bergakademie Freiberg

Christian Gerhards, Peter Menzel

Der Begriff „Geomathematik“ als eigene Forschungs- und Studienrichtung scheint relativ neu. Denken wir aber etwa zurück an die Beschreibung der Planetenbahnen durch Kepler, die Gravitationsgesetze von Newton oder die Darstellung des Erdmagnetfelds mittels Kugelfunktionen durch Gauß, so sieht man, dass Mathematik seit jeher ein grundlegender Bestandteil der Geophysik war. Wahrscheinlich ist es gerade diese enge Verbundenheit, welche die mathematischen Aspekte gegenüber den physikalischen in den Hintergrund rückt. In den letzten Jahrzehnten, mit dem Aufkommen stark verbesserter Datenlage und Messinstrumente, haben jedoch die mathematischen Aspekte eine prominentere Rolle eingenommen. Dabei geht es zum einen um numerische Aspekte (welche Ansätze erlauben eine schnelle, effiziente und/oder genaue Auswertung der Daten) und zum anderen um die Analyse der zugrundeliegenden Probleme (welche geophysikalischen Größen können wir überhaupt aus den vorhandenen Daten eindeutig bestimmen; wie können die zugrundeliegenden Gleichungen vereinfacht werden ohne einen zu großen Fehler in den Modellen zu riskieren). Im Gegensatz zur Geophysik, die mathematische Methoden eher als Werkzeug versteht, zielt die Geomathematik auf die Erweiterung und Verbesserung der Werkzeuge ab. Die Mathematik selbst ist also der Fokus der Geomathematik, wenn auch im Sinne einer Vermittlerrolle zur Geophysik und den Geowissenschaften.

Der Übergang zwischen Geomathematik und Geoinformatik ist heutzutage nicht mehr klar abgegrenzt. Dennoch kann gesagt werden, dass der Schwerpunkt der Geoinformatik in der Entwicklung von Verfahren und Methoden zur konkreten Umsetzung am Computer liegt. Dies betrifft sowohl Geodatenbanken, Visualisierung von Datensätzen und Simulationen, als auch die algorithmische und informatische Umsetzung mathematischer Methoden mit geowissenschaftlichem Bezug. Ebenso können aus der Informatik stammende Ansätze zur Notwendigkeit der Entwicklung und Untersuchung neuer mathematischer Methoden führen. Ein aktuelles Beispiel sind etwa solche Ansätze, die unter den Begriff „Machine Learning“ fallen. Letztere halten derzeit einen rasanten Einzug in geowissenschaftliche Anwendungen.



Abb. 1: Illustration der „Swarm“-Konstellation aus drei Satelliten zur Messung des Erdmagnetfeldes (Bildursprung: ESA)

In der Arbeitsgruppe „Geomathematik und Geoinformatik“ der TU Bergakademie Freiberg beschäftigen wir uns insbesondere mit Potentialfeldproblemen. Klassische Beispiele sind das Geomagnetfeld und das Gravitationsfeld der Erde, für welche seit den letzten zwei Jahrzehnten durch dedizierte Satellitenmissionen (Abb. 1) ein enormer Umfang an globalen Satellitendaten verfügbar ist. So ist es mittlerweile etwa möglich, das durch Ozeangezeiten induzierte Magnetfeld aus Satellitendaten zu extrahieren. Dies ist insofern erstaunlich, als dass die Signalstärke dieses Anteils nur etwa 0,01 % des gesamten gemessenen Signals ausmacht (Abb. 2).

Neben der verbesserten Datenlage spielen vor allem Fortschritte in der Entwicklung numerischer Verfahren eine Rolle. Das betrifft sowohl die Simulation geophysikalischer Prozesse als auch die Lösung sogenannter inverser Probleme. Letztere beschäftigen sich mit der Rekonstruktion der Quelle aus der Messung der resultierenden geophysikalischen Größe. In der Gravimetrie ist dies die Dichte im

Erdinneren, in der Geomagnetik unter anderem die Magnetisierung der Erdkruste. Potentialfeldprobleme haben in der Regel die Einschränkung, dass die Quellen aus den Daten nicht eindeutig bestimmt werden können. Dies kann auch durch verbesserte numerische Algorithmen nicht vollständig umgangen werden. Vielmehr ist eine genauere (mathematische) Analyse hilfreich, um zu charakterisieren, welche geophysikalisch sinnvollen Annahmen Eindeutigkeit liefern können. Unsere Gruppe beschäftigt sich einerseits mit einer solchen mathematischen Analyse und andererseits mit der Entwicklung numerischer Algorithmen. Der Fokus bei letzterem liegt unter anderem auf Multiskalenverfahren mit (sphärischen) Wavelets.

Geomathematische Potentialfelder Das Erdmagnetfeld

Das Erdmagnetfeld setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Den weitaus größten Anteil beschreibt das im flüssigen Erdkern erzeugte Kernmagnetfeld. Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts führte Alexander von Humboldt auf seinen Reisen verschiedene Messungen magnetischer Kräfte durch, deren Hauptergebnis es war, dass die Totalintensität des Magnetfeldes zu den Polen hin zunimmt. Der Mathematiker Jean-Baptiste Biot formulierte dazu eine entsprechende theoretische Beschreibung. Carl Friedrich Gauss war es dann, der die ersten Kugelfunktionsanteile des Erdmagnetfelds berechnete. Seine Methode mittels Kugelfunktionen ist auch heutzutage noch der am weitesten verbreitete Ansatz.

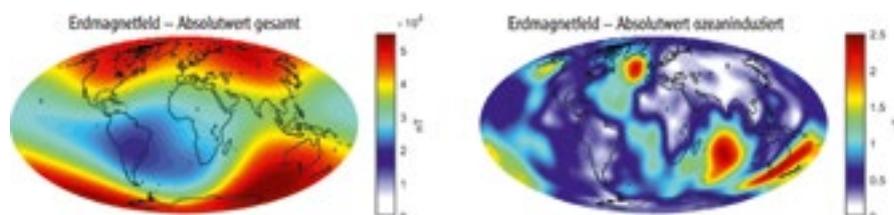


Abb. 2: Absolutwert des gesamten Erdmagnetfeldes auf einer Höhe von 350 km über der Erdoberfläche (links); Absolutwert des durch Ozeangezeiten erzeugten Magnetfeldes auf einer Höhe von 350 km über der Erdoberfläche (rechts). Die jeweiligen Magnetfelder wurden aus dem CHAOS-5 bzw. dem CM5 Modell berechnet (vgl. C.C. Finlay et al., 2015, und T. J. Sabaka et al., 2015).

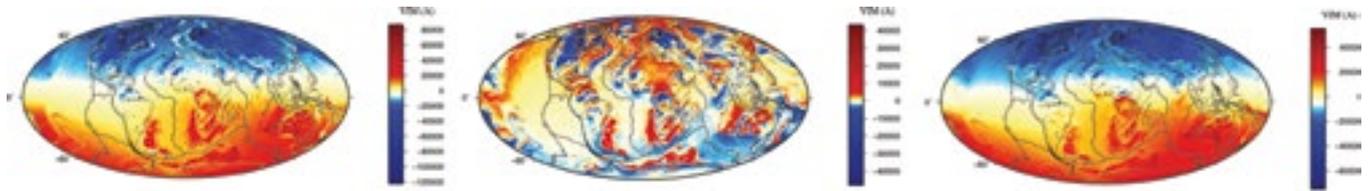


Abb. 3: Modell der tiefenintegrierten Magnetisierung der Erdkruste nach D. Gubbins et al. (2013). Gezeigt sind die „wahre“ Gesamtmagnetisierung (links), die aus Erdmagnetfelddaten rekonstruierbare Magnetisierung (Mitte), und der Anteil der Magnetisierung, der kein extern messbares Magnetfeld erzeugt (rechts). Letzterer Anteil ist also nicht aus den vorhandenen Daten bestimmbar. Die Summe der mittleren und rechten Magnetisierung liefern die linke Gesamtmagnetisierung (Bildursprung: D. Gubbins et al., 2013).

Das Kernmagnetfeld wird dabei in der Regel durch die ersten fünfzehn Kugelfunktionsgrade dargestellt. Hinzu kommen Magnetfeldanteile aus Ionosphäre und Magnetosphäre, welche im Wesentlichen durch Sonnenaktivität hervorgerufen werden. Für Explorationszwecke besonders interessant ist das magnetische Signal, welches durch verschiedene Gesteine in der Erdkruste erzeugt wird. Die anteilmäßig kleinste heutzutage detektierbare Komponente wird, wie bereits schon erwähnt, durch Ozeangezeiten erzeugt. Das Hauptproblem in der Geomagnetik besteht in der Trennung dieser vier Komponenten, denn messen lässt sich nur deren Gesamteffekt. Eine Trennung von Kernmagnetfeld und Krustenmagnetfeld ist besonders schwierig, da ihre zeitliche Variation nur gering ist. Die heute verbreiteten Ansätze sind in erster Linie empirisch und basieren auf einer strikten Trennung im „Frequenz“-Raum. Ein derzeitiger Forschungsschwerpunkt der Arbeitsgruppe „Geomathematik und Geoinformatik“ besteht darin, die Trennung von Kern- und Krustenmagnetfeld analytisch zu untersuchen. Anschließend soll der extrahierte Krustenanteil bzgl. der Quellen (Magnetisierung oder Suszeptibilität der Erdkruste) invertiert werden. Ein Problem der Inversion von geomagnetischen Potentialfelddaten ist, dass sie keine dreidimensionale Auflösung der Untergrundstrukturen zulassen. Selbst bei Vernachlässigung von Tiefeninformationen ist keine Eindeutigkeit gegeben

(Abb. 3). Allerdings stellen Potentialfelddaten eine günstige Alternative zu kostenintensiveren, aber auch eindeutigeren Methoden wie der Seismik und Bohrungen dar. Sie könnten daher als ein erster Schritt dienen, um Gebiete ausfindig zu machen, für welche sich weitere genauere Studien lohnen würden. Zusammen mit Projektpartnern aus dem Saarland und der Schweiz ist das Ziel die gemeinsame Untersuchung dieser Verfahren, unter der expliziten Einbeziehung von Potentialfelddaten, etwa zur Charakterisierung geothermisch relevanter Gebiete.

Das Gravitationsfeld

Aus mathematischer Sicht haben das Krustenmagnetfeld und das Gravitationsfeld der Erde viele Gemeinsamkeiten. Insbesondere sind beide außerhalb der Erde als Potentialfelder darstellbar, d. h., sie lassen sich durch harmonische Funktionen beschreiben. In ihren Quellen sind sie jedoch unterschiedlich. Im Gegensatz zur vektoriellen Magnetisierung ist die Dichte eine skalare Größe. Letzteres vereinfacht manche Probleme der Gravimetrie im Vergleich zu Geomagnetik. Allerdings liegt nur in einer sehr dünnen Schicht (mit einer Dicke von ca. 30 km) der Erdkruste relevante Magnetisierung vor, wohingegen die Dichte im gesamten Erdinneren relevant ist. Dies wiederum führt dazu, dass ohne weitere geologische Vorkenntnisse auch die Dichte nicht eindeutig aus Schwerefeldmessungen bestimmt werden kann. Hinzu kommt die generelle Schwierigkeit

bei Potentialfeldproblemen, dass die gemessenen Größen sich mit steigendem Abstand zur Erde abschwächen. Dies führt zu Instabilitäten etwa bei der numerischen Nutzung von Satellitendaten, wodurch ohne weitere Maßnahmen nur großräumige Strukturen verlässlich rekonstruiert werden können. Die zuvor bereits erwähnten Multiskalenmethoden bieten eine Möglichkeit mit solchen Instabilitäten umzugehen (man spricht von „Regularisierung“) und erlauben die Darstellung eines Signals in variabler räumlicher Auflösung. Man kann sich diese Methoden etwa wie Tiefpass-, Bandpass- und Hochpassfilter in der Audiosignalbearbeitung vorstellen. In den „Tiefpass“-Filtern werden nur sehr grobe räumliche Strukturen des Gravitationsfeldes aufgelöst, welche auch bei schlechter Datenlage stabil approximiert werden können. In den „Bandpass“-Filtern hingegen werden sehr feine Strukturen aufgelöst (Abb. 6), die im Falle einer hinreichend guten Datenlage teilweise sogar die zugrundeliegenden Quellen (im Fall des Gravitationsfeldes die Dichte) widerspiegeln können (Abb. 4). Ein Teil der Forschung der Arbeitsgruppe „Geomathematik und Geoinformatik“ widmet sich der Entwicklung an bestimmte geowissenschaftliche Fragestellungen angepasster Multiskalenmethoden.

Geomodellierung

Die Geomodellierung hat seit langem einen hohen Stellenwert an der TU Bergakademie Freiberg. Wir wollen

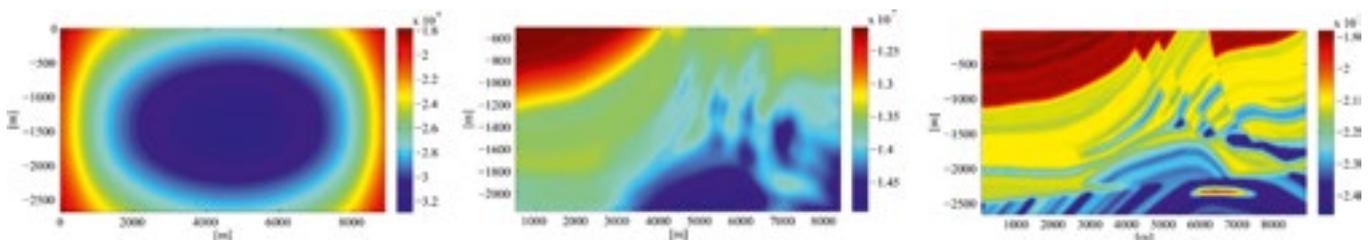
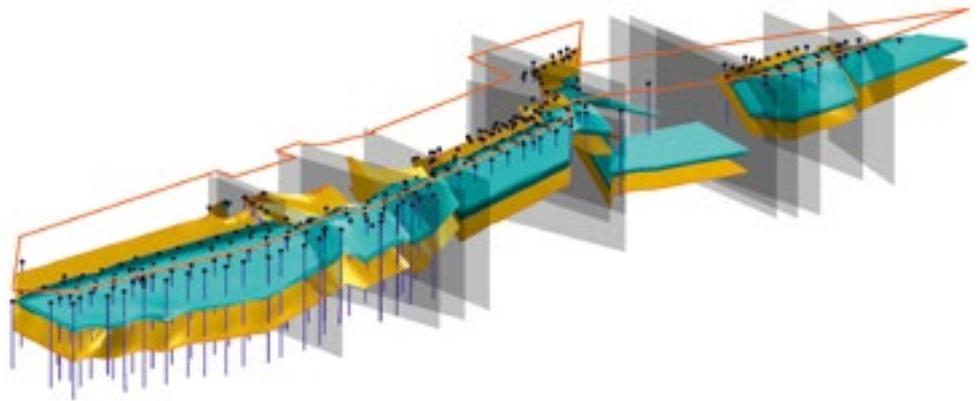


Abb. 4: Gravitationspotential basierend auf der Dichte des Marmousi Modells. Tiefpassfilter (links) und Bandpassfilter (Mitte, rechts) für verschiedene Skalen (d. h. verschiedene „Bandpässe“). Das Bild zeigt einen 2-D-Querschnitt durch ein 3-D-Modell des Gravitationspotentials. Die Tiefe unter der Erdoberfläche ist entlang der Ordinate aufgezeichnet, die Längsausdehnung entlang der Abszisse (Bildursprung: C. Blick et al., 2018).

Abb. 5: Stratigrafisches dreidimensionales Modell einer Chrom-Mine in Südafrika (siehe K. Bachmann et al. 2019). Dieses Geometriemodell der geologischen Horizonte dient als Basis für weitergehende geostatistische und geometallurgische Modellierungen.



hier genauer unterscheiden zwischen geo(-physikalischer) Modellierung und geo(-logischer) Modellierung. Geophysikalische Modellierung meint dabei die adäquate Beschreibung geophysikalischer Prozesse (z. B. durch partielle Differentialgleichungen) und Ansätze zu deren numerischer und analytischer Lösung. Die oben beschriebenen Probleme der Gravimetrie und Geomagnetik fallen in diese Kategorie und stellen den Hauptarbeitsbereich unserer Arbeitsgruppe dar. Unter geologischer Modellierung kann die Entwicklung von Methoden verstanden werden, welche der konzeptionellen Darstellung und Beschreibung geologischer Modelle (Abb. 5) in Raum und Zeit dienen. Auch wenn der zukünftige Schwerpunkt vor allem in der geophysikalischen Modellierung liegen wird, werden die Arbeiten im Bereich der geologischen Modellierung fortgesetzt. Dabei sollen in erster Linie Verfahren zur automatischen Analyse, Visualisierung und Bearbeitung von geowissenschaftlichen Geometriemodellen erprobt und entwickelt werden. Zudem sollen solche Geometriemodelle als Basis für geowissenschaftliche Parametermodelle dienen. Geostatistische Modellierung oder geophysikalische Simulationen erlauben es, die dreidimensionale Verteilung

von physikalischen, chemischen oder mineralogischen Parametern abzubilden. Diese Verfahren benötigen als Rahmenbedingungen genaue Abbildungen der im Untergrund vorhandenen räumlichen Strukturen. In Abb. 5 ist ein solches Geometriemodell dargestellt. Es beschreibt die Geometrie der abbaubaren Horizonte in einer Chrom-Mine in Südafrika. Diese Horizonte basieren auf Bohrlochmessungen (blaue Linien) und dienen als Basis für weitergehende geostatistische und geometallurgische Modellierungen, mit denen die Ressourceneffizienz dieser Mine optimiert werden soll.

Studiengänge

Die Studiengänge, in denen das Wissen für solche und ähnliche Probleme vermittelt wird, sind in Freiberg derzeit der Bachelor „Geophysik und Geoinformatik“ sowie anschließend der Master „Geophysik“ und der Master „Geoinformatik“. Beide bauen, neben den geophysikalischen Grundlagen, auch auf eine fundierte mathematische und (je nach Interesse) informatische Ausbildung. Bei einer Vertiefung im Bereich Geomathematik und Geoinformatik liegt der Schwerpunkt insbesondere im Bereich der numerischen Methoden, der Geomodellierung, und

der mathematischen Analyse geowissenschaftlicher Fragestellungen. In Zukunft soll diesbezüglich eine Vertiefungsrichtung „Computational and Mathematical Geosciences“ im neu gestalteten Master „Geoscience“ hinzukommen. Informationen dazu siehe:

<https://tu-freiberg.de/geophysik/studium>

Literatur

- K. Bachmann, P. Menzel, R. Tolosana-Delgado, M. Hill, C. Schmidt und J. Gutzmer, The use of assay data as a foundation for a geometallurgical model – The case of the Thaba Chromite Mine, South Africa, *J. Geochem. Explor.* (2019) 201, 99–112.
- C. Blick, W. Freeden und H. Nutz, Innovative Explorationsmethoden in der Gravimetrie und der Reflektionsseismik. In: *Handbuch Oberflächennahe Geothermie* (Hrsg.: M. Bauer, W. Freeden, H. Jacobi, T. Neu), pp. 221–256, Springer, Berlin, 2018.
- C.C. Finlay, N. Olsen und L. Tøffner-Clausen, DTU candidate field models for IGRF-12 and the CHAOS-5 geomagnetic field model, *Earth, Planets and Space* (2015) 67, 114.
- D. Gubbins, D. Ivers, S. M. Masterton und D. E. Winch, Analysis of lithospheric magnetization in vector spherical harmonics, *Geophys. J. Int.* (2011) 187, 99–117.
- T.J. Sabaka, N. Olsen, R.H. Tyler und A. Kuvshinov, CM5 – a pre-Swarm comprehensive geomagnetic field model derived from over 12 yr of CHAMP, Oersted, SAC-C and observatory data, *Geophys. J. Int.* (2015) 200, 1596–1626.

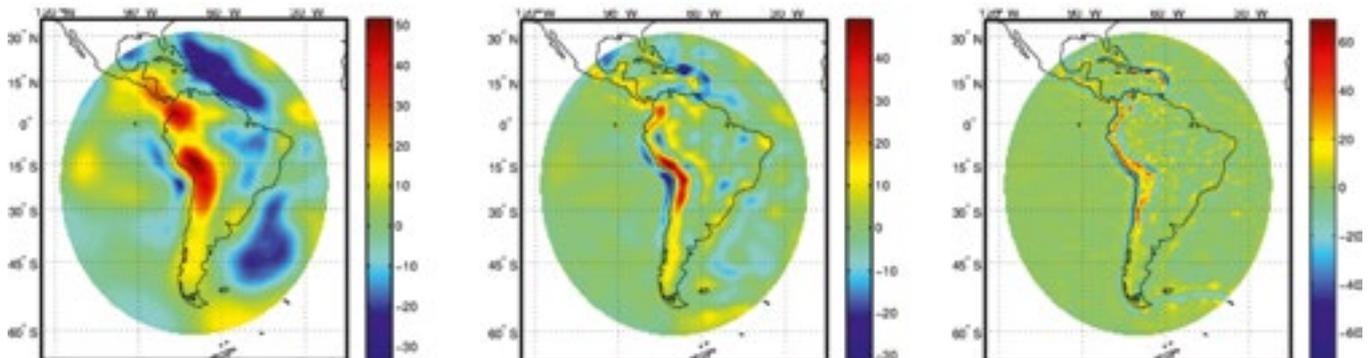


Abb. 6: Gravitationspotential der Erde basierend basierend auf dem EGM2008-Modell, dargestellt über Südamerika. Drei Bandpassfilter für verschiedene Skalen (d.h. verschiedene „Bandpässe“) mit von links nach rechts ansteigender Auflösung. Insbesondere in der höchsten Auflösung kann man den Effekt der Anden sehr gut erkennen.

Real-Time Mining

Ergebnisse aus dem Europäischen Projekt zur Digitalisierung im Bergbau

Jörg Benndorf¹



Real-Time Mining – die Idee

Planungs- und betriebliche Steuerungsprozesse in der Rohstoffgewinnung bauen auf einem soliden Wissen über die Lagerstätte auf. Aufschlüsse aus der Lagerstätten erkundung sind jedoch ein Kostenfaktor, was die Kenntnis, insbesondere über die räumliche Verteilung relevanter Wertstoff- und Gebirgsparameter, begrenzt. Es ist nicht verwunderlich, dass das täglich geförderte Erz nicht immer exakt in Menge und Wertstoffgehalt den Erwartungen entspricht. Aktuelle Entwicklungen in der Sensortechnologie zur berührungslosen Materialcharakterisierung erlauben ein Monitoring des Rohstoffs entlang der gesamten Prozesskette, von der Erkundung bis zur Aufbereitung. Damit steht eine kontinuierlich wachsende und informationsreiche Datenbasis zur Verfügung, die ein fortlaufendes Wertstoffmonitoring erlaubt. Der nächste folgerichtige Schritt in Richtung Prozessdigitalisierung ist, die Planung und betriebliche Steuerung der Rohstoffgewinnung auf selbstlernende Lagerstättenmodelle zu stützen, welche kontinuierlich, 24 Stunden/7 Tage, durch betriebliche Monitoringdaten aktualisiert werden. Mit dieser Vision entwickelten Dr. Mike Buxton und Dr. Jörg Benndorf, zu dieser Zeit noch an der TU Delft in den Niederlanden tätig, gemeinsam mit zwölf internationalen Partnern im Jahr 2014 die Projektidee zu Real-Time Mining (Abb. 1). Im März 2019 konnte nach vierjähriger Forschungszeit das Europäische Horizon 2020-Projekt Real-Time Mining mit einer Großdemonstration im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg erfolgreich abgeschlossen werden (Benndorf et al. 2019). Das konkrete Projektziel war die Entwicklung einer Echtzeit-Wertstoffoptimierung für eine selektive Gewinnung untertage durch Vernetzen der Prozessschritte:

- autonome Positioniersysteme untertage,
 - Sensortechnologien zur Echtzeit-Materialklassifizierung,
 - „Monitoring-While-Drilling“-Systeme,
 - Echtzeit-Aktualisierung von Lagerstättenmodellen und
 - Echtzeit-Entscheidungsunterstützung bei der Planung und Produktionssteuerung
- im Sinne eines kontinuierlichen Regelkreises. Die Ergebnisse bieten damit konkrete Lösungsansätze zur Umsetzung der Digitalisierungs-Strategie Industrie 4.0 in der Rohstoffgewinnung.

Real-Time Mining – Projektdetails

Das „Real-Time Mining“ Konsortium wurde von der TU Delft koordiniert und bestand aus dreizehn europäischen Partnern: RWTH Aachen, Imperial College of Science, Technology and Medicine London, IST Lissabon, Nederlands Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek-TNO, Geovariances, Dassault Systems GEOVIA Ltd., LSA-Laser Analytical Systems & Automation GmbH, XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH, SonicSampDrill BV, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Spectral Industries B.V. und Ingenieurpartnerschaft für Bergbau, Wasser und Deponietechnik IBEWA. Die Förderung des Projekts erfolgte im Rahmen des Innovationsprogramms Horizon 2020 der Europäischen Union unter der Fördernummer 641989 im Zeitraum 04/2015–03/2019 mit einem Betrag von 5,7 Mio. €. Nachfolgend werden einige ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Multi-Sensor-Technik zur Erzcharakterisierung untertage

Zur zerstörungsfreien Charakterisierung des Erzes am Stoß entwickelte die TU Delft gemeinsam mit der Firma Spectral Industries einen Multi-Sensor-Ansatz unter Nutzung der Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) und Hyperspektralen Bildmesstechnik. Eine Fusionierung mit 3D-Geometriedaten unter Nutzung digitaler Photogrammetrie und Laserscanning erlaubt eine exakte

räumliche Einordnung der Daten in Bezug auf die Lagerstätte und das Grubengebäude. Anwendungsspezifisch entwickelte Machine Learning-Algorithmen erlauben die direkte Ableitung geochemischer und mineralogischer Eigenschaften am Stoß.

Informationsübertragung durch das Gebirge

Zur Übertragung der Informationen vom Sensorsystem zu einem zentralen Server demonstrierte die Freiburger Firma IBEWA das Transmission Through Earth (TTE)-System unter Produktionsbedingungen. Die Kombination mit der installierten WLAN-Technologie in der Reichen Zeche stellte die Datenübertragung sicher (Abb. 2).

Echtzeit-aktuelle Lagerstättenmodelle

Eine der Kerninnovationen im Real-Time Mining-Projekt war die Schaffung der Möglichkeit, aktuelle Sensordaten aus dem betrieblichen Monitoring in „Echtzeit“ auszuwerten und für die Fortschreibung des Lagerstättenmodells zu nutzen (Abb. 3). Dazu wurden in Freiberg am Institut für Markscheidewesen und Geodäsie neue geostatistische Ansätze entwickelt, umgesetzt und demonstriert. Anstelle Tage oder Wochen auf Informationen aus dem Labor zu warten, welche auch noch in das Lagerstättenmodell eingearbeitet werden müssen, steht nun zu jedem Schichtbeginn ein aktuelles Prognosemodell zu anstehenden Wertstoffgehalten zur Verfügung.

Virtuelles Planungscockpit

Die Firma XGraphic Ingenieurgesellschaft mbH entwickelte mit Unterstützung der TU Bergakademie Freiberg eine entsprechende VR²-Umgebung, welche aufgesetzt auf eine Geodatenbank eine intuitive Exploration der Daten und Modelle in der virtuellen Realität erlaubt. Zusätzliche Funktionalitäten ermöglichen beispielsweise die wertstoffoptimierte Bestimmung der Geometrie und Positionierung des nächsten Sprengblocks sowie die Analyse anstehender Gehalte. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die Möglichkeit der barrierefreien Exploration und Analyse aller erfassten Daten in der virtuellen Abbaufont im Büro.

Real-Time Mining – Lessons Learned und wie geht's weiter?

Die Digitalisierung von Bergbauprozessen, beispielsweise der Wertstoffsteuerung, erfordert die Vernetzung der einzelnen Prozessschritte zu einem

¹ Professor Dr.-Ing. Jörg Benndorf, Professur für Geomonitoring und Markscheidewesen, Direktor des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, Reiche Zeche, Fuchsmühlenweg 9B, 09599 Freiberg

² VR = Virtual Reality

intelligenten System, das sich selbst steuert. Das Projekt Real-Time Mining hat ein derartiges System entwickelt und dessen Funktionalität erfolgreich demonstriert. Im Projektverlauf wurde deutlich, dass eine operative Umsetzung ein effektives Geo-Datenmanagement benötigt, welches die extrem große, heterogene, raumzeitlich konditionierte Datenmenge konsistent verwaltet und einen schnellen und effektiven Zugriff auf relevante Daten, Informationen und Modelle in den einzelnen Prozessschritten erlaubt. Ein entsprechendes Konzept, speziell zugeschnitten auf klein- und mittelständige Betriebe, wurde an der TU Bergakademie Freiberg entwickelt und erlaubt beispielsweise ein „Aufsetzen“ moderner VR- oder AR³-Technologie zur intuitiven und umfassenden Exploration der Datenmenge. In Verbindung mit autonomen Multi-Sensorsystemen, zum Beispiel entwickelt im r⁴-Projekt UPNS 4D+ (Donner et al. 2019), ist eine automatisierte markscheiderische und geologisch-tektonische Kleinaufnahme mit anschließender „barrierefreier“ Auswertung in VR-Umgebung und abseits der harschen Bedingungen untertage keine Zukunftsvision mehr, sondern greifbar nah. Erfreulich ist, dass eine Gruppe enthusiastischer Doktoranden die Ergebnisse zum Anlass nahm, im Rahmen des EXIST-Forschungstransfers und mit Unterstützung des Gründernetzwerkes SAXEED, in Freiberg entwickelte Technologien zu Geodatenbanken, Echtzeitmodellierung und Prozessoptimierung am Markt zu platzieren. Dazu ist vorgesehen, durch das Projektteam CLMinOpt ein Start-Up zu gründen.

Literatur

- Benndorf, J. Buxton, M. (2017): Proceedings of the 1st Real-Time Mining Conference, Amsterdam. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg. Online: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:105-qucosa-231062>
- Benndorf, J. Buxton, M. Mischo, H. (2019): Proceedings of the 2nd Real-Time Mining Conference, Freiberg. Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg. Online: <https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-markscheidewesen-und-geodaesie-12465/institut/publikationen/schriftenreihe/tagungsbandrtm2019.pdf>
- Donner, R., Rabel, M., Scholl, I., Ferrein, A., Donner, M. Geier, A., John, A., Köhler, C., Varga, S. (2019). Die Extraktion bergbaulich relevanter Merkmale aus 3D-Punktwolken eines untertagetauglichen mobilen Multisensorsystems. In: Alkhatib, H. und Paffenholz, J. A. (eds.) Tagungsband Geomonitoring 2019, S. 91-110.

3 AR = Augmented Reality

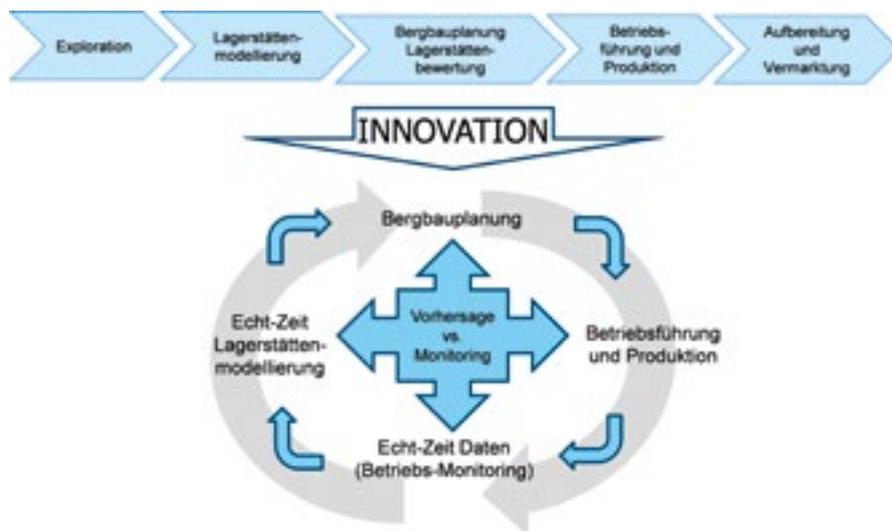


Abb. 1: Das Real-Time Mining Konzept



Foto: Hans Burkhardt

Abb. 2: Aufnahme an der Ortsbrust mit kombiniertem Laserscanning-Kamera-System

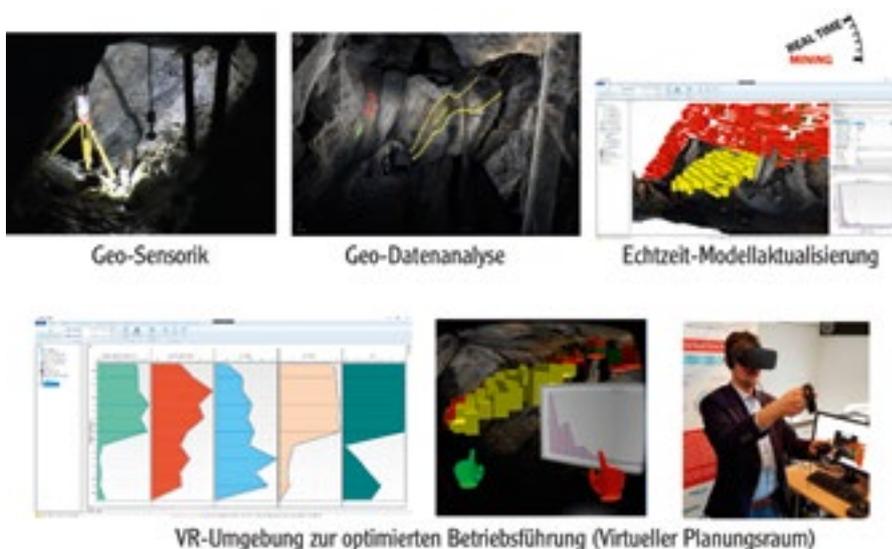


Foto: Buttgerit und Benndorf, 2019

Abb. 3: Integration Echtzeit-aktueller Lagerstättenmodelle und VR-gestützte Bergbauplanung

Weiterentwicklungen im Bereich des Bohrlochbergbaus von festen mineralischen Rohstoffen

Taras Shepel, Carsten Drebenstedt

Wichtige Forschungen, die an der TU Bergakademie Freiberg laufen, sind auf die Sicherung der Lebensgrundlagen unserer Gesellschaft orientiert. Dazu gehört unstrittig die zuverlässige Versorgung mit Energie und mineralischen Rohstoffen. Sicherheit und Umweltschutz sind dabei prioritäre Ziele.

Bei dem aktuellen, von der EU geförderten Forschungsvorhaben HydroCoal Plus geht es um eine neuartige Technologie der Rohstoffgewinnung mittels Hochdruckwasserstrahl. Der Zugang zum Rohstoffkörper erfolgt über eine Bohrung. Diese ermöglicht auch die Förderung des gewonnenen Rohstoffs an die Tagesoberfläche. Nach dem Abbau des Rohstoffs kann der entstandene Hohlraum wieder verfüllt werden. Der Eingriff an der Tagesoberfläche ist minimal. Niemand muss nach unter Tage. Gefahren für die Bergleute durch Gase sowie Einstürze von Böschungen oder Grubenbauen sind ausgeschlossen. Das Wasser wird dabei im Kreislauf über die Bohrung geführt.

An dem im Juni 2018 begonnenen und noch bis 2021 laufenden Projekt ist die TU Bergakademie Freiberg zusammen mit Partnern aus Polen (Główny Instytut Górnictwa, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., Poltegor Instytut) und der Tschechischen Republik (Severoceske Doly A.S.) beteiligt. Ziel des Projektes ist es, einen Prototyp für den hydraulischen Bohrlochbergbau mit einem innovativen Wasserstrahl-basierten Lösewerkzeug zu entwickeln und beim Abbau von Braun- und Steinkohle in Polen und Tschechien zu testen. Aufbauend darauf werden die potenziellen Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie, deren Effizienz, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umweltrelevanz umfassend bewertet.

Die Abbautechnologie ist wie folgt konzipiert (Abb. 1): Die Arbeitsausrüstung wird in ein vorbereitetes und ausgebautes Bohrloch abgesenkt. Das Wasser aus dem Wassertank (5) wird mithilfe der Pumpstation (4) zu den Wasserstrahlschneidwerkzeugen (2) gepumpt. In letzteren fließt das Wasser durch Düsen, sodass mit dem erzeugten Druck des Wasserstrahls der Rohstoffkörper (6) geschnitten werden

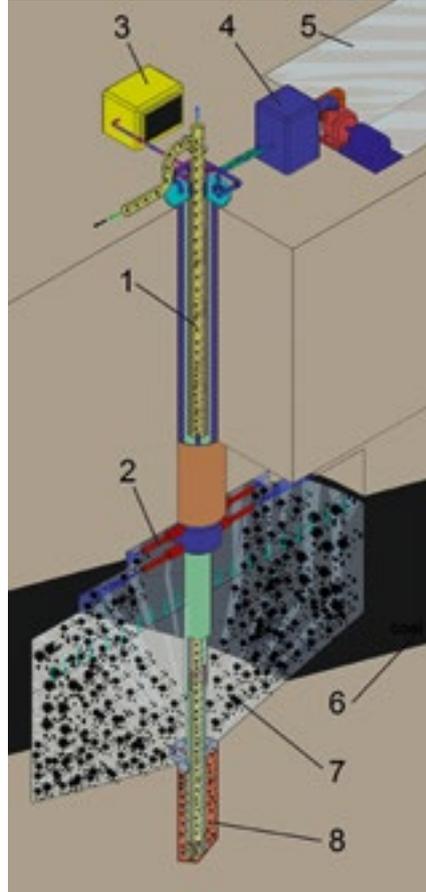


Abb. 1: Bohrlochbergbau-Technologie (schematisch): 1 Airlift, 2 Wasserstrahlschneidwerkzeuge, 3 Kompressor, 4 Pumpstation, 5 Wassertank, 6 Rohstoffkörper, 7 Schnittgut, 8 Sumpf

kann. Dadurch vergrößert sich die Abbaukaverne. Die gelösten Stücke (7) fallen in den Sumpf (8), wo sie mit einem Airlift (1) angesaugt und nach übertage transportiert werden.

Die mechanische Bohrlochbergbau-Technologie gilt als anwendbar in Lagerstätten, die sich durch eine erhebliche Mächtigkeit und mäßige Härte des Rohstoffs (wie Stein- und Braunkohlen, aber auch verschiedene Metallerze und weitere Mineralien) auszeichnen. Bisher wird diese Technologie als gegenüber konventionellen Tagebau- und Tiefbaumethoden nicht konkurrenzfähig – besonders im Hinblick auf die Produktionsrate – angesehen. Sie bietet jedoch in vielen Fällen Vorteile im Vergleich zu den klassischen Methoden und kann an Standorten,

an denen konventionelle Gewinnungstechnologien nicht geeignet sind, als ergänzende Technologie angewendet werden. Die Vorteile der Bohrlochbergbau-Technologie sind (Wiley und Abramov, 2004):

- Ferngesteuerte Gewinnung erhöht die Arbeitssicherheit (kein Personal in der Arbeitszone unter Tage)
- Minimale Umweltbelastung, da keine Notwendigkeit einer Abraumbeseitigung und Entwässerung
- Anwendbar auch bei verschiedenen ungünstigen Abbaubedingungen (hohe Wasserführung, gefährliche/explosive/entzündliche Umgebung, instabile Böschungen/Grubenräume)
- Selektive Gewinnung ist möglich
- Geringe Kapital- und Betriebskosten

Im Laufe der Jahre wurden in mehreren Ländern und für verschiedene Anwendungen umfangreiche Erfahrungen mit der Bohrlochbergbau-Technologie gesammelt. In den USA wurden seit den 1960er Jahren Feldversuche mit der Technologie zur Gewinnung von Uran, Phosphoriten, Koks- und Steinkohle sowie ölhaltigem Sand mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführt. Von 1975 bis 1982 finanzierte das United States Bureau of Mines (USBM) ein Programm zur Entwicklung dieser mannlosen Bergbautechnik. Das dazu entwickelte Werkzeug wurde an einem 5,4 m mächtigen Steinkohlenflöz getestet und ergab eine Leistung von 8 t/h (Savarnick, 1979). Später wurde im Kohlenfeld Black Diamond in West Washington eine durchschnittliche Förderrate von 13 t/h erreicht (Evers, 1984). Die Experimente legten nahe, dass die maximal erreichbare Produktionsrate durch die vertikale Pumpenförderung begrenzt wurde.

Basierend auf den Erkenntnissen früherer Forschungen von USBM wurde 1985 ein Prototyp für den Abbau von uranhaltigem Sandstein entwickelt, der positive Ergebnisse erbrachte (Dibble, 1989). Darüber hinaus wurde die Bohrlochbergbau-Technologie zur Stimulierung der Gasproduktion in einem Methanfeld auf einem Kohlebett der Lagerstätte San Juan erfolgreich eingesetzt (Abramov, 1994). Es wird berichtet, dass diese Technik in der Lage ist, die Filtrationsfläche signifikant zu vergrößern und die Gasproduktionsrate um das 2–4-fache zu erhöhen (Abramov, 2001).

Obwohl in Südafrika und Australien mehrere experimentelle Studien zum Abbau von Goldseifen mittels Bohrlochbergbau-Technologie durchgeführt wurden, ist deren Anwendung in der Industrie jedoch begrenzt. In den letzten Jahren wurde

versucht, mit dieser Technologie diamant-, titan- und/oder zirkoniumhaltige Sande aus geringer Tiefe (<50 m) zu gewinnen.

In den frühen 1980er Jahren erstellte der Projektpartner Główny Instytut Górnictwa ein Konzept für die Verwendung der Bohrlochgewinnung mit Wasserstrahlschneidwerkzeugen zum Abbau von Braunkohle. Die Versuche wurden zunächst in einem Graben und dann in einem flachen Bohrloch im Kohlenbergwerk „Belchatów“ durchgeführt (Klich und W. Jura, 1993). Da der maximale Wasserstrahlendruck (7,5 MPa) relativ niedrig war, betrug der Schneidradius im Bohrloch 5 bis 7 m (Wasserdurchfluss: 250 L/min und Düsendurchmesser von 7 bis 15 mm). Später wurde in einer Phosphatmine in Ägypten mit einem viel höheren Wasserstrahlendruck (32 MPa) eine Schnittweite von 4 bis 5 m erreicht. Die Gewinnungskapazität wurde auf 50 t/h geschätzt (Jura, 1997, 2003). Die Projektpartner aus Polen und der Tschechischen Republik arbeiten weiter an der Verbesserung der Wasserstrahlschneidwerkzeuge und des gesamten Prototyps.

An der TU Bergakademie Freiberg wird der Transport des zerkleinerten Materials aus der geschnittenen Kaverne über das Bohrloch an die Tagesoberfläche untersucht. Zur Überprüfung der zur Dimensionierung der Förderanlage entwickelten Algorithmen wurde in Freiberg ein Versuchsstand im Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ konstruiert und aufgebaut (Abb. 2). Die Wasser- und Druckluftversorgung der 6 m hohen Airliftanlage ist direkt mit der Infrastruktur des Bergwerks verbunden (Abb. 3). Ziel ist es, durch die Variation von Parametern, wie sie in der Praxis auftreten können, die Betriebszustände, die Leistung und die Kosten der Anlage abzuschätzen. Noch 2019 soll auf Basis der Ergebnisse aus dem Versuchsbergwerk im polnischen Katowice der erste Pilotversuch mit einem Prototypen der neuartigen Anlage starten.

Für die Bestimmung der optimalen Konstruktions- bzw. Betriebsparameter des Airlift-Prototyps werden Erkenntnisse der Ähnlichkeitstheorie genutzt. Dabei wird das Design des Prototyps mittels dimensionsloser Kennzahlen von einem herunterskalierten Airlift (Labor-Airliftanlage) auf den Prototypen übertragen.

Der Hauptfokus der am Projekt beteiligten Kollegen von der TU Bergakademie Freiberg liegt auf der Untersuchung der Parameter und des Arbeitsregimes des Airlifts. Eine Besonderheit der Arbeitsweise

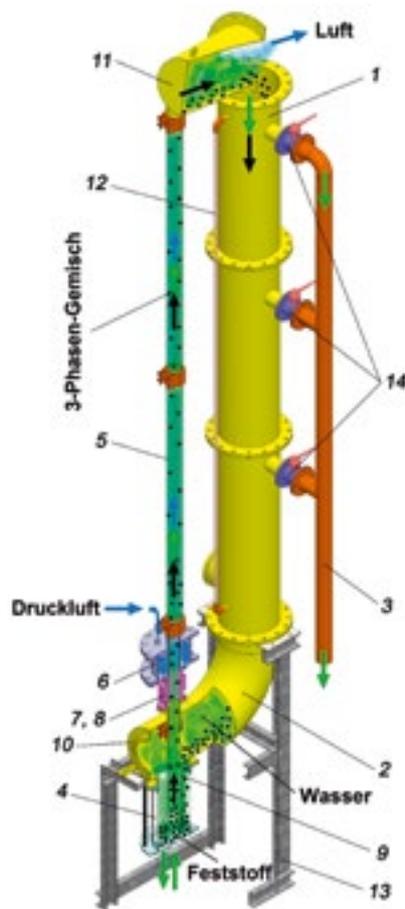


Abb. 2: Konstruktions- und Wirkschema der Labor-Airliftanlage: 1 Zulaufrohr, 2 Verteilerbunker, 3 Ablaufrohr, 4 Sumpf, 5 Förderrohr, 6 Mischer, 7 und 8 Durchfluss- und Drucksensoren, 9 Saugrohr, 10 Schauglas, 11 Luftseparator, 12 Wasserstandsmeßrohr, 13 Gitterrahmen, 14 Kontrollventile des Wasserniveaus



Abb. 3: Funktionsfähige Labor-Airliftanlage im Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“

des Airlifts im Bohrlochbergbau ist, dass die Materialansaugung aus einer geschlossenen Kaverne erfolgt. Die Betriebsparameter des Airlifts hängen daher von den in die Kaverne einfließenden Druckluft- und Wasserströmen ab. Außer für die Materialförderung werden Wasser und Druckluft auch für das Schneiden und die Stabilisierung des Hangenden benötigt. Alle diese Faktoren beeinflussen einander gegenseitig, was die Bestimmung der optimalen Betriebsparameter des Airlifts recht komplex gestaltet.

Neben den Erkenntnissen zum optimierten Abbau von Stein- und Braunkohlen lässt das HydroCoal-Plus-Projekt zusätzliche Kenntnisse über das Schneiden mäßig harter Gesteine mit Wasserstrahlschneidwerkzeugen der jüngsten Generation und über die vertikale Förderung von Material mittels Airlift erwarten. Die Umwelt- und technisch-ökonomische Bewertung der Technologie kann im Feldtest des Prototyps umfassend erforscht werden. Zusätzliche Untersuchungen fokussieren auf den Einsatz der Technologie für die Gewinnung weiterer Rohstoffe.

Interessenbekundungen für dieses neue, sichere und saubere Verfahren liegen bereits aus Kanada, China, Russland und der Mongolei vor.

Literatur

- Abramov, G. (2001): Borehole Mining - Remote Advantages, SME Annual Meeting Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Feb. 26-28, Denver, Colorado, S. 1-5.
- Abramov, G. (1994): Borehole Mining: A New World Record of Depth-2900 Feet. The Mining Record, September 14.
- Dibble, M. F. (1989): Borehole Mining: Improved Technology Expands Horizons. In Offshore Technology Conference. Offshore Technology Conference.
- Evers, L.E. (1984): Update on Hydraulic Mining in the US. Mining Engineering, Oktober 1984, S. 1418-1421.
- Jura, W (1997): Application of Hydraulic Borehole Technology for Egyptian Phosphates, Jura Wieslaw, International Mining Symposium Geological Survey Cairo, Egypt 1977.
- Jura, W. (2003): Hydraulic Borehole Mining (HBM) Technology: An Overview, 19th World Mining Congress, New Delhi, S. 905-916. ISBN 90 5809 273 9.
- Klich, A, Jura, W., Mazurkiewicz, M. (1993): Application of Water Jet Energy in the Borehole Mining, Proceedings of the 7th American Water Jet Conference, Seattle, S. 473-484. ISBN 1-880342-03-0.
- Savanick, G. (1979): Borehole (Slurry) Mining of Coal and Uraniferous Sandstone, Proceedings of AIME Annual Meeting, New Orleans, Februar 18-22, S. 79-53.
- Wiley, M. A., Abramov, G. (2004): Borehole Mining: Getting More Versatile. Mining Engineering, 56(1), S. 36-40.

Nachhaltige Gewinnung von Hochtechnologieelementen für die Elektromobilität mittels In-situ-Extraktion und Fraktionierung

Roland Haseneder¹, Katja Götze¹

Abstract

Der Fokus des durch die Audi Stiftung für Umwelt unterstützten Projektes liegt auf der Untersuchung eines nachhaltigen und energieeffizienten Verfahrens zur Ressourcengewinnung von Hochtechnologieelementen durch die Kombination eines hybriden Membrantrennprozesses mit mikrobiologischer Laugung. Anhand eines neu entwickelten Membrantrennverfahrens zur direkten Anwendung untertage im Lehr- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche sollen die Möglichkeiten der Übertragbarkeit eines mikroinvasiven Gewinnungsverfahrens auf „klassische“ bergbauliche Abbaustandorte untersucht werden. Durch diese In-situ-Applikation sollen die energie- und ressourcenintensiven Abbautechniken, die mit massiven Umwelteinwirkungen verbunden sind, langfristig substituiert werden.

Motivation

Viele Zukunftstechnologien sind großen rohstoffpolitischen Herausforderungen ausgesetzt. Bei der Elektromobilität beispielweise, werden zahlreiche Metalle wie Kupfer, Kobalt, Nickel, Mangan, Lithium sowie Seltene Erden benötigt, deren Vorkommen endlich ist [1, 2]. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Indium und Germanium. Gemäß dem EU-Report über strategische Elemente sind Indium und Germanium die Elemente, die bis 2030 die zweit- bzw. drittgrößte Nachfrageausweitung erfahren werden [3]. Allen gemeinsam ist, dass das Vorkommen an Primärrohstoffen auf einige wenige Länder beschränkt ist. Deutschland als Technologiestandort begibt sich damit in eine Versorgungsabhängigkeit, die langfristig ökonomische Konsequenzen zur Folge hat. Darüber hinaus manifestiert sich gerade in den Industrienationen eine zunehmende Ablehnung bergbaulicher Aktivitäten insbesondere mit Blick auf die ökologischen Auswirkungen im Umfeld der Gewinnungsstandorte.

Eine weitere wichtige Option, um den mittel- und langfristig wachsenden Rohstoffbedarf zu decken, ist daher auch die Gewinnung von Technologiemetallen aus Sekundärrohstoffen [2].

Indium und Germanium zählen also zu den kritischen aber ökonomisch wichtigen Elementen. Ursächlich ist ihr geringes natürliches Vorkommen von unter 1 Ma% der Erdkruste sowie die Tatsachen, dass diese Elemente weltweit maßgeblich lediglich durch ein Land bereitgestellt werden, sie nur schlecht innerhalb der Produktion ersetzbar und die Recyclingraten niedrig sind [3].

Um die begehrten Elemente zu gewinnen, ist es erforderlich, in immer größere Tiefen vorzudringen und sowohl ärmere als auch komplexere Erze zu fördern. Ebenso stellen sich die Aufbereitungsschritte immer aufwendiger dar [5]. Hierdurch steigen die ökonomischen Investitionen und ggf. auch ökologischen Folgen durch den Bergbau sowie für die sich anschließende Aufbereitung. Zu den ökologischen Folgeerscheinungen gehören beispielweise die Zerstörung von Habitaten, die Versauerung von Seen und Fließgewässern sowie Kontaminationen der Schutzgüter durch organische Stoffe und Schwermetalle. Aus diesen

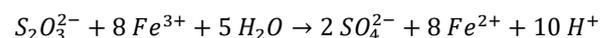
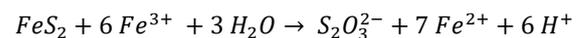
Gründen sind alternative und umweltfreundlichere Verfahren gefragt. Mit der Inbetriebnahme einer hybriden Membrananlage im Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ im März dieses Jahres durch Forscher des Instituts für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik soll dieser Problemstellung nun Rechnung getragen werden. Das von der Audi Stiftung für Umwelt geförderte Projekt hat zum Ziel Hochtechnologieelemente, wie z. B. Indium und Germanium, aus einer Laugungslösung direkt untertage selektiv anzureichern und aufzukonzentrieren.

Durch den Einsatz eines hybriden Membranverfahrens als Aufbereitungsschritt (*Downstream Processing*) direkt vor Ort (*on-site*) gelingt es, den Prozessstrom aus einer mikrobiologischen Laugungsstrecke stark zu reduzieren und dessen Komplexität aufzubrechen. Weiterhin bietet das rein physikalische Verfahren – im Gegensatz zur Extraktion – den Vorteil, dass keine weiteren Stoffe in den Prozessstrom eingebracht werden, auch nicht in Form von vermeidlich umweltschädlichen Chemikalien und Lösungsmitteln. Dadurch findet weder eine Verdünnung noch Verunreinigung des Prozessstroms statt [4].

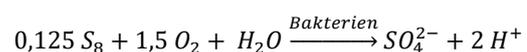
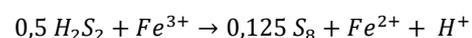
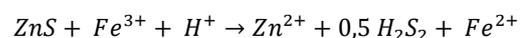
Grundlagen

Dem Forschungsvorhaben liegt die Biohydrometallurgie zu Grunde. Die Biohydrometallurgie bezeichnet die Laugung von Erzen mit Hilfe von Mikroorganismen sowie die anschließende Metallgewinnung aus der resultierenden Laugungslösung kurz PLS (*pregnant leaching solution*). Bei konventionellen biologischen Laugungsverfahren von sulfidischen Erzen setzt der Bergbau auf eine Hauf- bzw. Hanglaugung. Hierfür wird das erzhaltige Gestein aufgefahren und auf einem undurchlässigen Untergrund oder an einem Hang angehäuft. Anschließend erfolgt die Berieselung des Erzes mit schwefelsauer Lösung, die acidophile schwefel- und eisenoxidierende Mikroorganismen enthält. Im vorliegenden Fall handelt es sich um *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* und *Leptospirillum ferrooxidans*. In Abhängigkeit vom vorliegenden Mineral, säure-löslich bzw. säure-unlöslich, ergeben sich zwei Mechanismen.

Für in Säure unlösliche Metallsulfide, wie beispielsweise Pyrit [FeS₂] ergeben sich die folgenden Reaktionsgleichungen [6].



Bei in Säure löslichen Metallsulfiden, hier dargestellt am Beispiel von Sphalerit [ZnS], stellen sich nachfolgende Reaktionen ein [6]:



¹ Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik

Bei beiden Mechanismen entstehen Eisen (II)-Ionen und Sulfat. Die Rolle der Mikroorganismen besteht in der Oxidation dieser Produkte, damit dem Fortgang des Prozesses ausreichend Eisen (III)-Ionen zur Verfügung stehen. Das entstehende Sulfat gewährleistet einen niedrigen pH-Wert und damit, dass die Eisen (III)-Ionen in Lösung bleiben und nicht ausfallen [7]. Studien belegen, dass die Laugungskinetik durch das Vorhandensein von Mikroorganismen, im Gegensatz zum bloßen Vorhandensein von Eisen (III)-Ionen bei gleichen Bedingungen, erhöht ist [8]. Insgesamt resultiert aus dem Bioleaching für die weitere Aufbereitung eine verdünnte Lösung mit geringen Metallgehalten [4].

Standortvoraussetzungen

Das Lehr- und Forschungsbergwerk „Reiche Zeche“ verfügt nicht nur über das Vorkommen von sulfidischen Erzen, in denen sich die Zielelemente durch natürliche Vorgänge angereichert haben, sondern auch über die geeignete Infrastruktur um sowohl eine Laugungsstrecke als auch die Membrananlage zu installieren und zu betreiben [5]. Für das Vorhaben wurde der Erzgang „Wilhelm Stehender Nord“ ausgewählt. Er ist gekennzeichnet durch die sulfidischen Minerale Pyrit (FeS_2), Sphalerit (ZnS), Galenit (PbS), Arsenopyrit (FeAsS) und Chalcopyrite (CuFeS_2) [6]. Das chalcophile Element Indium reichert sich dabei insbesondere im Metallgitter von Sphalerit mit einem Anteil von bis zu 1 Ma.%, zumeist jedoch im Bereich von einigen ppm bis hin zu ein paar hundert ppm, an [9]. Ähnliches gilt für Germanium, das sich ebenfalls in sulfidischen Erzen, insbesondere in zink- und kupferreichen, anreichert [4].



Abb. 1: Bohrkern „Wilhelm Stehender Nord“

Die Mächtigkeit des Erzgangs reicht am ausgewählten Standort von wenigen Zentimetern bis hin zu einem Meter. Zudem ist der Erzgang von säurebeständigem Orthogneis umgeben. Der betreffende Teilabschnitt ist vollständig umfahrbar und bietet sich – validiert durch seismische und geoelektrische Messungen – für den Einbau einer Versuchsstrecke an [5].

In-situ-Laugungsstrecke

2013 wurde in Freiberg das durch die Dr. Erich Krüger-Stiftung finanzierte Biohydrometallurgische Zentrum für strategische Elemente (BHMZ) gegründet. Das BHMZ hat sich die Aufgabe gestellt, die gesamte (bio-)hydrometallurgische Prozesskette zu untersuchen. Dies beinhaltet sowohl verschiedene Verfahren zur Gewinnung der metallhaltigen Laugungslösung aus verschiedenen Ausgangsstoffen als auch die anschließende Metallgewinnung aus der Lösung [10].

Innerhalb des BHMZ entstand unter Tage im Erzgang „Wilhelm Stehender Nord“ eine Testlaugungsstrecke, die in Abb. 2 schematisch dargestellt ist.

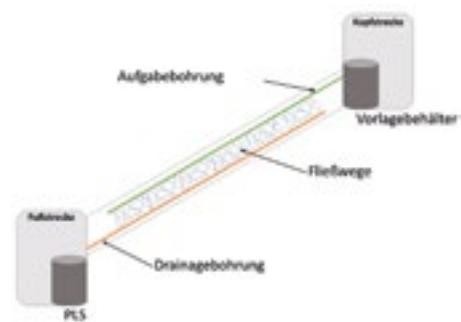


Abb. 2: Schematische Darstellung der Laugungsstrecke im Erzgang „Wilhelm Stehender Nord“ (verändert nach [5])

Von der Kopfstrecke aus wurden Aufgabe- und Drainagebohrungen gesetzt, die durch hydraulische Klufterzeugung miteinander verbunden sind. Für die Erzeugung von Fließ- und Strömungswegen kamen verschiedene Methoden zur Anwendung. Sie alle zielten darauf ab, eine möglichst große Erzoberfläche zu erzeugen, damit diese den Mikroorganismen beziehungsweise der hindurchströmenden Eingangslösung zugänglich ist [11]. In einem zeitlich festgelegten Intervall wird die Eingangslösung aus einem Vorlagebehälter von der Kopfstrecke in die Aufgabebohrungen gepumpt. Anschließend permeiert die Lösung durch die Mikrorisse und Kapillaren. Auf dem Weg durch das Erz findet die Solubilisierung der Metallionen und die Überführung in die wässrige Phase statt. Die resultierende PLS wird durch die Drainagebohrung aufgefangen, in einem zweiten Behälter gesammelt und anschließend zurück zum Vorlagebehälter gepumpt. Die Kreislauflführung findet bis zum Erreichen einer definierten Metallkonzentration statt. Sobald dieser Zielparame-ter erreicht ist, wird die PLS dem Membranprozess zugeführt.

Vorversuche am ITUN im Labormaßstab

Im Rahmen des BHMZ untersuchten Forscher des ITUN das komplexe Trennverhalten von Indium und Germanium aus einer künstlichen Laugungslösung, die sich in ihrer Zusammensetzung an der realen PLS anlehnt. Eine Zusammenstellung der enthaltenen Elemente im Vergleich zur Erzprobe ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Mittlere Zusammensetzung der PLS einer Erzprobe aus der „Reichen Zeche“ (Grundlage: ICP-MS Analyse) und der Zusammensetzung der synthetischen PLS [4]

Element	Konzentration PLS	Konzentration synth. PLS
Zn	2600 mg l ⁻¹	2600 mg l ⁻¹
Fe	620 mg l ⁻¹	620 mg l ⁻¹
Cu	15 mg l ⁻¹	15 mg l ⁻¹
Cd	20 mg l ⁻¹	–
Pb	3 mg l ⁻¹	–
In	760 µg l ⁻¹	1 mg l ⁻¹
Ge	< 5 µg l ⁻¹	1 mg l ⁻¹

Als erster Schritt fand ein umfassendes Membranscreening statt, um darauf aufbauend Rückschlüsse auf die stattfindenden Trennmechanismen zu ziehen. Dabei wurden sowohl die chemische Struktur und Zusammensetzung, als auch die Morphologie und die mechanischen Eigenschaften von Nanofiltrationsmembranen untersucht. Im Anschluss wurden Experimente

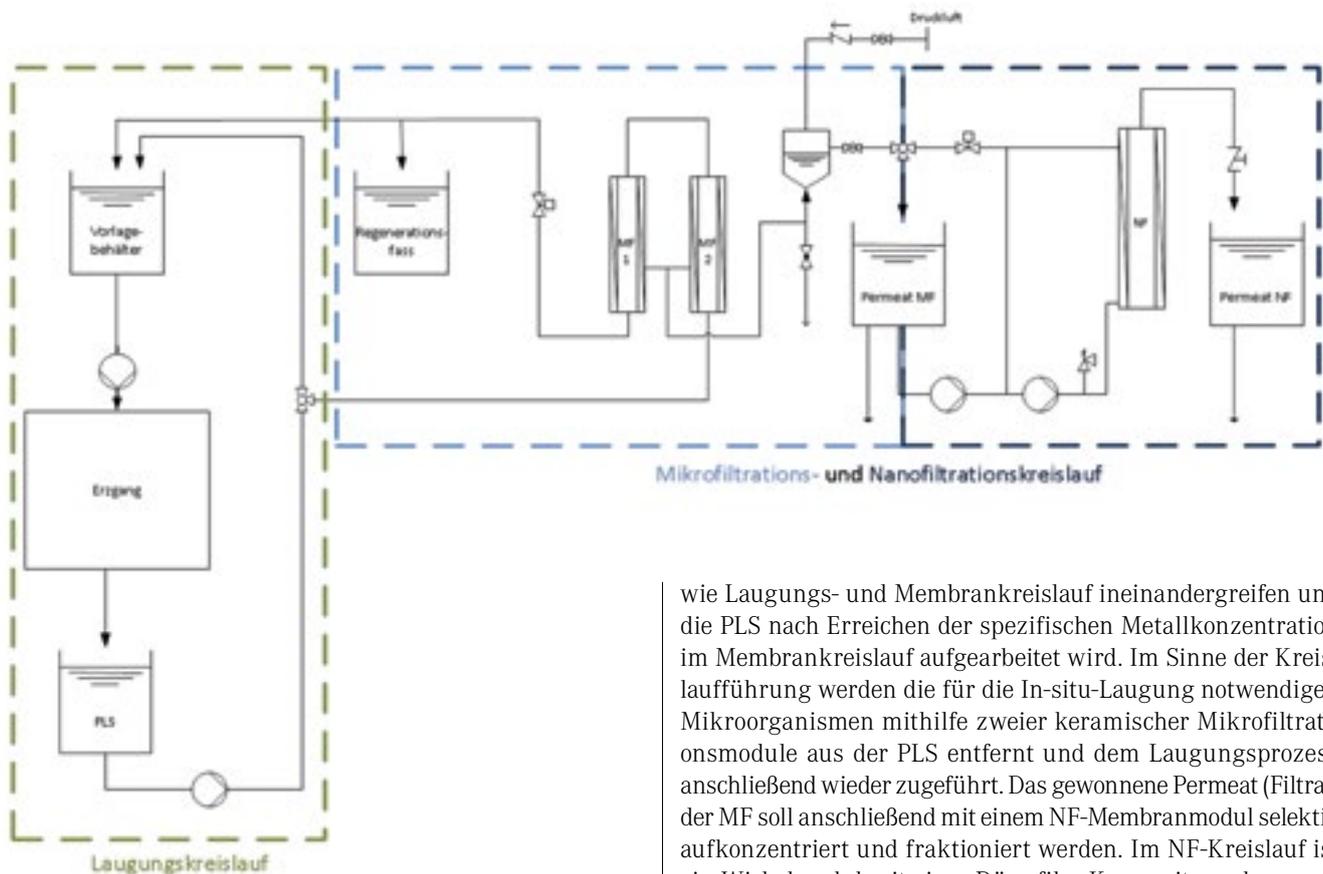


Abb. 3: Vereinfachtes Fließbild von Laugungs- und Membrankreislauf

bezüglich des Trennverhaltens der einzelnen Ionen, separat von den anderen Bestandteilen der PLS, bei verschiedenen pH-Werten durchgeführt. Durch Zugabe weiterer Ionen in verschiedenen Konzentrationen gelang es, den Einfluss von Lösungszusammensetzung und Ionenkonzentration auf das Trennverhalten der ausgewählten Membranen zu charakterisieren. Beim Scale-up in den Technikumsmaßstab konnte unter Variation der Prozessparameter transmembrane Druckdifferenz (TMP) und Überströmungsgeschwindigkeit aus der komplex zusammengesetzten Modelllösung Indium und Germanium selektiv abgetrennt und aufkonzentriert werden [4,12]. Untersuchungen an anderen Stoffsystemen ergaben vergleichbare Ergebnisse für Rhenium, Kobalt und Molybdän [13].

An diesen Beispielen ist das große Potenzial dieser Technologie ersichtlich: Bei der Laugung eines geeigneten Ausgangsmaterials und dessen Aufbereitung mit Membranverfahren ist es möglich, ein an Zielelementen angereichertes Konzentrat bereitzustellen und damit die Grundlage für eine nachfolgende Gewinnung zu schaffen. Das rein physikalisch basierte Membranverfahren und damit umweltfreundliche Trennverfahren, lässt sich aufgrund seiner Flexibilität an vielfältige Trennprobleme anpassen und kann an jedem geeigneten Standort angewendet werden.

Hybride Membrananlage

Die vielversprechenden Ergebnisse der Laborversuche am ITUN lieferten schließlich auch die Basis für die Konzeption und den Aufbau der hybriden Membrananlage, die im aktuellen Forschungsprojekt genutzt wird. Dabei ist vorgesehen, die PLS unter Einsatz von Mikro (MF)- und Nanofiltration (NF) aufzubereiten, wie aus der vereinfachten Darstellung des Prozessschemas in Abb. 3 ersichtlich wird. Abb. 3 zeigt,

wie Laugungs- und Membrankreislauf ineinandergreifen und die PLS nach Erreichen der spezifischen Metallkonzentration im Membrankreislauf aufgearbeitet wird. Im Sinne der Kreislaufführung werden die für die In-situ-Laugung notwendigen Mikroorganismen mithilfe zweier keramischer Mikrofiltrationsmodule aus der PLS entfernt und dem Laugungsprozess anschließend wieder zugeführt. Das gewonnene Permeat (Filtrat) der MF soll anschließend mit einem NF-Membranmodul selektiv aufkonzentriert und fraktioniert werden. Im NF-Kreislauf ist ein Wickelmodul mit einer Dünnschicht-Kompositmembran von Alfa Laval verbaut. Das Wickelmodul bietet bei kostengünstiger Fertigung eine relativ hohe Packungsdichte und erlaubt durch eingebaute Feedspacer einen guten Stoffaustausch sowie die Senkung des Scaling-Potenzials [14]. Die eingesetzte Membran zeichnet sich dabei sowohl durch eine hohe Permeabilität und eine hohe chemische Beständigkeit als auch durch einen breiten pH-Einsatzbereich aus.

Im Rahmen des Projekts werden die Parameter zum Betreiben der MF- und NF-Module unter Realbedingungen ermittelt und optimiert. Eine Herausforderung besteht in den vielfältigen Wechselwirkungen der Ionenspezies innerhalb der Laugungslösung sowie der *On-site*-Behandlung der PLS. Die Zusammensetzung der realen Prozessströme ist hierbei den Laugungsparametern unterworfen und liefert somit hochkomplexe Stoffströme, die über die Anpassung der Prozessparameter und die Flexibilisierung der Prozesssteuerung sowie prozessbegleitende Optimierung der Membrananlage erfolgreich zu fraktionieren sind. Die besondere Herausforderung ist jedoch bei den gegebenen Umgebungsbedingungen unter Tage (1. Sohle des Forschungsbergwerks, -147m) – wie der räumlichen Enge, der extrem hohen Luftfeuchtigkeit, den (sauren) Sickerwässern und somit einer hochkorrosiven Umgebung – der Betrieb *on-site*. Die Anlage trägt diesen materialbelastenden Bedingungen durch die verbauten Materialien und ihre kompakte Bauweise Rechnung, wie in Abb. 4 und 5 zu erkennen ist.

In den folgenden zwei Jahren widmen sich die Forschenden der Realisierung einer kontinuierlichen Prozessführung sowie der Untersuchung der vielfältigen Einflussfaktoren auf das Trennergebnis.

Insgesamt bietet das Forschungsvorhaben also einen Ansatz für einen minimalinvasiven Laugungsbergbau aus Armerzen (Erz mit einem niedrigen Metallgehalt) und liefert einen Beitrag zur umweltfreundlichen Gewinnung von Wertelementen,

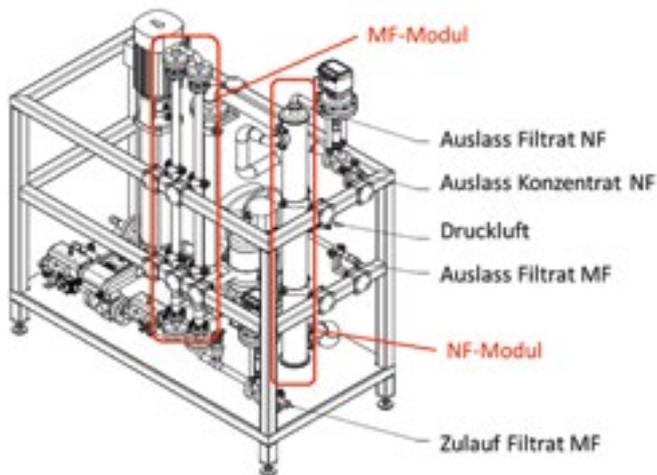


Abb. 4: Hybride Membrananlage



Abb. 5: Hybride Membrananlage vor Ort



Abb. 6: PLS-Probe, rechts Schnitt durch ein Membranwickelmodul



Foto: R. Kunz

da durch den zwischengeschalteten Membranprozess für die weiteren Aufbereitungsschritte bereits eine fraktionierte und konzentrierte Elementlösung erzeugt werden kann.

Die Autoren danken der Audi Stiftung für Umwelt für die finanzielle Unterstützung ihrer wissenschaftlichen Arbeit.

Quellen

- 1 Agora Verkehrswende (2017). Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität – Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen.
- 2 ProcessNet-Arbeitskreis (2015) „Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft“, Anorganische Rohstoffe – Sicherung der Rohstoffbasis von morgen, ISBN: 978-3-89746-177-2
- 3 European Commission (2014) Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.
- 4 Werner, Arite (2019): Entwicklung eines membranbasierten Trenn- und Anreicherungsverfahrens zur selektiven Gewinnung von Indium und Germanium aus Laugungslösungen. 1. Auflage. Herzogenrath: Shaker (Berichte aus der Verfahrenstechnik). ISBN: 3844065652.
- 5 Mischo, H.; Schlüter, R. (2017): Untersuchung von hydraulischen und sprengtechnischen Konditionierungsmethoden zur in-situ Laugung im Festgestein, in: Langefeld, O.; Tudeshki, H. (Hg.): 20. Kolloquium Bohr- und Sprengtechnik. Institut für Bergbau. Technische Universität Clausthal, 18. und 19. Januar 2017 (Tagungsband).
- 6 Schippers, A.; Sand, W. (1999): Bacterial leaching of metal sulfides proceeds by two indirect mechanisms via thiosulfate or via polysulfates and sulfur, in: Applied and environmental Microbiology 65 (1), S. 319-321.
- 7 Schippers, A. (2007): Microorganisms involved in bioleaching and nu-

- 8 cleic acid-based Molecular methods for their identification and Quantification, in: Donati, E. R.; Sand, W. (Hg.): Microbial processing of metal sulphides. Bd. 172. S. 3-33.
- 9 Fowler, T.A.; Crundwell, F.K. (1999): Leaching of zinc sulphide by thiobacillus ferrooxidans: Bacterial oxidation of the sulfur product layer increases the rate of zinc sulphide dissolution at high concentrations of ferrous ions, in: Applied and Environmental Microbiology 65 (12), S.5285-5292.
- 10 Cook, N. J.; Ciobanu, C. L.; Williams, T. (2011): The mineralogy and mineral chemistry of indium in sulphide deposits and implications for mineral processing, in: Hydrometallurgy 108 (3-4), S. 226-228. DOI: 10.1016/j.hydromet.2011.04.003.
- 11 Schlömann, M.: Krüger Stiftung. Freiburger Hydrometallurgisches Zentrum. Hg. v. TU Bergakademie Freiberg. Online verfügbar unter: <https://tu-freiberg.de/forschung/bhmz-3> [abgerufen am 19.06.2019].
- 12 Schlüter, R.; Mischo, H. (2015): In-situ underground bioleaching – Novel conditioning technologies, in: SME Annual Meeting. Feb. 15.-18.2015, S. 1-5 [Conference paper].
- 13 Werner, A.; Rieger, A.; Mosch, M.; Haseneder, R.; Repke, J.-U. (2018): Nanofiltration of indium and germanium ions in aqueous solutions: Influence of pH and charge on retention and membrane flux, in: Separation and Purification Technology 194 (2018), S. 319-328, doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.006.
- 14 Meschke, K.; Hansen, N.; Hofmann, R.; Haseneder, R.; Repke, J.-U. (2018): Characterization and performance evaluation of polymeric nanofiltration membranes for the separation of strategic elements from aqueous solutions, in: Journal of Membrane Science 546 (2018) 246-257, doi: 10.1016/j.memsci.2017.09.067.
- 15 Melin, T.; Rautenbach, R.: Membranverfahren. Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. 3. Aufl. 2007.

Eine Renaissance der Freiburger Flotationsforschung – A Fine Future in der Helmholtzgemeinschaft

Martin Rudolph¹, Kerstin Eckert²

Die Flotation, ein Trennprozess basierend auf der unterschiedlichen Benetzbarkeit von Mikropartikeln und wichtigster Vertreter der Heterokoagulationstrennprozesse, erwuchs seit Ende des 19. Jahrhunderts zu einem der bedeutendsten Aufbereitungsprozesse für verschiedenste Erztypen. Es wird sogar davon ausgegangen, dass ohne die Flotation die Versorgung des wachsenden Bedarfs vieler wichtiger Rohstoffe, z. B. Kupfer, gegen Mitte des 20. Jahrhunderts zum Erliegen gekommen wäre. Freiberg war bis zu Zeiten der deutschen Wiedervereinigung ein weltweit führender Standort in der Flotationsforschung sowohl in ihren Grundlagen als auch für die industrielle Anwendung. Mit der Gründung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) an der TU Bergakademie Freiberg im Jahr 2011 wurde begonnen, diese Kernkompetenz in Freiberg und Dresden wiederaufzubauen.

In diesem Artikel werfen wir einen Blick auf den regional historischen Bezug zum Flotationsprozess und dessen Erforschung, beschreiben den Neuaufbau der Flotationsforschung von 2011 bis heute, stellen das wichtige vom HZDR koordinierte EU-Projekt „FineFuture“ vor und geben einen Einblick in die aktuellen Forschungsakzente im Bereich Flotation.

Historischer Hintergrund

Es lässt sich, begründet mit einem Patent der Gebrüder Bessel, die in Dresden hochtemperatur-beständige Produkte aus Graphit herstellten, behaupten, dass 1877 in unserer Region der Flotationsprozess erfunden wurde. Damals bestand das Problem, die störende Tonfraktion aus dem Graphit der Kropfmühl-Mine in Bayern zu reduzieren. Zu gleicher Zeit wurde die Aufbereitungsforschung an der Bergakademie Freiberg etabliert. Nach dem ersten Weltkrieg wurden dann die Aufbereitungslabore gegründet, wobei die Flotation zu diesem Zeitpunkt auch schon einen wichtigen Stellenwert hatte.

- 1 Dr. Martin Rudolph, Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie an der TU Bergakademie Freiberg, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Chemnitz Straße 40, 09599 Freiberg
- 2 Prof. Dr. Kerstin Eckert, Institut für Fluidodynamik, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden

So kam es beispielhaft in den 1930er Jahren zur weltweit ersten Nutzung der noch jungen Flotationstechnologie im Bereich der Zinnerzaufbereitung in Altenberg. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde dann in den 1950er Jahren durch Prof. Helmut Kirchberg das Forschungsinstitut für Aufbereitungstechnik der Akademie der Wissenschaften, das FIA, gegründet. Dieser Schritt und die Berufung von Prof. Heinrich Schubert als Professor für Aufbereitungstechnik an die Bergakademie führten letztlich zum Durchbruch der Flotationsforschung auf vielen Ebenen in Freiberg. Weltweite Berühmtheit in der Flotationsforschung erlangte Prof. Schubert durch seine Betrachtungen zur turbulenten Hydrodynamik des Prozesses und Dr. Hans-Jürgen Schulze am FIA durch seine fundamentalen Schriften zur Partikel-Blase-Wechselwirkung im Flotationsprozess. Mit der friedlichen Revolution Ende der 1980er und der Wiedervereinigung Deutschlands wurde das FIA abgewickelt. Prof. Schubert ging bald in den Ruhestand, die Flotationsforschung kam nahezu zum Erliegen. Nur die Arbeitsgruppe von Dr. Schulze bestand weiter in einer Max-Planck-Gruppe an der TU Bergakademie. Leider verstarb Dr. Schulze aber schon frühzeitig 2003 und es fanden nur noch industrielle Entwicklungen des Flotationsprozesses in der UVR-FIA GmbH statt, die die technischen Einrichtungen des FIA weiternutzte.

Neuaufbau der Flotationsforschung

Im Jahre 2010 wurde als Teil der Rohstoffstrategie der Bundesregierung eine Ausschreibung für die Gründung eines nationalen ressourcentechnologischen Instituts veröffentlicht. Schon im August 2011 wurde dieses, das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, kurz HIF, als Teil des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg und in deren unmittelbaren Umfeld gegründet. Ein wichtiger Forschungsaspekt des Instituts sollte der Flotationsprozess sein, man begann spätestens im Frühjahr 2012 mit der Errichtung neuer Labore und technischer Anlagen hierfür. Im Jahre 2016 erfolgte der Umzug in die Chemnitz Straße 40 an

den Standort des ehemaligen Forschungsinstituts Aufbereitungstechnik (FIA). Die Flotationsgruppe war zu diesem Zeitpunkt schon auf zwölf Wissenschaftler und zwei Techniker angewachsen. Ein Jahr zuvor hat das HZDR im Rahmen der KIC EIT Raw Materials Netzwerke der Infrastrukturen ein europäisches Konsortium für die koordinierte Flotationsforschung, kurz NetFlot, gegründet. Im Jahre 2016 wurde zudem die Flotationsforschung am HZDR, Institut für Fluidodynamik durch hydrodynamische Grundlagenuntersuchungen ergänzt, über die Einrichtung und Berufung der Helmholtz-Professur von Prof. Kerstin Eckert, gemeinsam mit der TU Dresden und der Etablierung der Abteilung für Transportvorgänge an Grenzflächen. Somit war es von nun an möglich, den komplexen Flotationsprozess in seiner kompletten Breite wissenschaftlich zu untersuchen. Auf der aller zwei Jahre stattfindenden Flotationskonferenz MEI Flotation'17 im Jahre 2017 war die Delegation von „Helmholtz“ eine der stärksten, was auch bei der Aufbereitungsfachtagung IMPC 2018 in Moskau gemeinsam mit weiteren Kollegen der TU Freiberg gefestigt wurde. Also war nach sechs Jahren der Wiederaufbau abgeschlossen und die Flotationsforschung auf einem international anerkannten Niveau angekommen. Letztlich unterstreicht diese Entwicklung auch die erfolgreiche Akquise eines Horizon2020 EU-Projekts Anfang 2019 mit einem Fördervolumen von 6.2 Mio. €, welches durch das HZDR koordiniert wird und ein Ergebnis des EIT Raw Material Netzwerks NetFlot ist.

Das EU-Projekt FineFuture

Schon zu Zeiten des Wirkens von Prof. Heinrich Schubert an der TU Bergakademie und von Dr. Schulze am FIA sowie später in der Max Planck-Gruppe war die Wichtigkeit des erweiterten Flotationsprozesses für sehr feine Partikel, deutlich kleiner als 20 µm, betont worden. Besonders Prof. Schubert konnte unter Beweis stellen, dass nur ein besseres Verständnis der Mikroprozesse der Flotation, speziell der Vorgänge in den hochturbulenten Bereichen von Flotationszellen, zu einer effizienteren Feinpartikelflotation führen kann. Jedoch waren und sind bis heute die

Mikroprozessvorgänge für die Flotation feinsten Partikel ungenügend verstanden. Daher entschloss man sich im Rahmen von NetFlot gegen Ende 2017 ein Konsortium zu definieren, welches in einem großen EU-Projekt diese Vorgänge nicht nur besser verstehen, sondern auch zielgerichtet den Prozess mit technologischen Lösungen effizienter gestalten kann. Im Juni 2019 startete das Projekt FineFuture koordiniert durch das HZDR, bestehend aus 16 Partnern aus elf europäischen Ländern. In den ersten zwei Arbeitspaketen werden die Grundlagen der Haftung und Kollision feinsten Partikel mit Gasblasen in hochturbulenten Strömungen tiefgreifender untersucht, deren Erkenntnisse in zwei weitere Arbeitspakete einfließen, wie z. B. die Nutzung von elektrochemisch generierten Mikroblasen. Diese Konzepte werden mindestens im Pilotmaßstab validiert und in einem Modellierungsarbeitspaket für eine zukünftig zunehmende Digitalisierung des Prozesses in den komplexen Aufbereitungsprozess als digitaler Zwilling integriert. Auch die Technikfolgeabschätzung wird in einem *Life Cycle Assessment* (Lebenszyklusbewertung)-Arbeitspaket berücksichtigt. Es wird erwartet, dass die europäische Industrie und Forschungslandschaft im großen Maße von den Ergebnissen des Projekts profitiert sowie die entwickelten ressourcen- und energieeffizienteren Prozesse einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten können.

Forschungsakzente in Freiberg und Dresden

Neben den koordinierenden und forschenden Tätigkeiten im Projekt FineFuture gibt es natürlich ein noch viel breiteres Spektrum weiterer Projekte im Themenfeld der Flotation, die in diesem Kapitel beispielhaft und auszugsweise an einigen Publikationen der letzten Jahre zusammengefasst werden.

Im Bereich der Geometallurgie wurden wichtige Beiträge geleistet zur mehrdimensionalen Bewertung von Aufbereitungsprozessen im Allgemeinen³, wobei

der Flotationsprozess in besonderem Maße ein Vertreter der mehrdimensionalen Trennprozesse ist, das heißt auf komplexe Weise auf mehrere Partikelmerkmale einwirkt. Dies ist nur möglich durch die interdisziplinäre Arbeit am HIF gemeinsam mit Geowissenschaftlern und Mathematikern sowie die intensive Nutzung der automatischen Mineralogie für die komplexe Partikelcharakterisierung und Bewertung von Aufbereitungsprozessen von der Mahlung⁴ bis zur Trennung.



Künstlerische Computervisualisierung des Flotationsprozesses zur Verdeutlichung der Trennung feiner Partikel durch Blasenhaftung

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der HIF-Flotationsforschung ist die Betrachtung der Mikroprozesse an Grenzflächen, z. B. durch Entwicklungen im Bereich der Partikelsonden Rasterkraftmikroskopie⁵, wobei direkt die relevanten hydrophoben Interaktionen von Mineraloberflächen funktionalisiert durch Flotationsreagenzien betrachtet werden können. Hinzu kommt das Interesse an der Heterogenität von Oberflächeneigenschaften, analysiert unter anderem durch inverse Gaschromatographie⁶.

Für ultrafeine Partikelsysteme kleiner 10 µm konnte gezeigt werden, dass ein wichtiger Aspekt die störende Beein-

flussung der ultrafeinen hydrophilen Bergepartikel in der Suspension ist, was bisher in Modellen unzureichend Ausdruck findet⁷.

Zu den Rohstofftypen, die betrachtet werden, gibt es eine hohe Bandbreite vom heimischen polymetallischen Zinn/Zink/Indium/Wolfram Komplexerz über Seltene Erden⁸, Wolfram im Scheelit⁹, sedimentäres Apatit¹⁰, Haldenmaterial im Sinne des Remining¹¹ bis hin zu Recyclingmaterialien, wie der feinkörnigen wertvollen Bestandteile von Lithium-Ionen

Batterien¹².

Am Standort des HZDR in der Abteilung Biotechnologie des HIF wird gemeinsam mit der Aufbereitungsabteilung der innovative Ansatz der Bioflotation verfolgt, das heißt die Nutzung von Mikroorganismen mit ihren komplexen Mineralinteraktionen und deren hoch spezifisch wirkenden Stoffwechselprozessen, speziell unter Verwendung von halophilen Bakterien als Produzenten von biologischen Flotationsreagenzien¹³.

In der Flotationsforschung am Institut für Fluidynamik des HZDR können besonders hervorgehoben werden die Betrachtungen der Partikeltransportvorgänge in Schäumen unter anderem durch Nutzung von Neutronen Bildgebungsmethoden¹⁴ und die Untersuchungen zur Partikel-Blase-Interaktion im

hochdynamischen Falle¹⁵.

Wir blicken in eine spannende Zukunft bei der Untersuchung feinsten werthaltiger Partikel!

The future will be fine. A FineFuture

→ www.finefuture-h2020.eu

7 Minerals Engineering, 109 (2017) 1–9

8 Journal of Colloid and Interface Science, 552 (2019), 66–71

9 Minerals Engineering 129 (2018), 120–28

10 Minerals Engineering, 121, (2018), 196–204

11 Minerals, 8(7), (2018), 295

12 Paper presented at MEI High Tech Metals'18, Cape Town, South Africa, November 22–23, 2018

13 Solid State Phenomena, 262, (2017), 413–416

14 Minerals Engineering, 119, (2018), 126–29

15 Minerals Engineering, 124, (2018), 116–22

4 International Journal of Mineral Processing, 156, (2016), 3–13

5 Minerals Engineering, 121 (2019) 212–219

6 Colloids and Surfaces A, 513, (2017), 380–88

3 Minerals Engineering, 137 (2019), 78–86

Bergbau mit Pflanzen – Bioakkumulation von Wertstoffen für eine umweltfreundliche Ressourcengewinnung

Hermann Heilmeier¹, Oliver Wiche¹, Ines Aubel², Martin Bertau², Erik Ferchau³

Phytomining als alternative Technologie zur Wertstoffgewinnung

Durch die Entwicklung neuartiger Verfahrenstechniken, Werkstoffe und Produkte unter anderem auf den Gebieten der Verkehrs-, Informations-, Kommunikations-, Energie-, Chemie-, Umwelt- und Medizintechnik wird für die nahe Zukunft eine zunehmende Nachfrage nach „kritischen“ oder „strategischen“ Rohstoffen prognostiziert (Fraunhofer ISI & IZT 2009; Erdmann et al. 2011; Kausch et al. 2013). Zu den ökonomisch relevanten Elementen gehören Übergangsmetalle wie Indium, Germanium und die Seltenen Erden. Dem durch den technischen Wandel in der Zukunft hervorgerufenen steigenden Bedarf steht häufig eine kritische Versorgungslage gegenüber. Das Versorgungsrisiko kann durch eine Reihe von Faktoren bedingt sein, wie eine gewisse Länder- oder Unternehmenskonzentration der globalen Produktion. Letzteres gilt beispielsweise für das Element Germanium und die Seltenen Erden durch die Abhängigkeit insbesondere von der Volksrepublik China (Erdmann et al. 2011).

Damit erhebt sich die Frage, inwieweit alternative Methoden der Gewinnung derartiger konzentriert vorkommender bzw. produzierter Ressourcen technisch und ökonomisch umsetzbar sind. Eine alternative Technologie stellt das sogenannte Phytomining dar, der „Bergbau mit Pflanzen“. Phytomining ist eine pflanzenbasierte Extraktionstechnologie, welche, analog wie bei Phytoremediationsverfahren zur Sanierung Schadstoff-belasteter Standorte (z. B. Heilmeier und Zeller 2006), die Fähigkeit von Pflanzen und der mit ihnen assoziierten Bodenmikroorganismen zur Aufnahme von Wertelementen nutzt

(Abb. 1). Je nach Aufnahmekapazität und Verteilungsverhalten für die Wertelemente können die Pflanzen die Zielwertstoffe in den (oberirdischen) Kompartimenten akkumulieren. Nach der Ernte der Pflanzen kann die Biomasse energetisch genutzt werden, entweder durch Verbrennung oder mittels mikrobieller Fermentation zur Biogaserzeugung. Diese beiden Arten der energetischen Verwertung stellen Aufschlussverfahren dar, welche die Zielelemente einer Extraktion zugänglich machen. Die Reststoffe aus der Biomassevergärung können im Zuge geschlossener Stoffkreisläufe, u. U. nach vorhergehender Konditionierung, wieder auf die Felder verbracht werden.

Historisch begründet ist das „Phytomining“ auf der Pionierarbeit der Botaniker Alan Baker und Robert Brooks, die in den 1960er Jahren die weltweite Verbreitung und Elementzusammensetzung von metalltoleranten Pflanzenarten auf Extremstandorten studierten (Baker und Brooks 1989). Der Fokus ihrer Arbeit lag anfangs insbesondere auf Pflanzengesellschaften der Nickel-angereicherten Serpentinböden der Toskana, auf denen bereits 1948 Pflanzenarten mit bis zu 7900 µg/g Nickel in den Blättern beschrieben wurden (Brooks 1998). Infolge ihres hohen Grades der Metallanreicherung, der bis zu 100–1000fach über den gewöhnlichen Sprosskonzentrationen von nicht-akkumulierenden Pflanzenarten liegt,

wurden diese Pflanzenarten als „Hyperakkumulatoren“ bezeichnet (Brooks 1998). Bis heute wurden weltweit mehr als 700 Hyperakkumulatoren beschrieben, von denen mehr als 80% Akkumulatoren von Nickel darstellen (Brooks 1998; Jaffré et al. 2018). Durch die vergleichsweise große Artenauswahl konnte sich das Phytomining von Nickel bis heute zu einem wirtschaftlich rentablen Gewinnungsprozess etablieren (Nkrumah et al. 2018).

Akkumulation von Wertstoffen in der pflanzlichen Biomasse

Neben den klassischen Zielelementen des Phytominings, welche analog zur konventionellen bergmännischen Gewinnung von Erzen an wenigen Stellen der Erdoberfläche mit hoher Konzentration vorkommen und damit hohe Akkumulationsraten in den Pflanzen ermöglichen, eröffnen sich als Alternative ubiquitär im Boden vorkommende Elemente, die zwar für die Pflanzenernährung nicht essentiell sind, dennoch aber von den Pflanzen aufgrund ihrer chemischen Ähnlichkeit mit (essentiellen) Nährstoffen aufgenommen werden können. Dazu gehören beispielsweise Germanium, welches aufgrund seiner Stellung im Periodensystem (4. Hauptgruppe) chemisch dem zweithäufigsten Element der Erdkruste, Silicium, sehr ähnlich ist, sowie die Seltenen Erden, welche einen ähnlichen Ionenradius wie Calcium aufweisen (ca. 1×10^{-10} m). Germanium (Ge), welches im Jahr 1886 von Clemens Winkler in dem Mineral Argyrodit (Ag_8GeS_6) aus der Grube Himmelsfürst (Brand-Erbisdorf) entdeckt wurde, ist ein eher seltenes Element (an 46. Stelle der Elementhäufigkeit), welches in Mineralen, Zinkerzen und Steinkohle vorkommt. Sein durchschnittlicher Gehalt in der Erdkruste beträgt $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (vgl.: Pb: ca. 15 mg kg^{-1} , Zn: ca. 40 mg kg^{-1}); meist ist es vergesellschaftet mit Silicium (Si), jedoch in dem sehr geringen Verhältnis

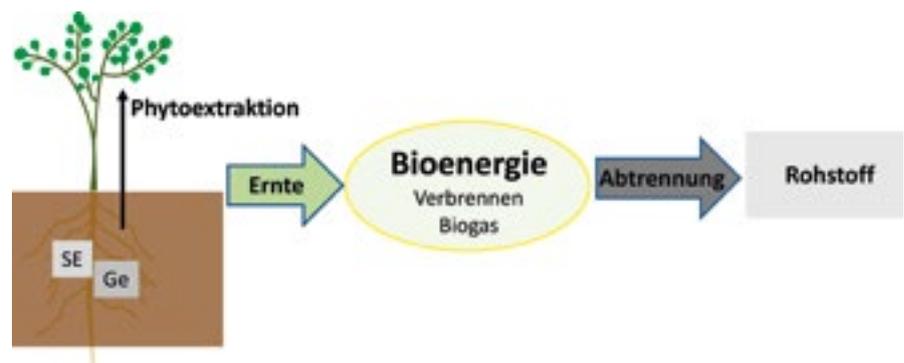


Abb. 1: Prinzip des Phytominings

1 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, AG Biologie/Ökologie

2 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Technische Chemie

3 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen

von ca. 1:10.000 (Rosenberg 2007; Wiche et al. 2018). Heutzutage gibt es keine bergmännische Gewinnung von Ge, stattdessen wird es aus Röstaschen der Zinkergewinnung oder aus Flugstäuben der Steinkohleverbrennung gewonnen. Seltene Erden kommen hauptsächlich in Bastnasiten (Ce,La,Nd,Y)[(F,OH)CO₃] und Monaziten (La,Ce,Nd)[PO₄] vor, weltweit sind nur wenige abbauwürdige Lagerstätten vorhanden. Derzeit erfolgen 97 % der Gesamtförderung (ca. 140.000 t pro Jahr) an Seltenen Erden in China. Die mittlere Erdkrustenkonzentration von Seltenen Erden erstreckt sich von 66 (Ce), 30 (La) und 28 mg kg⁻¹ (Nd) bis 0.5 (Tm) und 0.3 mg kg⁻¹ (Lu). Mit insgesamt ca. 150 mg kg⁻¹ sind Seltene Erden häufiger als Kupfer und Zink (Kabata-Pendias 2011).

Somit sind sowohl Germanium als auch Seltene Erden potentiell für viele Pflanzenarten in Böden als extrahierbare Elemente vorhanden, und die erste Frage stellt sich daher nach der Identifikation geeigneter Akkumulatortypen. Dafür kommen insbesondere aufgrund der thermischen bzw. fermentativen Aufschlussverfahren Energiepflanzen in Frage. In Gewächshaus- und Freilandversuchen wurden dazu verschiedene krautige Pflanzenarten und Gräser getestet. Während die Grasarten als Pflanzen mit hoher Akkumulationskapazität für Ge identifiziert werden konnten, traten Kräuter vornehmlich als Akkumulatoren für Seltene Erden hervor (Abb. 2). Die hohe Ge-Akkumulationsfähigkeit der Gräser hängt mit deren allgemein hohen Si-Gehalten zusammen, weshalb über alle im Gewächshaus angezogenen Pflanzen die Ge-Konzentration in der oberirdischen Biomasse signifikant mit der Si-Konzentration korreliert war ($r = 0,92, p < 0,001$; Heilmeier et al. 2016b). Bei den im Freiland angebaute Pflanzen korrelierte die Konzentration an Seltenen Erden in den Sprossen signifikant mit der Konzentration an Eisen (Fe) und Phosphor (P) (Beispiel La: $\rho = 0,65$ für Fe, $\rho = 0,58$ für P; jeweils $P < 0,001$; Wiche und Heilmeier 2016). Somit scheinen einerseits Gräser als Akkumulatortypen für Germanium geeignet zu sein, während für die Akkumulation von Seltenen Erden krautige Pflanzen die effektivste funktionelle Gruppe darstellen.

Neben dem Akkumulationsvermögen der Pflanzen hängt die Konzentration der Wertelemente in den oberirdischen Pflanzenteilen von der Konzentration dieser Stoffe in der Bodenlösung und damit vom Bodengehalt ab. Die Analyse von knapp

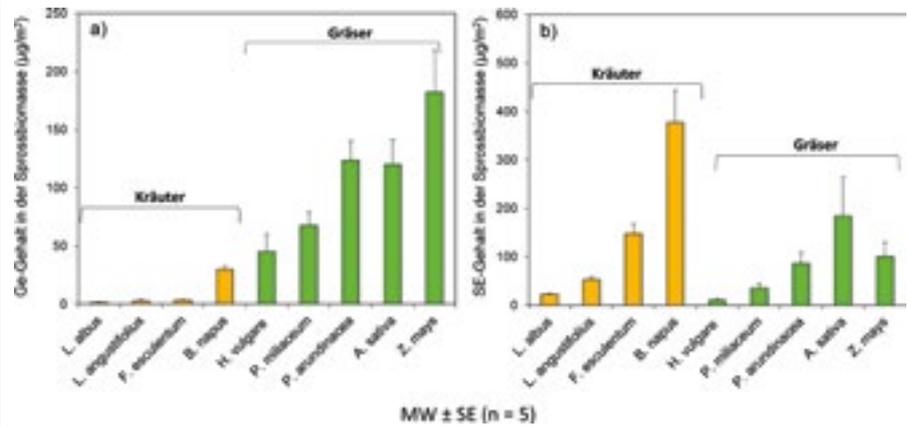


Abb. 2: Akkumulation von Germanium und Seltenen Erden in Freilandversuchen (Menge an Ge bzw. Seltenen Erden pro Bodenfläche). Die Arten sind: Weiße Lupine (*Lupinus albus*), Blaue Lupine (*Lupinus angustifolius*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Raps (*Brassica napus*), Gerste (*Hordeum vulgare*), Rispenhirse (*Panicum miliaceum*), Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*), Hafer (*Avena sativa*) und Mais (*Zea mays*). (verändert nach Wiche und Heilmeier 2016)

50 Bodenproben dreier unterschiedlicher Standortstypen (Ackerland, Wiesen, Feuchtgrünland) südlich von Freiberg zeigte die höchsten Konzentrationen an Ge (2,6 mg kg⁻¹) sowie Seltenen Erden (z. B. Lanthan: 40 mg kg⁻¹) im Feuchtgrünland, während die Konzentrationen dieser Elemente in den Acker- und Wiesenböden nur ca. die Hälfte davon betragen (Wiche et al. 2017a). Allerdings konnten als Ergebnis einer sequentiellen Extraktion, womit die Verfügbarkeit der Elemente für die Pflanzen abgeschätzt werden kann, nur ca. 8 % des gesamten Germaniumgehaltes und 30 % des Gesamtgehaltes der Seltenen Erden als pflanzenverfügbar eingestuft werden.

Somit sind die Gehalte an pflanzenverfügbaren Wertstoffen zu gering für eine ökonomischen Kriterien gerecht werdende Akkumulation in den Pflanzen. Durch eine Stimulierung der Interaktionen in dem System Boden/Mikroorganismen/Pflanzen kann die Aufnahme der Wertelemente erhöht werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Prozesse in der Rhizosphäre, dem unmittelbar an die Pflanzenwurzel angrenzenden Bereich des Bodens mit einer im Vergleich zum restlichen Boden stark durch darin lebende Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln veränderten Bodenchemie. Viele Pflanzenarten (z. B. Lupinen) besitzen die Fähigkeit, durch Abgabe von organischen Säuren (insbesondere Zitronen- und Äpfelsäure) und Ansäuerung ihres Wurzelraumes die Bioverfügbarkeit von Nährelementen im Boden zu erhöhen, wodurch auch die Bioverfügbarkeit von Ge und Seltenen Erden beeinflusst werden

kann. Versuche in Festbettreaktoren mit Ackerboden der Freiburger Umgebung mit einer Mischkultur aus Hafer und Weißer Lupine bzw. Zugabe von Zitronensäure (5 mmol l⁻¹) zeigten im Vergleich zu einer Kontrolle (unbepflanzter bzw. unbehandelter Ackerboden) 37 bzw. 75 % höhere Ge-Konzentrationen in der Bodenlösung (Heilmeier et al. 2016a). Der Effekt dieser erhöhten Ge-Verfügbarkeit im Boden auf die Ge-Akkumulation in Pflanzen konnte durch Zugabe von Zitronensäure (1 und 10 mmol l⁻¹) im Vergleich zu einer Mineralsäure mit dem gleichen pH-Wert (Salpetersäure, pH 3,7) beim Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) gezeigt werden: Hier war bei 1 und 10 mmol l⁻¹ Zitronensäure die Ge-Konzentration im Sprossgewebe gegenüber der Salpetersäure um 50 bzw. 150 % erhöht, was zeigt, dass der Säureeffekt weniger Bedeutung hat als die chelatisierende Wirkung der Zitronensäure (Heilmeier et al. 2016c). Analoge Effekte konnten auch für die Seltenen Erden gezeigt werden (Wiche et al. 2017b). Somit stellt sich die Frage, inwieweit durch die Beimischung von Pflanzenarten wie Lupinen der Phytominingtrag von Akkumulatortypen gesteigert werden kann. Freilandversuche mit Mischkulturen von Weißer Lupine mit Hafer zeigten erhöhte Konzentrationen u. a. von Fe, La und Nd sowohl in der Bodenlösung als auch im Sprossgewebe von Hafer (Wiche et al. 2016a). Eine verstärkte Aufnahme dieser Elemente durch Hafer ging mit deren Abreicherung in der Rhizosphäre von Weißer Lupine einher (Wiche et al. 2016b). Somit erscheinen biologische Effekte in der Rhizosphäre von entscheidender Bedeutung



Abb. 3: Feldversuche zur Identifikation von Pflanzenarten, die unsere Zielelemente anreichern. Kleines Bild: Gewächshaus mit verschiedenen Genotypen von *Phalaris arundinacea*, die hinsichtlich ihrer Wertelementanreicherung untersucht wurden

für die Verbesserung der Akkumulation von Wertelementen in den Zielpflanzen zu sein, was durch den Anbau von Mischkulturen in der landwirtschaftlichen Praxis ausgenutzt werden kann.

Extraktion der Wertstoffe aus der Biomasse

Neben der Forschung zur Anreicherung von Wertstoffen wie Germanium spielt die Entwicklung von Verfahrenskonzepten zur Abtrennung für eine industrielle Anwendung eine entscheidende Rolle. Im Sinne der Nachhaltigkeit und Rohstoffeffizienz sollten die Verfahren dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft folgen. Somit folgt die Germaniumabtrennung einer energetischen oder stofflichen Verwertung. Eine Vielzahl der Akkumulanten kann über die Einspeisung in Biogasanlagen einer stofflichen Verwertung zugeführt werden und ist somit Rohstoff für die Herstellung von Methan. Aufgrund der chemischen Eigenschaften verbleiben die Wertstoffe wie Ge im Feststoff und können über eine Fest-/Flüssig-Separation mit dem Feststoff einer Biogasanlage ausgeschleust werden. Die organisch belasteten Rückstände (> 70 %) können zur vollständigen Verwertung thermisch verbrannt werden, wodurch

in den Aschen eine Anreicherung der Wertstoffe erfolgt (Schreiter et al. 2017). Die Abtrennung der Wertstoffe aus den Aschen ist stark von den chemischen Eigenschaften der Wertstoffe bestimmt. So kann die Gewinnung von Ge nach der Ansäuerung der Aschen mit Salzsäure über Destillation erfolgen. Dabei bildet sich Germanium(IV)chlorid, was mit 83,4 °C einen wesentlich niedrigeren Siedepunkt als viele andere Begleitelemente hat und sich somit gut abtrennen lässt. Nach Verflüchtigung wird Ge in einer wässrigen Phase erneut aufgefangen, wo mit einer pH-Wertänderung das marktfähige Zielprodukt Germaniumdioxid isoliert wird (Schreiter 2019). Neben der Verfahrensentwicklung stand auch eine wirtschaftliche Gesamteinschätzung des Verfahrens im Fokus. Eine der wichtigsten Stellgrößen für den wirtschaftlichen Erfolg stellt dabei natürlich die Akkumulationsrate der Wertstoffe wie Ge dar (Rentsch et al. 2016). Darüber hinaus sollte neben den Wertmetallen auch über eine sinnvolle Abtrennung von Wertstoffen wie Phosphor nachgedacht werden, da dies einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit dieser neuen Verfahren zur Metallgewinnung haben kann.

Anreicherung von Wertstoffen durch den Biogasprozess

Über den Prozess der anaeroben Fermentation (Biogasprozess) lassen sich Wertelemente anreichern. In den durchgeführten Untersuchungen wurde der Prozess der Biogasbildung aus Rohrglanzgras optimiert, wobei der Schwerpunkt auf der Gewinnung und Anreicherung von Germanium und Seltenerdelementen in den Gärresten lag. In Laborversuchen wurde Rohrglanzgrasheu zur Biogasproduktion im anaeroben Vergärungsprozess in kontinuierlichen und Batchreaktoren bei einer Temperatur von 39 °C (mesophil) eingesetzt. Der Einfluss unterschiedlicher Raumbelastungen sowie verschiedener Substratmischungen (Heu, Wasser und Rindergülle) auf die Biogasqualität und -quantität, die Prozessstabilität, die Elementmenge und -konzentrationen vor oder nach dem Biogasprozess wurden untersucht. Der Biogasgärrest wurde nach der anaeroben Vergärung auf die Konzentrationen an Spurenelementen analysiert.

Die Konzentrationen von Ge und Seltenerden wurden im Gärrest im Vergleich zum eingesetzten Pflanzenmaterial signifikant um den Faktor 100 erhöht. Die Anreicherung der Elemente

im Gärrest erreichte für Germanium ein Maximum bei einer Raumbelastung von 2 kg oTS m⁻³ FV und für Seltene Erden bei einer organischen Raumbelastung von 1 kg TS m⁻³ FV. Mit der Erhöhung des Anteils der eingesetzten Rindergülle, die relativ hohe Konzentrationen an Seltenen Erden (3,50 µg g⁻¹) und Ge (0,05 µg g⁻¹) aufwies, nahm der Einfluss dieses Substrates zu. Unterschiede in der Verfügbarkeit der Substrate für die Mikroorganismen und Veränderungen in den chemischen Bindungsformen der Elemente im Gärrest könnten eine Ursache sein.

In einem quasikontinuierlichen Fermenter mit 23 l Volumen wurde im mesophilen Temperaturbereich die Biogasproduktion und -ausbeute bei unterschiedlichen organischen Raumbelastungen über 265 Tage untersucht. Dabei konnte bei einer Raumbelastung von 3 kg oTS m⁻³ FV eine Biogasproduktion im Bereich 1,0 bis 1,2 m³/(m³ FV) und bei der Raumbelastung von 1 kg oTS m⁻³ FV eine Methangasausbeute von ca. 0,56 m³ kg⁻¹ oTS erreicht werden. Der Methangehalt lag bei 53 bis 57 Vol.-%. Aufgrund von Prozessstörungen, die sich durch fallende pH-Werte bis auf 6,8 ankündigten, wurde das Mischungsverhältnis von Heu zu Rindergülle von 80 zu 20% (oTS basierend) in Schritten auf ein Verhältnis von 60% Heu zu 40% Gülle bei der höchsten Raumbelastung verändert.

Rohrglanzgras ist als Substrat für die Biogaserzeugung geeignet und erbringt gute Gaserträge. Es konnten mittlere Gasausbeuten erreicht werden, die 80% der Erträge von Maissilage entsprechen. Die Vorteile der Nutzung des Biogasprozesses zur Anreicherung von Wertelementen liegen in geschlossenen Kreisläufen von Nährstoffen, die durch die Ausbringung der Gärreste auf die Feldflächen erfolgt.

Schlussfolgerungen

Für Wertelemente wie Germanium und Seltene Erden, die ubiquitär in Böden vorkommen, bietet sich das Phytomining („Bergbau mit Pflanzen“) als mögliche wirtschaftliche Alternative zu herkömmlichen bergbaulichen Verfahren an. Die beiden wichtigsten Stellgrößen sind dabei (1) die Akkumulation der Wertelemente im (oberirdischen) Pflanzenmaterial, (2) die Extraktion der Wertelemente aus der Biomasse. Die Wertelementanreicherung in der Biomasse kann durch Auswahl geeigneter Akkumulatorpflanzen wie Gräser im Beispiel von Germanium sowie durch Beeinflussung des Bodenmilieus

beispielsweise durch Mischkulturen mit Pflanzen mit starker Wurzelexsudation von chelatisierenden Verbindungen erhöht werden. Zur Abtrennung der Wertelemente aus der Biomasse bietet sich eine energetische Verwertung, beispielsweise die anaerobe Fermentation (Biogasprozess) oder auch eine Verbrennung an, wobei in den Gärresten und Aschen eine Anreicherung der Wertstoffe erfolgt. Mittels der Kopplung von stofflicher (Wertelementakkumulation) und energetischer Nutzung der Biomasse folgt der gesamte Ansatz dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft einschließlich der Wiederausbringung von Wertelementen wie Phosphor über die Gärreste zum Schließen von Nährstoffkreisläufen.

Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse stammen aus den beiden Projekten „Germaniumgewinnung aus Biomasse“ (PhytoGerm), Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen: 033R091A), und „Rohrglanzgras als Bioenergiegras – Optimierung der Biomasseausnutzung und der Bioakkumulation von Wertstoffen“ (Phalaris II) im BMEL-Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ (Förderkennzeichen: 22018913).

Literatur

- Baker AJM, Brooks RR (1989) Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1, 81-126.
- Brooks RR (1998) Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals. CAB International.
- Erdmann L, Behrendt S, Feil M (2011) Kritische Rohstoffe für Deutschland – „Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte“. Abschlussbericht im Auftrag der KfW-Bankengruppe, Berlin
- Fraunhofer ISI & IZT (2009) Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. 2. Auflage. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Heilmeier H, Zeller T (2006) Phytoremediation – State of the art. In: Netzwerk Erneuerbare Energien durch Biomasse aus der Phytoextraktion kontaminierter Böden (Hrsg.: CUTEC-Institut GmbH), Papierflieger Verlag, Clausthal-Zellerfeld, 13-29
- Heilmeier H, Achtziger R, Günther A, Richert E, Wiche O (2016a) Bergbaufolgelandschaften – ideale Standorte zur Anwendung von Prinzipien der Ökologie. In: Groß U (Hrsg.): Glanzlichter der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg 250 Jahre nach ihrer Gründung. Chemnitz Verlag und Druck, S. 451-459
- Heilmeier H, Wiche O, Tesch S, Aubel I, Schreiter N, Bertau M (2016b) Germaniumgewinnung

aus Biomasse – PhytoGerm. In: Thomé-Kozmiensky, KJ, Goldmann, D (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 9. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, S. 177-192

- Heilmeier H, Wiche O, Tesch S, Schreiter N, Aubel I, Bertau M (2016c) PhytoGerm – Germaniumgewinnung aus Biomasse. In: Dürkoop A, Brandstetter CP, Gräbe G, Rentsch L (Hrsg.): Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Strategische Metalle und Mineralien. Ergebnisse der r3-Fördermaßnahme. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, S. 221-235
- Jaffré T, Reeves R, Baker A J M, Schat H, van der Ent A (2018) The discovery of nickel hyperaccumulation in the New Caledonian tree *Pycnanthus acuminata* 40 years on: an introduction to a Virtual Issue. *New Phytol.* 218, 397-400.
- Kabata-Pendias, A (2011) Trace Elements in Soil and Plants. 4th edition. Taylor & Francis, Boca Raton
- Kausch P, Bertau M, Gutzmer J, Matschullat J (Hrsg.) (2013) Strategische Rohstoffe – Risikoversorgung. Springer-Verlag
- Nkrumah P, Tisserand R, Chaney R, Baker A J M, Morel J, Goudon R, Erskine P, Echevarria G, van der Ent A (2018) The first tropical 'metal farm': Some perspectives from field and pot experiments. *J. Geochem. Expl.* 198, 114-122.
- Rentsch L, Aubel I, Schreiter N, Bertau M (2016) PhytoGerm: Extraction of germanium from biomass – An economic pre-feasibility study. *J. Business Chemistry* 13, 47-58.
- Rosenberg E (2007) Environmental speciation of Germanium. *Ecol. Chem. Eng.* 14, 707-732
- Schreiter N (2019) Verfahrensentwicklung zur Germaniumgewinnung aus Biomasse. Unv. Diss., Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- Schreiter N, Aubel I, Bertau M (2017) Extraktive Gewinnung von Germanium aus pflanzlicher Biomasse. *Chem. Ing. Tech* 89, 117-126
- Wiche O, Heilmeier H (2016) Germanium (Ge) and rare earth element (REE) accumulation in selected energy crops cultivated on two different soils. *Min. Eng.* 92, 208-215
- Wiche O, Székely B, Kummer N-A, Moschner C, Heilmeier H (2016a) Effects of intercropping of oat (*Avena sativa* L.) with white lupin (*Lupinus albus* L.) on the mobility of target elements for phytoremediation and phytomining in soil solution. *Intern. J. Phytoremediation* 18, 900-907
- Wiche O, Kummer N-A, Heilmeier H (2016b) Interspecific root interactions between white lupin and barley enhance the uptake of rare earth elements (REEs) and nutrients in shoots of barley. *Plant Soil* 402, 235-245
- Wiche O, Zertani V, Hentschel W, Achtziger R, Midula P (2017a) Germanium and rare earth elements in topsoil and soil-grown plants on different land use types in the mining area of Freiberg (Germany). *J. Geochem. Expl.* 175, 120-129.
- Wiche O, Tischler D, Fauser C, Lodemann J, Heilmeier H (2017b) Effects of citric acid and the siderophore desferrioxamine B (DFO-B) on the mobility of germanium and rare earth elements in soil and uptake in *Phalaris arundinacea*. *Intern. J. Phytoremediation* 19, 746-754
- Wiche O, Székely B, Moschner C, Heilmeier H (2018) Germanium in the soil-plant system – a review. *Env. Sci. Poll. Res.* 25, 31938-31956

Vorstellung des ERC-Starting-Grant-Projekts Micro-scale inhomogeneities in compressed systems and their impact onto the PROCESS- functioning chain and the PRODUCT characteristics

Andreas Siegfried Bräuer¹

Was mikroskalige Inhomogenitäten sind, kann anschaulich am Beispiel einer Mikroemulsion beschrieben werden. Die betrachtete Mikroemulsion bestehe aus zwei farblosen nicht-mischbaren Flüssigkeiten, wie beispielsweise Öl und Wasser, und einem sogenannten Emulgator. In der Mikroemulsion bilden sich mikroskalige Bereiche aus, die entweder reich an der öligen oder reich an der wässrigen Komponente sind. Diese mikroskaligen Inhomogenitäten, die in Form von dispergierten Tröpfchen, Strähnen oder einer bikontinuierlichen Lamellenstruktur auftreten können, sind so klein, dass sie das sichtbare Licht quasi nicht streuen. Deshalb erscheinen Mikroemulsionen für das menschliche Auge trotz ihrer mikroskaligen Inhomogenitäten völlig transparent. Darin unterscheiden sie sich deutlich von normalen Emulsionen, die milchig aussehen. Trotz ihrer Mikrostruktur spricht man bei Mikroemulsionen von thermodynamisch oder makroskopisch einphasigen Systemen.

Neben dem zugänglichen Beispiel einer Mikroemulsion, treten mikroskalige Inhomogenitäten auch in verschiedensten verfahrenstechnischen Prozessen auf und sind keineswegs auf Systeme beschränkt, die nicht-mischbare Flüssigkeiten enthalten. *Abb. 1* verdeutlicht dies am Beispiel zweier vollständig miteinander mischbaren Fluide, „Substanz A“ und „Substanz B“. Vor dem Start des Mischvorgangs liegen diese getrennt voneinander als reine weiße Substanz A und reine schwarze Substanz B vor. Durch das Mischen werden beide Substanzen zu dem grauen Gemisch. In Abhängigkeit von der Stoffdiffusion und der Viskosität kann das Gemisch schon nach kurzer Mischzeit makroskopisch homogen gemischt sein, es aber gleichzeitig immer noch mikroskalige Inhomogenitäten enthalten. Dies wird durch das Zebra-Muster in *Abb. 1* gezeigt. Die lokale

Ausdehnung der Inhomogenitäten hängt dabei von der beispielsweise durch einen Rührer eingetragenen spezifischen Mischenergie und von der Viskosität ab. Die Lebenszeit dieser Inhomogenitäten, also die Zeit bis sich die durch das Zebra-Muster angedeuteten Inhomogenitäten auch auf der Mikroskala homogenisiert haben ((II) in *Abb. 1*), hängt dabei von der Viskosität und der Stoffdiffusion ab.

Auch in Systemen, die keine Flüssigkeiten sondern komprimierte Gase oder überkritische Fluide enthalten, können entsprechende Inhomogenitäten auftreten. Beispiele hierfür sind Hochdruck-Sprühverfahren oder Hochdruck-Jetverfahren zur Partikelabscheidung, die innermotorische Verbrennung mit vorgelagerter Kraftstoff/Luft-Gemischbildung, speziell in Dieselmotoren. Bei diesen Prozessen gilt es herauszufinden, ob die Partikel bereits zu einem Zeitpunkt gebildet werden, zu dem das Gemisch noch mikroskalig inhomogen vorliegt, oder erst später, wenn das System bereits mikroskalig homogen ist. Im ersteren Fall wirken sich die im System befindlichen Inhomogenitäten natürlich auf die gebildeten Partikel aus, ganz einfach deshalb, weil sich Partikel in unterschiedlichen Umgebungen bilden können. Auch bei der innermotorischen Verbrennung steht die Frage, ob die Verbrennung mit Schadstoff- und Rußbildung in einem mikroskalig noch inhomogenen oder bereits homogenen System startet. Letzteres würde wahrscheinlich zu einer Reduzierung ungewünschter Emissionen führen. Was oben für die Gemischbildung beschrieben ist, kann umgekehrt bei der Trennung eines Gemischs in seine Einzelkomponenten auftreten. Beispiele hierfür sind die Fällung von Partikeln aus

Lösung. Wie unterscheiden sich Partikel voneinander, die entsprechend der Keimbildungs- und Wachstumstheorie oder entsprechend der Theorie des spinodalen Zerfalls entstanden sind? Unter welchen Bedingungen treten erste Keime von Gashydraten auf, die bei der Erdgasförderung und dem Erdgasabbau zu teuren und gefährlichen Komplikationen führen?

Genau diese Fragen, sei es der Hochdruckprozess zur Partikelbildung, der Hochdruck-Verbrennungsprozess (Diesel), die Gashydratbildung oder die Partikelbildung über den spinodalen Zerfall, stehen im Zentrum dieses durch das European Research Council (ERC) geförderten Projekts (Inhomogeneities 637654). Sie haben gemein, dass die mikroskaligen Inhomogenitäten die Eigenschaften des gebildeten Produkts beeinflussen. Seit Mai 2015 arbeiten neben Projektleiter Andreas Bräuer durchgängig drei wissenschaftliche Mitarbeitende an diesem Projekt. Das Projekt wird Ende April 2020 auslaufen und dann mit fast 2 Millionen Euro gefördert worden sein. In dem entsprechenden „Call“ lag die Erfolgsquote bei ca. 200 eingereichten Projektanträgen bei 3%. Die Gutachter wurden durch die von Andreas Bräuer entwickelte Messtechnik überzeugt, mit der man die mikroskaligen Inhomogenitäten detektieren kann, obwohl sie örtlich nicht auflösbar sind. Die Entwicklung von maßgeschneiderten optischen Messverfahren für den In-situ-Einsatz unter schwierigen realen Bedingungen ist die Expertise des Projektleiters. Durch die erhaltene Förderung konnten bislang mehr als zehn Beiträge in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht werden.

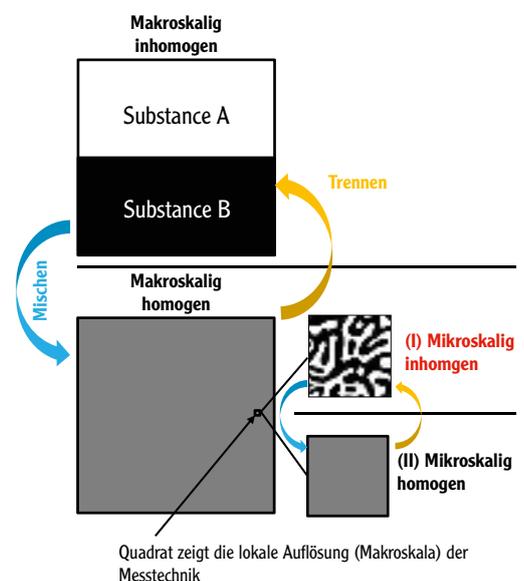


Abb. 1: Schematische Darstellung mikroskaliger Inhomogenitäten in einem makroskalig homogenen System

¹ Andreas Bräuer, Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik (ITUN), TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Str. 28, 09599 Freiberg, andreas.braeuer@tu-freiberg.de

Thermit®-Schweißen – ein traditionelles Verfahren im Aufbruch

Ingo Riehl¹, Ulrich Groß¹, Tobias Fieback¹, Jan Hantusch²

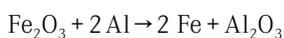
Einleitung

Das Thermit®-Schweißen, auch aluminothermisches Schweißen genannt, wurde von Hans Goldschmidt (1861–1923, dt. Chemiker) entwickelt und patentiert (Abb. 1).



Abb. 1: Hans Goldschmidt (1861–1923)

Es gehört zu den Gießschmelzverfahren und wird heute weltweit als Regelschweißverfahren zur Instandhaltung und für Reparaturschweißungen von Gleisen bei Voll- und Kommunalbahnen eingesetzt. Die stark exotherme Thermit®-Reaktion (-851,5 kJ/mol) ist eine Redox-Reaktion, bei der Eisen(III)-oxid durch Aluminium zu schmelzflüssigem Eisen reduziert wird.



Der grundlegende Verfahrensablauf kann wie folgt beschrieben werden:

1. Trocknung und Vorwärmung des Gießsystems
2. Thermit®-Reaktion im Tiegel zur Herstellung einer überhitzten Stahlschmelze
3. Auslauf der Stahlschmelze aus dem Tiegel und Einlauf in die Form
4. Aufschmelzen der Schienenflanken, Abkühlung und Erstarrung

1 TU Bergakademie Freiberg, Professur Technische Thermodynamik
2 Goldschmidt Thermit GmbH

Danach sind die beiden Schienenenden durch die erstarrte Schmelze stoffschlüssig miteinander verbunden. Abb. 2 verdeutlicht die einzelnen Schritte schematisch.

Motivation

Trotz der Tatsache, dass das grundlegende Prinzip der Thermit®-Schweißung seit ca. 100 Jahren unverändert ist, wird das Verfahren in vielen Details ständig weiterentwickelt und damit den Erfordernissen des heutigen Schienenverkehrs angepasst. Erfolgte dies in früheren Jahren weitgehend erfahrungsbasiert, sind in den letzten Jahrzehnten verstärkt wissenschaftliche Ansätze für die Entwicklungen maßgebend.

Im Jahr 2015 wurde mit dem Forschungsprojekt MOTEVAS [1] der Grundstein für eine wissenschaftlich fundierte Durchdringung des gesamten Verfahrens gelegt. Das Ziel bestand in der Entwicklung eines energieeffizienten und modularen Heizsystems zur thermischen Vorbehandlung von Gießsystemen für das aluminothermische Schweißen von Schienen, das die bestehenden Nachteile der gegenwärtigen Vorwärmtechnologie beseitigt.

Im Fokus der Untersuchungen stand ein energieeffizientes Brennersystem, welches den technischen Sauerstoff als Oxidationsmittel durch eingblasene Luft ersetzt. Damit sollte der Transport großvolumiger und schwerer Sauerstoffflaschen bis zum Einsatzort im Gleis entfallen. Die dadurch bei den Anwendungen sinkenden Kosten erhöhen zudem die Attraktivität des aluminothermischen Schweißens gegenüber anderen Schweißtechnologien.

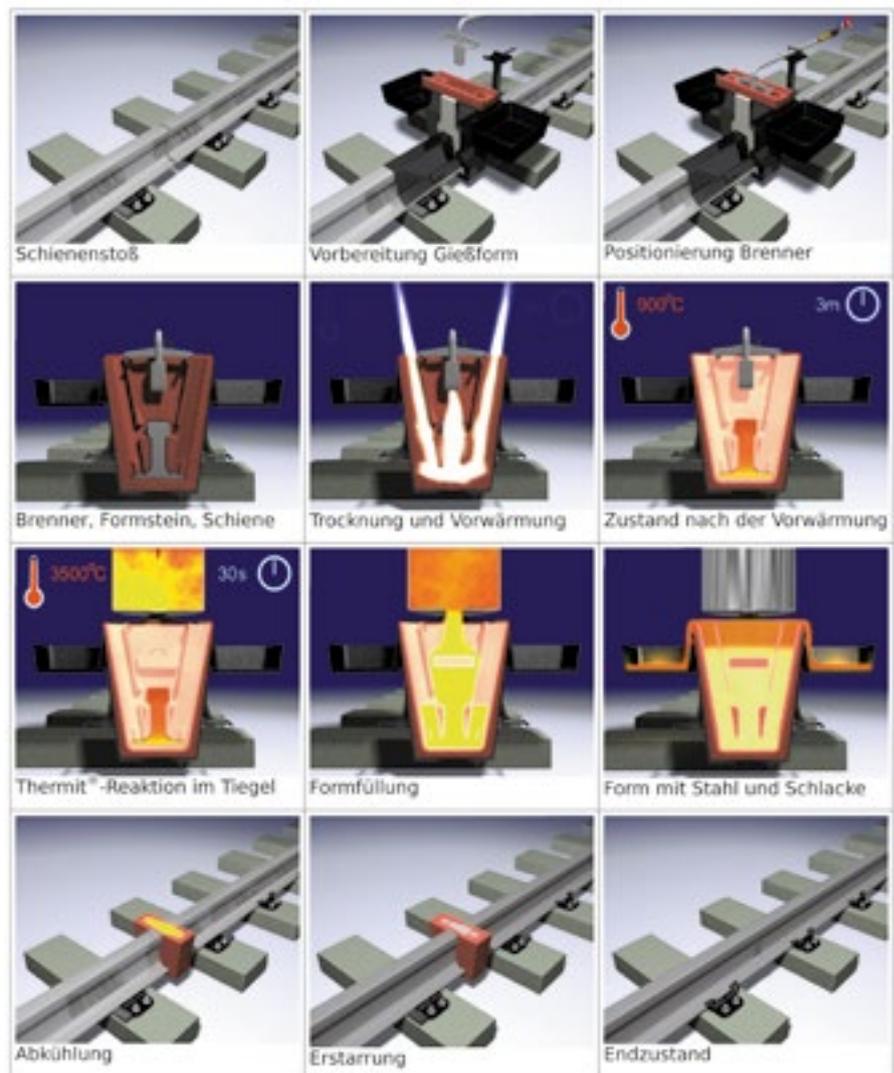


Abb. 2: Technologie des aluminothermischen Schweißens von Schienen, schematisch (Quelle: Goldschmidt-Thermit GmbH)

Die Schwerpunkte des Vorhabens umfassten thematisch die Substitution prozessbestimmender Wirkmedien, die Verbesserung der Qualität der Schweißung, die Erhöhung der Energieeffizienz, die Reduktion der Umweltbelastung, die Verringerung des Schweißequipments im Gleis, die Unabhängigkeit des Verfahrens von Witterungsverhältnissen und vom Bediener und die Erhöhung der Sicherheit und Stabilität des Schweißprozesses.

Das Forschungsprojekt MOTEVAS ist ein Kooperationsprojekt zwischen der Goldschmidt Thermit GmbH (GT) einerseits und der TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Professur Technische Thermodynamik (TTD) andererseits, und umfasst in zwei Teilvorhaben die Entwicklung von energieeffizienten Gerätemodulen und einer optimierten Wärmeleitung zum Vorwärmen (GT) sowie die Simulation und Optimierung des aluminothermischen Schweißverfahrens (TTD).

Während in einem Teilprojekt (TTD) die wissenschaftlichen Grundlagen der untersuchten Prozessschritte gelegt wurden, ermöglichte deren Anwendung die Entwicklung der neuen Module und Geräte sowie die Modifikation der Verfahrenstechnologie im anderen Teilprojekt (GT).

Modellbildung und Simulation

Zur Verbesserung des Verständnisses der Teilprozesse des Verfahrens und deren Quantifizierbarkeit wurden im Rahmen des MOTEVAS-Projektes und in einem weiteren Kooperationsprojekt Modelle entwickelt, implementiert, getestet, validiert und eingesetzt. Diese beschreiben die Trocknung des Gießspaltes, die Vorwärmung der Schiene und der Form, die Füllung der Form mit der Stahlschmelze, die Aufschmelzung der Schienenflanken, die Abkühlung und die Erstarrung der Schmelze (Abb. 2).

Die modellmäßige Beschreibung basiert auf den Transportgleichungen der Thermofluidynamik, ergänzt um Zustandsgleichungen, Stoffwertfunktionen und Modelle zur Beschreibung des Turbulenzeinflusses. Sie liefern die räumliche und zeitliche Verteilung aller berechneten Größen (Temperatur, Druck, Dichte, Geschwindigkeit, Zusammensetzung, Phasenanteil u.a.m.) sowie daraus ableitbarer Größen (Massen-, Impuls- und Wärmeströme, Energiemengen u.a.m.). Abhängig vom Anwendungsziel (Auslegung, Nachrechnung, Optimierung) entstanden Modelle mit unterschiedlichem

Abstraktionsgrad und unterschiedlicher Dimensionalität für stationäre und instationäre Teilprozesse.

Die Berechnungsgeometrie der Vorwärmung besteht aus Abgaskrümmen, Form, Schiene und Gießspalt mit Abgas. Sie ist zusammen mit einem exemplarischen Strömungs- und Temperaturfeld in Abb. 3 dargestellt.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Beschreibung des Phasenwechsels flüssig-fest während der Abkühlung/Erstarrung gelegt. Die hierfür entwickelten Modelle basieren auf dem CFD-Code *OpenFOAM* und dessen Mehrphasensolvern *interFoam* bzw. *compressibleInterFoam*, verwenden die Boussinesq-Näherung, die Enthalpie-Porositäts-Methode zur Modellierung des Aufschmelz- und Erstarrungsverhaltens und die Volume-of-Fluid-Methode [2] zur Behandlung der Phasen Stahl und Schlacke (Abb. 4).

Die Implementierung der entsprechenden Modelle erfolgte problembezogen (Vorwärmung, Formfüllung, Aufschmelzung/Erstarrung) mit dem kommerziellen CFD-Code Star-CCM+ [3] bzw. mit dem freien und quelloffenen CFD-Code OpenFOAM [4] sowie mit eigenen Codes [5].

Für die Validierung der entwickelten Modelle wurde das während der Vorwärmung räumlich und zeitlich veränderliche Temperaturfeld in den Schienen im Laborversuch und im Heißversuch (reale Schweißung) messtechnisch erfasst, ausgewertet und mit den Ergebnissen der Simulation verglichen. Zum Auslaufverhalten und zur Formfüllung wurden sowohl numerische Simulationen [6] als auch Laborversuche mit Wasser und Heißversuche mit schmelzflüssigem Stahl durchgeführt. Das Aufschmelz- und Erstarrungsverhalten im Gießspalt wurde im Laborversuch mit Wachs nachgebildet

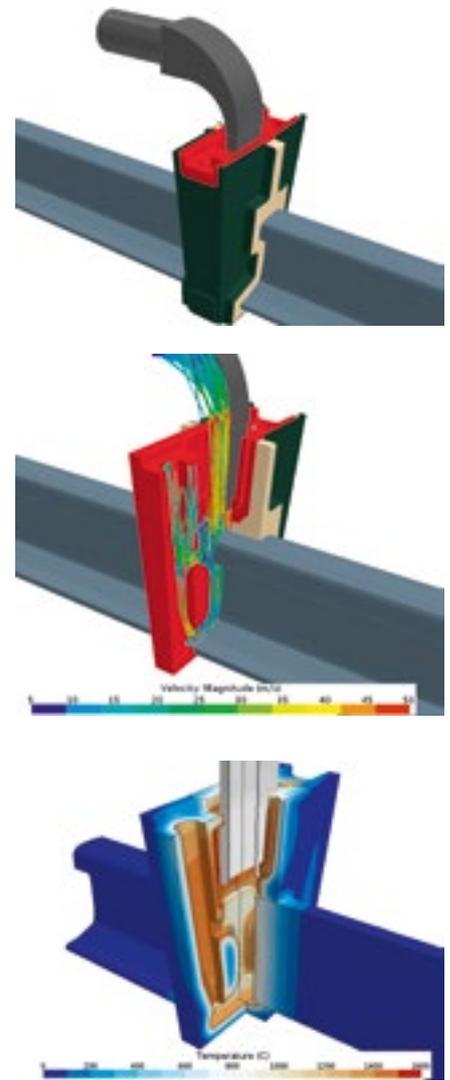


Abb. 3: Geometrie, Strömungs- und Temperaturfeld während der Trocknung und Vorwärmung, bestehend aus Abgaskrümmen, Form und Schiene

und im Heißversuch mit Stahl wiederholt. Die beobachteten Phasengrenzflächen sind in Abb. 5 dargestellt und zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment.

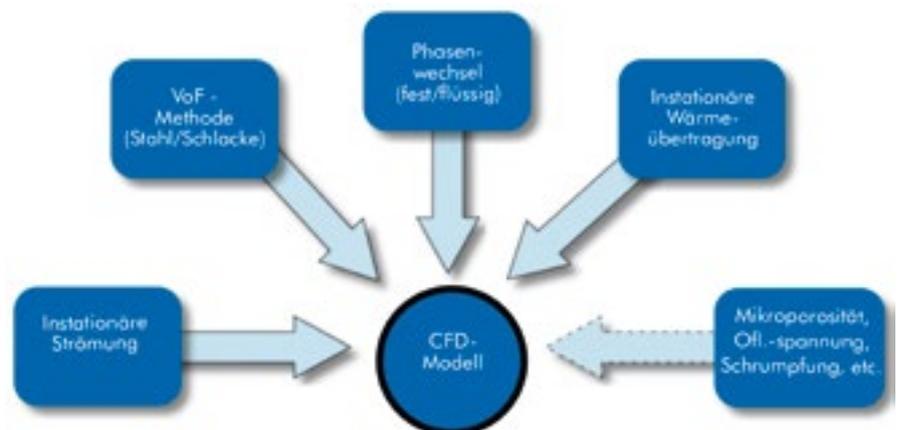


Abb. 4: Komponenten des entwickelten CFD-Modells zur Berechnung der Aufschmelzung und Erstarrung

Schließlich standen für die Validierung der Modelle zahlreiche Benchmark-Cases aus der Literatur zur Verfügung (Stefan-Problem, Schmelzen von Gallium, u.a.m.), die ergänzend zu den eigenen Experimenten herangezogen wurden. Die Ergebnisse zeigten durchgehend gute Übereinstimmungen zwischen Simulation und Experiment [7,8,9,10], wobei auftretende Abweichungen erklärbar sind.

Die Anwendung der Modelle zur Berechnung der zeitlichen Entwicklung der dreidimensionalen Phasengrenzfläche realer Schweißungen und deren Vergleich mit metallographischen Untersuchungen zeigen die *Abb. 6 und 7*.

Zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Ermöglichung des Einsatzes bei tiefen Temperaturen wurden Modelle entwickelt, um u.a. Brennerkonzepte mit flammennaher Flüssiggasdirektverdampfung und mit Abgasrekuperation zur Vorwärmung der Verbrennungsluft zu untersuchen. Insbesondere für die Wärmeübertragung Abgas-Luft zur Vorwärmung der Verbrennungsluft wurde ein Modell zur Berechnung und Optimierung eines innen und außen längsberippten Doppelrohr-Wärmeübertragers entwickelt und angewendet. Basierend auf diesen Modellen war der Vergleich verschiedener Brennerkonzepte möglich, so dass schließlich ein neuartiger Abgasreku-perator ausgelegt und getestet werden konnte (*Abb. 8*).

Entwicklung neuer Module und Geräte

Die Entwicklung eines energieeffizienten und modularen Heizsystems zur thermischen Vorbehandlung von Gießsystemen für das aluminothermische Schweißen von Schienen verfolgte das Ziel, die bestehenden Nachteile der gegenwärtigen Vorwärmtechnologie zu beseitigen. Dies betrifft das Absinken der Verdampfungsrate bei niedrigen Außentemperaturen und hohen Entnahmeraten, die händische Einstellung einer neutralen Flamme durch den Schweißer (subjektive Einflussgröße), die Sicherung der Schweißqualität durch Prozessbetrieb mit Brenngasüberschuss, die Zuführung der komplexen, gewichtsin-sensiven Ausrüstung zu den Einsatzstellen im Gleis u.a.m.

Zur Verbesserung des bestehenden Standes der Technik bestand das Ziel des Projekts in der Entwicklung eines modularen, prozessoptimierten Heizsystems zur Vorwärmung und Trocknung des Gießsystems. Zur Erreichung dieses Zieles wurden

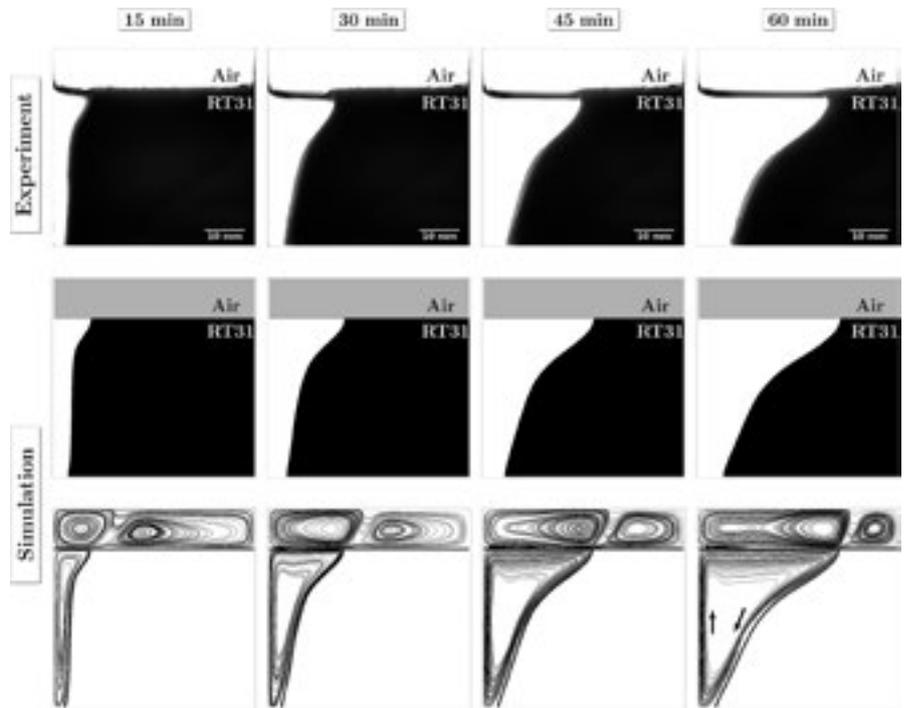


Abb. 5: Aufschmelzen von Wachs: Vergleich von Experiment (oben) und Simulation (unten) nach [8]

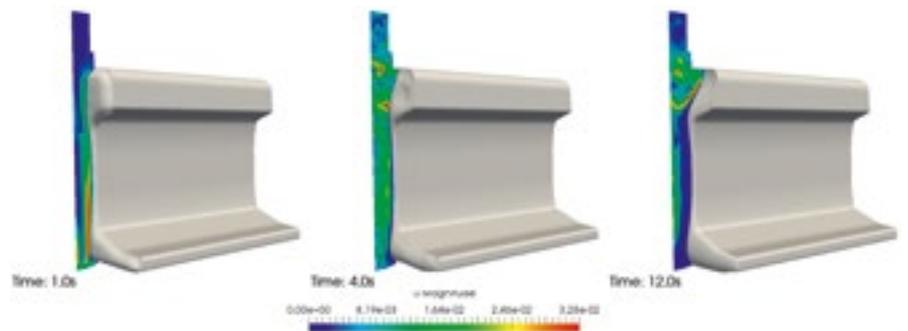


Abb. 6: Zeitliche Entwicklung der dreidimensionalen Phasengrenzfläche einer Schweißung

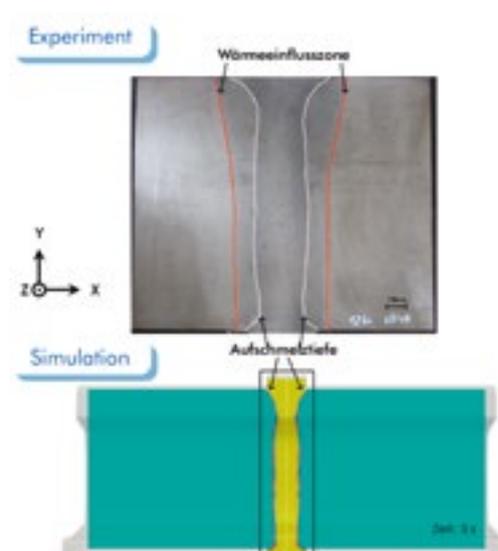


Abb. 7: Aufschmelztiefe im Experiment und in der Simulation



Abb. 8: Neuer Abgasreku-perator zur Luftvorwärmung mit versetzter Längsberippung jeweils auf der Innen- und Außenseite

verschieden Brennerkonzepte hinsichtlich ihrer Eignung analysiert und erprobt.

Ausgehend von der Idee, den Brenner direkt mit Flüssiggas zu betreiben, um die Entnahmemengen von Propan aus der Gasflasche beliebig groß gestalten zu können, wurden verschiedene Funktionsmuster nach diesem Prinzip gebaut und getestet (Abb. 9 und 10).



Abb. 9: Vorwärmung mit klassischem Brenner (Sauerstoff-Propan)



Abb. 10: Prototyp eines Brenners mit Flüssiggasverdampfung nach dem Venturi-Prinzip

In den Versuchen stellte sich heraus, dass die Regelung eines Brenners mit Flüssiggasverdampfung nur schwer beherrschbar ist und die gewünschte Leistung sich mit Hilfe des Venturi-Prinzip-Brenners nicht erreichen ließ. Auf eine Flüssiggasverdampfung wurde deshalb verzichtet, da eine einfache technische Lösung nicht vorhanden war. Es wurde folglich ein neues Konzept auf Basis eines Industriebrenners zum Heizen von Industrieöfen entwickelt.

Nach der Konzipierung, der Entwicklung von Detaillösungen und dem Bau eines Versuchsmoduls aus den Funktionskomponenten erfolgten am neuen Brennersystem Parameteruntersuchungen im Freibrand. Der Erprobung der Komponenten schloss sich die Konzeptionierung und Untersuchung des Gesamtmoduls Heizsystem bei variierten Prozessparametern unter Laborbedingungen und unmittelbar folgend bei realen Schweißungen an.

Die Auswertung der Schweißungen zeigte sehr gute Ergebnisse bezüglich der Schweißqualität, der Oberflächengüte der Schweißwulst und der benötigten Vorwärmzeiten. Die in der Europäischen Norm prEN 14730 vorgeschriebenen Qualitätsparameter für eine Schweißung, die für eine Zulassung eines Schweißverfahrens zu erfüllen sind, wurden mit dem Funktionsmuster erreicht.

Nach einer Überarbeitung der Komponenten der Versuchsmodelle erfolgte die Einbindung in ein prozessnahe Funktionsmodul, die Festlegung der baulichen, funktionellen, energetischen und wirtschaftlichen Grenzwerte, die Konzipierung und Entwicklung der Modulsteuerung und Regelung, die Entwicklung von technischen Lösungen zur Datenübergabe, -analyse, und -anwendung im Gesamtsystem. Der per Einknopfbedienung zu startende Brenner wird dann entsprechend der technologischen Vorgaben geregelt und schaltet sich nach dem Ende der Vorwärmung automatisch ab. Während des Brennerbetriebes werden alle technischen Daten aufgezeichnet und für spätere Auswertungen automatisch gesichert.

Die Entwicklung und Erprobung eines neuen Einströmsystems (Abb. 10) verbessert im Gießspalt die Strömung und damit auch den Wärmeübergang vom Abgas an die Schiene, reduziert die am Strahlrand angesaugte Kaltluft und vermeidet weitestgehend Fehlpositionierungen.

Das gesamte Heizsystem ist modular aufgebaut und automatisiert. Es verfügt über eine interne Steuerung und eine vollständige Aufzeichnung aller Messgrößen. Diese kann (bis auf den direkten Start) über eine App vom Mobiltelefon aus erfolgen. Damit sind die gestellten Forderungen nach einer prozessstabilen Schweißung, die weitgehend unabhängig von Umgebungstemperaturen, allgemeinen



Abb. 11: Schweißversuche und Temperaturverteilungsmessungen mit dem Modul-Prototypen 1

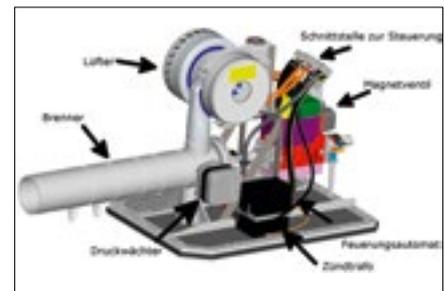


Abb. 12: Neues Brennermodul – Basisansicht der Komponenten

Witterungsbedingungen und händischen Einflüssen ist, erreicht.

Nach einer Überarbeitung der Anordnung und der Parameter aller Komponenten des Heizmoduls wurde die finale Version des neuen Heizsystems SMARTWELDJET gefertigt und letzten Tests unterzogen (Abb. 12 und 13).



Abb. 13: Neues Brennermodul – Gesamtansicht (li.) und Einsatz im Gleis (re.)



Der SMARTWELDJET besitzt eine Blue-tooth-Schnittstelle, über die das Gerät mit einer Android-App kommunizieren kann. Über die SMARTWELDAPP kann das Brennermodul mit den in einer Datenbank befindlichen Schweißparametern programmiert werden. Weiterhin können baustellenseitige Daten erfasst, mit den Schweißparametern kombiniert und lokal oder via Cloud dokumentiert werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Zusammenführung von wissenschaftlicher Durchdringung und technologischer Entwicklung konnte im Projekt MOTEVAS das geplante neuartige Heizmodul entwickelt, erprobt und in die Serie überführt werden. Schwerpunkte der erreichten Projektergebnisse sind u. a. die Nachrüstbarkeit des vorhandenen Schweißequipments bei den Kunden, der Wegfall von technischem Sauerstoff, der Einsatz verschiedener Brenngase, eine prozessnotwendige Mengendosierung der Gase durch eine vom Bediener

unabhängige, automatische Brennerregelung und der Einsatz eines geschlossenen, modularen Vorwärmesystems.

Das Vorwärmen mit dem neuen Brennermodul wurde bei bereits nach Europäischer Norm zugelassenen Schweißverfahren zertifiziert. Die Markteinführung hat im Jahre 2018 begonnen und der SMARTWELDJET befindet sich jetzt bei zahlreichen Bahnen weltweit in der Einsatzprüfung.

Literatur

- 1 BMWi-Verbundvorhaben MOTEVAS: Entwicklung eines energieeffizienten und modularen Heizsystems zur thermischen Vorbehandlung von Gießsystemen für das aluminothermische Schweißen von Schienen. Förderkennzeichen: 03ET1192
- 2 C. Voller, V. Prakash: A fixed grid numerical modelling methodology for convection-diffusion mushy region phase-change problems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 30(8):1709-1719, 1987
- 3 www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/simcenter/STAR-CCM.html
- 4 www.openfoam.com

- 5 S. Manzke, I. Riehl, T. Fieback, U. Gross: A Reduced Numerical Model for the Thermit Rail Welding Process. *Heat Transfer Engineering* 39 (2018) 1296-1307
- 6 Sebastian Weiß: Early Stages of the Aluminothermic Process: Insights into Separation and Mould Filling. Dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2019
- 7 R. G. Kewalramani, I. Riehl, T. Fieback: Numerische Untersuchung der Wärmeübertragung und Erstarrung der Schmelze im Thermit®-Schweißverfahren mittels OpenFOAM. *Thermodynamik-Kolloquium 2017*, 27.-29. September 2017, Dresden (Poster)
- 8 R. Kewalramani, I. Riehl, T. Fieback: CFD-Simulation des Thermit®-Schweißverfahrens – Abkühlung und Erstarrung der Schmelze. *Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppen Mehrphasenströmungen, Wärme- und Stoffübertragung, CFD, HTT, AuW, KRI und PMT*, 6.-9. März 2018, Bremen
- 9 R. Kewalramani, I. Riehl, T. Fieback: Modellierung und Simulation des Erstarrungsvorganges beim Thermit®-Schweißen von Schienen. *Thermodynamik-Kolloquium 2018*, 26.-28. September 2018, Kassel
- 10 R. G. Kewalramani, S. Pose, I. Riehl, and T. Fieback: Investigation of the solid-liquid phase change in the presence of gas phase: Numerical modeling and validation. In: *Proceedings of the 5th World Congress on Mechanical, Chemical and Material Engineering*, 2019

Harmonische Prinzipien elementarer Kristalle

Von der atomistischen Wechselwirkung zur fundamentalen Symmetrie

Matthias Zschornak¹, Theresa Lemser², Tobias Tauscher³ und Dirk C. Meyer^{1,2}

Sinnliche Empfindungen bei der Betrachtung von Kristallen legen den Gedanken nahe, dass die Kategorie der Symmetrie jener der Harmonie im Kunstbereich vergleichbar oder mit dieser verwandt sein könnte. Eine Suche nach gemeinsamen Grundprinzipien führt tatsächlich auf wesentliche Schnittmengen, deren Kenntnis auch praktisch nutzbare Schlüsse ermöglicht.

Diese Zusammenhänge werden, untermauert mit Rechnungen zur Stabilität bestimmter struktureller Motive bis hin zu elementaren Kristallstrukturen, in einem aktuellen Artikel⁴ im Fachjournal „Symmetry“ diskutiert und sind im Folgenden – ins Deutsche übersetzt – auszugsweise dargestellt.

Unter Harmonie wird allgemein ein Einklang oder auch Ebenmaß verstanden. Dabei kommt häufig dem Zusammenhang des Äußeren mit dem Inneren ein besonderer Stellenwert zu. Harmonisches

Empfinden wird durch das Erleben einer Gesamtheit als in sich ausgeglichene Einheit hervorgerufen, wobei Einfachheit und Leichtigkeit als waltende Grundprinzipien kennzeichnend sind, was zugleich auf die Abwesenheit innerer Konflikte hinweist. Harmonischer Einklang innerhalb einer Gesamtheit von Objekten, Tönen, erkennbarer Bauprinzipien und dergleichen kann in der sinnlichen Wahrnehmung angenehme Gefühle erwecken und das Empfinden ästhetischer Schönheit auslösen. Es ist davon auszugehen, dass das Verhältnis der Struktur des Reizangebots zu jener des physiologischen Bewertungsmechanismus dabei von zentraler Bedeutung ist. Aufgrund der Kenntnis der Grundstrukturen, die ästhetisches Empfinden auslösen, lassen sich Objekte unabhängig von der konkreten Sinneswahrnehmung hinsichtlich dieser Eigenschaft analysieren bzw. auch konstruieren. Ein Beispiel aus dem Bereich der Geometrie ist der Goldene Schnitt; für als harmonisch empfundene Klangwahrnehmungen liefert die Musiktheorie die Grundlage. Offensichtlich spielt auch eine Balance zwischen Einfachheit und Komplexität bei den als

schön empfundenen Objekten eine Rolle; das Gehirn soll zum einen zu einer Musterbildung stimuliert, zum anderen aber nicht überfordert werden. Die Verknüpfung möglicher universeller Gesetzmäßigkeiten als Auslöser ästhetischen Empfindens mit neurobiologischen Prozessen ist Gegenstand des jungen Fachgebiets der Neuroästhetik. Eine Schwierigkeit besteht allgemein in der Überlagerung strukturbedingter Wahrnehmung durch soziale oder kulturelle Prägungen und sonstige, durch Erfahrungen bedingte Einflüsse. Symmetrie, im geometrischen Sinne die Eigenschaft der Selbstabbildbarkeit eines Objekts oder der uneindeutigen Abbildbarkeit mehrerer Objekte aufeinander, wird im Zusammenhang mit Harmonien als Teil eines umfassenden Grundprinzips angesehen, wobei besondere Empfindungen durch auch nur geringfügige Abweichungen von strenger Vollkommenheit ausgelöst werden können. Für beide Kategorien, Harmonie und Symmetrie, ist die Bezugnahme auf Vergleichsobjekte bzw. die Möglichkeit des Anstellens von Vergleichen des (geometrisch) Äußeren mit dem Inneren eines Objekts charakteristisch.

1 Institut für Experimentelle Physik, Leipziger Str. 23, 09599 Freiberg

2 Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS, Leipziger Str. 23, 09599 Freiberg

3 Cinector GmbH, Leipziger Straße 25, 09648 Mittweida

4 Zschornak *et al.*: *Symmetry* 10, 228 (2018)

Hierfür sind das Zusammenfügen einzelner Töne zu Akkorden nach Maßgabe der Harmonielehre sowie die Bezugnahme des Äußeren auf innere Teilungsverhältnisse beim Goldenen Schnitt Beispiele: *Das Äußere verhält sich zu einem größeren Teil des Inneren wie die inneren Teile zueinander.*

Historischer Bezug

Seit Jahrtausenden – die ersten Aufzeichnungen gehen zurück bis zum Philosophen Thales von Milet der griechischen Antike – hat der Mensch sich die Frage gestellt: „Woraus ist das Universum gemacht?“. In derselben Ära behauptete Demokrit, ein Schüler des Leukippos, die Existenz von kleinsten, unteilbaren Materieeinheiten, nämlich von Atomen⁵. Im Allgemeinen beschränkt die Abkühlung von Materie bis hinab in den festen Zustand die Bewegung dieser Atome auf das Umfeld fester Positionen im Ensemble. Abhängig von der chemischen Zusammensetzung bilden die weitaus meisten Ensembles regelmäßige Muster mit periodischer Fernordnung aus: Kristalle. Die Vielfalt der Kristallstrukturen ist überwältigend, und sogar in einem Ensemble von definierter chemischer Zusammensetzung können verschiedene Modifikationen oder Phasen gleichzeitig bestehen. Aber was veranlasst die Atome, sich gemäß bestimmten Strukturmustern anzuordnen und warum sind manche stabiler als andere? Um die Wechselwirkung von Atomen zu verstehen ist es notwendig, sich auf die Dimensionen der Teilchen in den Atomen zu fokussieren: den positiv geladenen Kern, bestehend aus Protonen und Neutronen, und die negativ geladenen Elektronen in dessen Peripherie. Da der Kern vier bis fünf Größenordnungen kleiner ist als seine Elektronenwolke, hat dessen Struktur meist nur geringfügigen Einfluss auf die Bildung von Kristallen. Demgegenüber regelt die Elektronenstruktur maßgeblich die Distanzen und die Koordination von Atomen in der Kristallstruktur und kann deshalb in dieser Hinsicht als fundamental angesehen werden.

Schon im alten Griechenland zur Zeit der Philosophen Pythagoras und Platon standen die fünf *corpora regularia*, die regulären Polyeder Tetraeder, Oktaeder, Würfel, Dodekaeder und Ikosaeder für die Harmonie des Universums (Abb. 1). Im 4. Jh. v. Chr. beschrieb sie Platon, nach dem die Körper benannt sind, in seinem



Abb. 1: Platonische Körper mit zunehmender Symmetrie, d. h. Anzahl an Symmetrieelementen: der Tetraeder, der Oktaeder, der Würfel, der Dodekaeder und der Ikosaeder

Werk „Timaios“. Kurze Zeit später, im 3. Jh. v. Chr., versuchte gemäß den Hypothesen des Proclus der griechische Mathematiker Euklid mit seiner Abhandlung „Die Elemente“ – insbesondere im 13. Buch – die Aufstellung einer umfassenden geometrischen Theorie der Platonischen Körper, basierend auf dem Goldenen Schnitt⁶. Etwa 1.000 Jahre später greift der Naturphilosoph Kepler die Theorie der Platonischen Körper in seinen Büchern „Mysterium Cosmographicum“ und „Harmonice mundi“ für sein erstes, später aber verworfenes Modell des Sonnensystems und die Beschreibung der Weltharmonie im Sinne musikalischer Proportionen auf. Im Jahr 1884 verfasst der deutsche Mathematiker Klein sein Buch „Vorlesungen über das Ikosaeder“ und stellt darin diesen höchstsymmetrischen Vertreter der Platonischen Körper als Fundament der Geometrie und verwandter mathematischer Bereiche – bis hin zur Gruppentheorie und zur Theorie von Differentialgleichungen – heraus. In jüngster Zeit erhielten die Wissenschaftler Curl, Kroto und Smalley für die Entdeckung der Fullerene C₆₀ und der israelische Physiker Shechtman für die Entdeckung der Quasikristalle – beides Strukturen mit ikosaedrischer Symmetrie – in den Jahren 1996 bzw. 2011 die Nobelpreise für Chemie.

Symmetriebetrachtungen

Als Symmetrie wird im Allgemeinen die Eigenschaft eines Systems bezeichnet, sich durch bestimmte Transformation nicht zu ändern. Jede Symmetrie erniedrigt dabei die zur vollständigen Beschreibung des Systems notwendige Informationsmenge. Im Falle einer symmetrischen Struktur kommt ein unendlich ausgedehnter Kristall nach Anwendung einer solchen Transformation mit sich selbst zur Deckung. Das gilt im dreidimensionalen Raum zu allererst für die Translationen, die – bis auf die Ausnahme bei Quasikristallen – die Struktureinheiten in drei Dimensionen

regelmäßig im Raum reproduzieren. Die Gesamtheit der Translationen legt das Translationsgitter einer Kristallstruktur fest. Ausgehend von einem willkürlich gewählten Punkt dieses Gitters findet sich eine unendlich große Menge von paarweise nichtparallelen Translationstripeln bzw. Gittervektoren, wobei es aufgrund der Redundanz innerhalb der Volumina sinnvoll ist, sich auf möglichst kleine Volumeneinheiten zu beschränken. Neben den Translationen spiegeln die Winkel zwischen zwei Gittervektoren weitere Symmetrien des Gitters wider. Für die Winkel 60° und 90° können – bei gleicher Länge der Gittervektoren – Drehungen das Gitter auf sich selbst abbilden. Diese Symmetrien verkleinern das für die vollständige Strukturinformation notwendige Volumen zusätzlich und führen zu sieben möglichen Gittertypen bzw. Koordinatensystemen für die Beschreibung sämtlicher Kristalle. Dabei ist das Prinzip der sichtbaren Symmetrie dieser Winkel um Redundanz zu vermeiden stärker als die damit verbundene Volumenvergrößerung der Translationszelle, was sich in zusätzlichen Gitterpunkten innerhalb der Zelle, also in Zentrierungen, äußert und zu den 14 Bravaisgittern führt. Für alle möglichen Symmetriekombinationen im 3D-Raum stellen die sogenannten 230 Raumgruppen den kompletten Satz zusammenfassend dar.

Dieser übliche Ansatzpunkt zur Symmetriebeschreibung von Kristallstrukturen spiegelt in einzigartiger Weise die Beschreibung in der Natur existierender Kristalle wider. Er sagt aber nur wenig über die Symmetrieverhältnisse, die Balance und die Stabilität während der Entstehung des Kristalls aus. Hierfür wäre es günstiger, die Sichtweise im Sinne eines *Bottom-up*-Ansatzes auf die kleinsten Bausteine und Atomkonfigurationen zu beziehen, die Schritt für Schritt die Translationen aufbauen und letztendlich den raumfüllenden Kristall bilden. Dabei spielen, wie im letzten Abschnitt abgeleitet, insbesondere die platonischen Körper als Vertreter höchster Symmetrie, also mit größtmöglicher Anzahl von Transformationsinvarianzen, eine

5 J. Olmsted and G. M. Williams, Chemistry: the molecular science, 2nd ed., ISBN 978-0-8151-8450-8 (Jones & Bartlett Learning, 1997)

6 A. Stakhov and S. Aranson, The Mathematics of Harmony and Hilbert's Fourth Problem, ISBN 978-3-659-52803-3 (LAP LAMPERT Academic Publishing 2014)

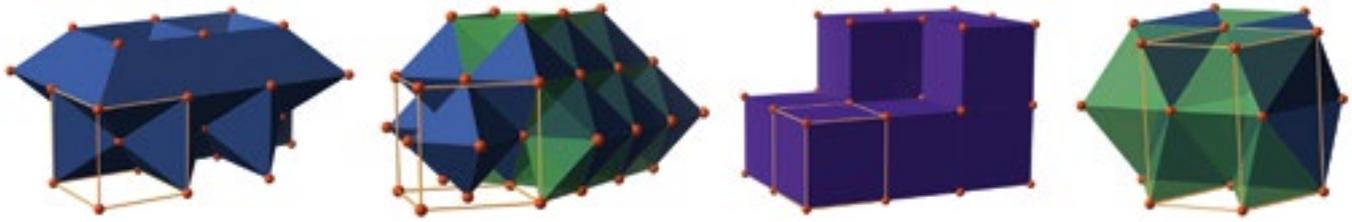


Abb. 2: Häufige strukturelle Symmetrien in dreidimensionalen periodischen Kristallen einer Atomsorte: kubisch-raumzentriert (bcc), kubisch-flächenzentriert (fcc), einfach kubisch (sc) und hexagonal dichteste Kugelpackung (hcp). Die Raumfüllung erfolgt mit verzerrten Oktaedern (blau) für bcc, einer Kombination aus Oktaedern und Tetraedern (grün) für fcc und hcp und Würfeln (violett) für sc

zentrale Rolle. Die fünf Polyeder können in drei Symmetriegruppen eingeteilt werden: in die Tetraedergruppe mit dem Tetraeder, die Hexaedergruppe mit Würfel und dualem Oktaeder sowie die Ikosaedergruppe mit Dodekaeder und dualem Ikosaeder. Nur die ersten beiden Gruppen können hierbei raumausfüllend angeordnet werden und treten, wie für die Elementstrukturen beschrieben, in dreidimensional periodischen Kristallen einer Atomsorte auf (Abb. 2). Im Allgemeinen bedeutet eine hohe Symmetrie einen hohen Grad an Degeneration für die Atome in der Struktur. Die hochsymmetrische strukturelle Koordination erlaubt somit ein Maximum an interatomaren Gleichgewichtsabständen und begünstigt damit energetisch den Grundzustand, wie im folgenden Abschnitt erläutert.

Atomistischer Kristall-Wachstumsprozess

Die folgende Betrachtung zum Wachstum eines kristallinen Festkörpers basiert auf der Annahme, dass alle Konstituenten gleichartige Atome sind, die schrittweise – also Atom um Atom – zu einem Cluster zusammengesetzt werden, ähnlich einem evolutionären Algorithmus zur Strukturvorhersage. Ursache für den Zusammenhalt des Clusters ist allein die abstandsabhängige Zwei-Teilchen-Wechselwirkung mit einem stabilen Minimum, z. B. gemäß einem Morsepotenzial-ähnlichen Verlauf, und insgesamt die Minimierung der Bindungsenergie des gesamten Clusters als Summe aller Zwei-Teilchen-Wechselwirkungen. Neben dem Gleichgewichtsabstand a ist vor allem die Abhängigkeit der Wechselwirkungsenergien bei gewissen geometriebedingten Abstandsverhältnissen und damit die Entwicklung der Bindungsenergie bei Abweichungen vom Gleichgewichtsabstand für die Einstellung der kleinsten Baueinheiten von Bedeutung.

Der Ausgangspunkt ist zunächst ein erstes Atom, das als 0-dimensionaler Punkt betrachtet werden kann und

isoliert gesehen noch keiner Wechselwirkung unterliegt. Kommt ein zweites Atom in den Verbund, so ordnet es sich im Gleichgewichtsabstand a um das erste Atom an. Aus dem dreidimensionalen Raum betrachtet, erfüllt dabei jeder Punkt einer Kugeloberfläche die Bedingung niedrigster Gesamtenergie. Durch Festlegen einer Position wird die erste Dimension aufgespannt und es bildet sich eine Hantel aus, die die Bindung beider Atome vermittelt. Wird ein drittes Atom hinzugefügt, hat dieses für eine energiebegünstigte Positionierung die Freiheit einer Kreisbahn, die äquatorial um die Achse der Pole der ersten beiden Atome verläuft. Es wird eine Gesamtenergie von drei entarteten Bindungen gemäß dem Gleichgewichtsabstand des Zwei-Teilchen-Potenzials realisiert. Eine gleichseitige Dreiecksfläche bildet sich nach der Positionierung heraus, die die zweite Raumdimension aufspannt. Das folgende vierte Atom kann analog die Bedingung minimaler Energie erfüllen, indem es sich an eine der beiden Tetraeder-Positionen entlang der orthogonalen Schwerpunktsachse des gleichseitigen Dreiecks setzt und dabei drei weitere, also insgesamt sechs Zwei-Teilchen-Wechselwirkungen im Gleichgewichtsabstand einstellt. Der dadurch gebildete Tetraeder ist der erste in drei Dimensionen raumausfüllende Körper und besitzt keine Inversionssymmetrie. Durch ihn wird eine erste Packungsdichte für den makroskopischen Kristall gegeben.

Für das fünfte Atom ergibt sich in dieser Reihe das erste Mal das Problem, dass es durch die Begrenztheit des 3D-Raumes nicht möglich ist, alle neuen Bindungen zu diesem fünften Atom im Gleichgewichtsabstand zu bilden. Die Entartung für alle Bindungen im stabilsten Grundzustand wird aufgehoben. Es muss zum ersten Mal ein Kompromiss für die Positionierung gefunden werden, der nun vom abstandsabhängigen Verlauf des Wechselwirkungspotenzials abhängt.

Dabei sind zwei Fälle denkbar: Zum einen kann sich das fünfte Atom an die zweite Tetraederposition des ursprünglichen gleichseitigen Dreiecks setzen, was drei weitere Gleichgewichtsbindungen zur Folge hat. In dieser Konfiguration gibt es eine einzige lange Bindung ($\sqrt{2}\sqrt{3}\cdot 2a \approx 1,63a$) zwischen den beiden Tetraederpitzen bzw. den Spitzen des entstandenen Di- oder Doppeltetraeders, die die Balance der Atombindungen beeinflusst. Eine Verkürzung dieser Bindung führt dabei zwangsläufig zu einer Verkürzung der sechs Gleichgewichtsbindungen zu den Spitzen oder zu einer Verlängerung der drei zentralen Gleichgewichtsbindungen (Abb. 3). Energetisch betrachtet steht das hohe Potenzialgefälle entsprechend dem langen Abstand (Energiegewinn) dem Potenzialanstieg durch die Verkürzung der sechs Gleichgewichtsbindungen entgegen (Energieverlust). Zum anderen kann das fünfte Atom auch zu einer der Flächen des Tetraeders hinzugefügt werden und so eine quadratische Pyramide bilden. Diese Konfiguration beinhaltet die Möglichkeit für zwei weitere Gleichgewichtsabstände und zwei zusätzliche längere Abstände ($\sqrt{2}a \approx 1,41a$, Diagonalen des Quadrats). Je nach Verlauf des Zweiteilchen-Wechselwirkungspotenzials kann sowohl die Pyramiden- als auch die Konfiguration des Doppeltetraeders energetisch begünstigt sein.

Wird dem Cluster ein sechstes Atom hinzugefügt, so kann dieses das Tetraederprinzip fortsetzen und sich an eine Seite des Doppeltetraeders anfügen. Drei neue Gleichgewichtsbindungen und zwei weitere längere Bindungen spielen nun zusätzlich in die Gesamtenergiebilanz. Wird die Pyramidenkonfiguration beibehalten, so entsteht ein Oktaeder, ein weiterer hochsymmetrischer platonischer Körper mit zwölf Gleichgewichtsabständen und drei mäßig längeren Bindungen ($\sqrt{2}a \approx 1,41a$) oder seine bcc-Variante mit acht Gleichgewichtsabständen, fünf mäßig

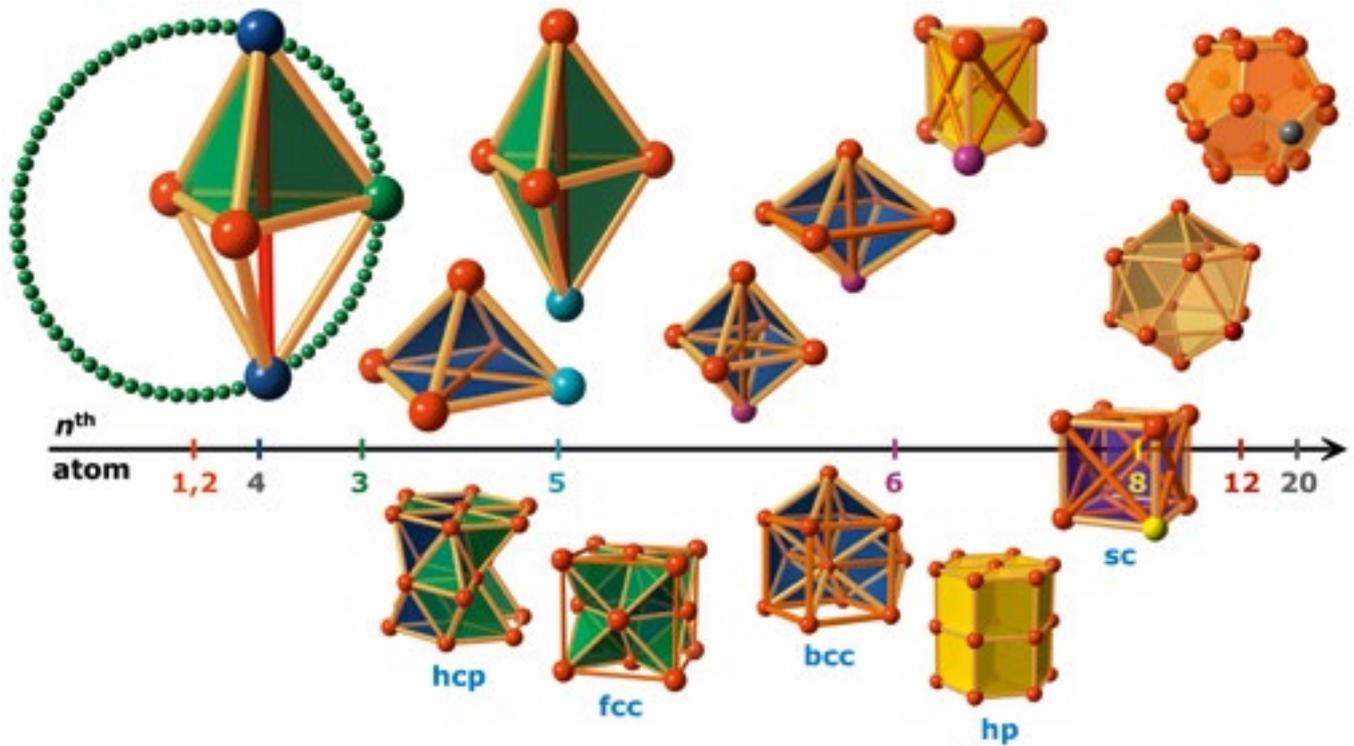


Abb. 3: Atomistischer Kristallwachstumsprozess für die ersten paar Atome mit strukturellen Motiven (oben) und abgeleiteten Kristallsymmetrien (unten). Aufgrund ihrer hohen Symmetrie weisen die Platonischen Körper in Bezug auf die Gesamtenergie die stabilsten Clustermotive mit einer maximalen Anzahl von Paarpotenzialgleichgewichten (beigefarbene Stäbchen) und einem Minimum an energetisch weniger stabilen Abständen (orangefarbene, rote Stäbchen) auf. Nach dem ersten Atompaar (orange) können das dritte Atom (grün) und das vierte Atom (dunkelblau) Gleichgewichtsabstände ohne Einschränkung erfüllen und das Tetraedermotiv (opak grün) bilden. Beschränkungen des 3D-Raums führen zu Kompromissen für das fünfte Atom (hellblau), das die Pyramide oder das Ditetraeder entsprechend dem spezifischen Paarpotenzial auswählt. Ebenso kann das sechste Atom (violett) das reguläre Oktaeder (blau), seine bcc-Variante oder das Prisma (opak gelb) bevorzugen. Weitere strukturelle Transformationen können am Würfel (opak violett) am 8. Atom (gelb), am Ikosaeder (beige), am 12. Atom (dunkelrot) und am Dodekaeder (orange) am 20. Atom (grau) auftreten. Die hochsymmetrischen Kristallsymmetrien für Elementstrukturen: hcp, fcc, bcc, hp und sc werden direkt oder als Kombination der vorgestellten Motive gebildet.

längeren Bindungen und zwei längeren Bindungen, Abb. 3). Das Prisma ist eine weitere nicht-platonische Möglichkeit, das sechste Atom zu platzieren. Mit nur neun Gleichgewichtsabständen und sechs mäßig längeren Bindungen auf den Quadranten hat es immer eine etwas höhere Gesamtenergie als der Oktaeder. Durch die geringe Zahl an gemäßigt längeren Bindungen ist hier auch eine Phasentransformation aus einer ursprünglichen Tetraederkonfiguration denkbar, wiederum abhängig vom spezifischen Paarpotenzial. Weitere Symmetrietransformationen können für alle anderen platonischen Körper auftreten, also zum Würfel bei acht Atomen, zum Dodekaeder bei zwölf Atomen und zum Ikosaeder bei 20 Atomen. Der Dodekaeder oder der Ikosaeder ist noch stabiler, wenn er mit einem zusätzlichen Atom in der Mitte gefüllt ist.

Zusammenfassend gesagt ist diese Betrachtung vom Prinzip der maximalen Anzahl an Gleichgewichtsabständen bestimmt. Dieses bedingt ein hohes Maß an Packungsdichte. Durch die Begrenztheit des dreidimensionalen Raums sind die geometrischen Anordnungsmöglichkeiten der Atome im Kristallwachstums-

prozess beschränkt. Das Prinzip führt zu kleinsten hochsymmetrischen Motiven bzw. Baueinheiten, darunter die Platonischen Körper, die sich im Kristall bis auf die makroskopische Skala fortsetzen. Im Ergebnis können so sehr gut die durch Elemente ausgebildeten Kristallstrukturen beschrieben werden (ca. 83%). Aus der Kombination von tetraedrischer und oktaedrischer Konfiguration entsteht ein maximal ausgefüllter Kristall mit hexagonal dichtester Kugelpackung (hcp) und Stapelfolge ABAB oder flächenzentrierter kubischer Symmetrie (fcc) mit Stapelfolge ABCABC. Die Grundzustandssymmetrie und die entsprechende natürliche Stapelfolge können sich bereits aus der strukturellen Entscheidung des fünften Atoms über die hexagonale Anisotropie ergeben, die auf der definierten Richtung der Doppeltetraederachse oder der oktaedrischen Dominanz und der jeweiligen kubischen Symmetrie beruht. Tetraedrische Einheiten können auf Kosten von oktaedrischen Verzerrungen unterbunden werden, um den makroskopischen Kristall ausschließlich aus Oktaedern zu bilden, wie es im kubisch-raumzentrierten Gitter (bcc) deutlich wird. Eine frühe Phasentransformation in

die Konfiguration des Würfels oder des Prismas führt zum einfach kubischen Gitter (sc) und zum einfach hexagonalen Gitter (hp). Das Ausfüllen des 3D-Raums mit Dodekaedern oder Ikosaedern ist ohne weitere Freiheitsgrade nicht möglich, kann aber mit Hilfe weiterer Struktureinheiten prinzipiell realisiert werden (z. B. Quasikristalle, metallorganische Gerüste). Hochsymmetrische Motive werden im Allgemeinen energetisch bevorzugt, da eine maximale Anzahl von Gleichgewichtsabständen dem Prinzip der dichten Packung entspricht. Diese Motive spiegeln ein Gleichgewicht der atomaren Abstände innerhalb der Gleichgewichtsordnung wider und zeigen somit nach Platon eine geometrische Harmonie der elementaren Kristallstrukturen, oder in Worten des berühmten Wissenschaftlers Henry Poincaré: „*Es ist die Harmonie der verschiedenen Teile, ihre glückliche Ausgewogenheit, [...] die es uns erlaubt, das Ganze klar zu sehen und gleichzeitig mit den Details zu verstehen.*“

Die Autoren widmen diesen Artikel dem verdienten Lehrer im Fachgebiet Kristallographie, Herrn Prof. (i.R.) Dr. Dr. (h.c.) Peter Paufler.

Kombination von neuen Fertigungsverfahren und nachhaltigen Materialien: nachwachsende Rohstoffe in der additiven Fertigung

Henning Zeidler¹

Abstract

Innovative Werkstoffe und neue Technologien in der Fertigung können einen substantiellen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. Durch die Anpassung von Prozessen der additiven Fertigung zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist dies möglich, ohne auf gestalterische Vielseitigkeit, Eigenschaftsbreite oder Wirtschaftlichkeit bei technischen Produkten und Prozessen zu verzichten.

Einleitung

Es ist bekannt, dass sich die Erde an einem kritischen Punkt ihrer Geschichte befindet. Der durch die Zivilisation verursachte Klimawandel ist präsent und ebenso ist klar, dass ein einfaches Fortführen der industriellen Ausbeutung der Ressourcen der Erde nicht denkbar ist.

Die Industrie muss sich nicht nur an ihrer allgemeinen Wirtschaftlichkeit, sondern auch an ihrer Effizienz im Hinblick auf Ressourcennutzung, ihrem ökologischen Fußabdruck und ihrer Nachhaltigkeit messen lassen. Der Schutz der Umwelt nimmt daher auch eine zentrale Rolle in den Bestrebungen der Forschung und Entwicklung ein, um neue Konzepte für die Produktion zu schaffen. Diese Zielstellung einer Kreislaufwirtschaft kann durch neue, effiziente Technologien, die kaum Reststoffe anfallen lassen oder diese sogar nutzen, unterstützt werden. Ebenso können Werkstoffe, die auf nachwachsenden Rohstoffen beruhen, einen weiteren Beitrag leisten.

Die Entwicklung der Produktion wird zudem durch die Digitalisierung, gern mit dem Schlagwort „Industrie 4.0“ versehen, vorangetrieben. Die Additive Fertigung, umgangssprachlich oft auch als „3D-Drucken“ bezeichnet, gilt hier als eine Schlüsseltechnologie. Prinzipiell kann sie neben einer verbesserten Materialausnutzung auch Möglichkeiten zur Lokalisierung der Produktion schaffen und somit auch zur

Reduzierung von Transportwegen und Treibhausgasemissionen beitragen.

Die Verbindung beider Gebiete, die Nutzung innovativer, nachwachsender Rohstoffe bzw. lokal verfügbarer Reststoffe für die Additive Fertigung, ist eine logische Konsequenz.

Additive Fertigungsverfahren

Einführung

Additive Fertigungsverfahren (engl. *Additive Manufacturing*, abgekürzt AM) arbeiten „materialhinzufügend“, d. h., „die Bauteile entstehen schichtweise durch Hinzufügen von Ausgangsmaterial oder durch Phasenübergang eines Materials vom flüssigen oder pulverförmigen in den festen Zustand.“ [1]. Dadurch unterscheiden sie sich von subtraktiven Fertigungsverfahren (Entfernen definierter Bereiche aus Halbzeugen, z. B. durch Zerspanung) und von formativen Fertigungsverfahren (Umformen unter Beibehaltung des Volumens, wie etwa beim Schmieden). Additive Fertigungsverfahren sind seit Anfang der 1980er Jahre bekannt. Zunächst wurden sie zur Herstellung von Prototypen eingesetzt (woher die damalige Bezeichnung *Rapid Prototyping* stammt), später, mit Weiterentwicklung der Technologie und Nutzbarkeit weiterer Werkstoffe zur Fertigung von Werkzeugen (*Rapid Tooling*) und seit den 2010er Jahren, wieder begründet auf einer Weiterentwicklung der Technik, zunehmend auch zur Herstellung von Endprodukten (*Rapid Manufacturing*). Neben technischen Einsatzfeldern der Produkte

u. a. in der Luft- und Raumfahrt kommen auch weitere in Betracht, wie Medizin – Stichwort patientenspezifische Implantate – oder auch die Kunst. Aufgrund des geringen Alters der Technologien findet vielfach noch eine Verquickung von Produkt- oder Herstellernamen und Verfahrensbezeichnungen statt, was eine Einordnung und Orientierung oftmals erschwert. Mit den VDI Richtlinien 3404/3405 und der Übernahme in die ISO 52900 wurde vor Kurzem nun erstmals eine einheitliche Definition geschaffen [1, 2].

Eigenschaften additiver Fertigung und Verfahrenseinteilung

Der Schichtaufbau additiv gefertigter Teile verleiht den Fertigungsprozessen und Anlagen besondere Merkmale. Es müssen keine Bauteil-spezifischen Werkzeuge eingesetzt werden. Die direkte Nutzung von 3D-CAD-Datensätzen ermöglicht eine Herstellung von Werkstücken ohne weitere Voraussetzungen oder zusätzliche Umwege, wodurch ein spezifisches Anpassen oder *customizing* bis zur Stückzahl eins umsetzbar ist. Im Normalfall sind die Daten im STL-Format auf allen marktüblichen Maschinen nutzbar. Die Herstellung bislang nicht – oder nur mit erheblichem Aufwand – herstellbarer Formelemente, z. B. mit komplexen Hinterschnitten oder filigranen Gitterstrukturen, gilt als weiteres Kennzeichen additiver Fertigungsverfahren sowie als Vorteil gegenüber Umformen und trennenden Verfahren (Abb. 1 und 2).

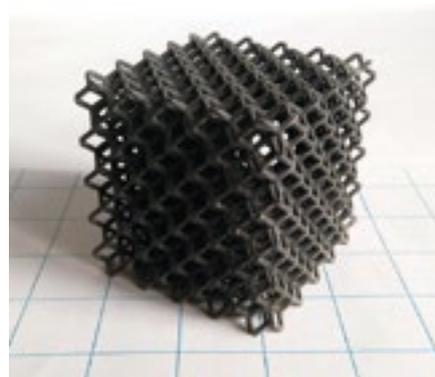


Abb. 1: Gitterbauteil aus Polyamid12, hergestellt mit Selektivem Lasersintern (SLS)

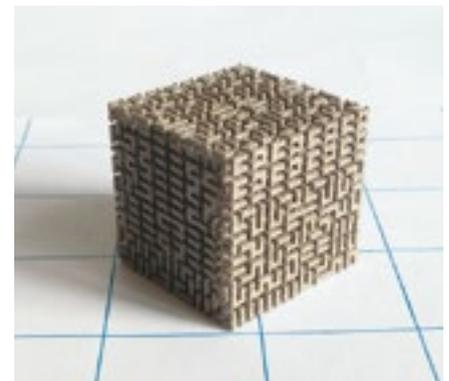


Abb. 2: Gitterbauteil aus Titan (Ti6Al4V), hergestellt mit Selektivem Laserschmelzen (SLM)

¹ Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler
Professur für Additive Fertigung, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung (IMKF), Agricolastraße 1, 09599 Freiberg
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de



Abb. 3: Prozesskette der Additiven Fertigung

Die prinzipiellen Verfahrensabläufe sind weitgehend gleich, obwohl die Additiven Fertigungsverfahren sehr verschiedene Ausprägungen mit unterschiedlichen Zuständen des Ausgangsmaterials einschließen – z. B. photochemische Reaktionen in Harzen (*Stereolithographie, Digital Light Processing, Poly Jet Modeling*), Schmelzen/Erstarren oder chemisches Binden von Pulver (*Selective Laser Sintering, Selective Laser Melting, Electron Beam Melting, 3D Printing*) oder Filament (*Fused Filament Fabrication, Fused Deposition Modeling, Wire Arc Additive Manufacturing*) etc.

Ein Fertigungsprozess lässt sich in drei Phasen gliedern (vgl. Abb. 3): Die Prozessvorbereitung deckt alle der direkten Erstellung des Werkstücks vorausgehenden Maßnahmen ab wie z. B. die Anlagen- und Datenvorbereitung, das Konstruieren von Hilfsstrukturen (z. B. zum Stützen überhängender Bereiche der Werkstücke), das Anordnen der Werkstücke im Bauraum und die Ableitung der Schichtpfade („slicen“). Während des eigentlichen Prozesses erfolgt die schichtweise Herstellung des Bauteils. Der „Post-Prozess“ schließlich umfasst Arbeiten wie ggf. die Entnahme bzw. das „Entpacken“ des Bauteils aus dem Bauraum, das Abtrennen von Pulverrückständen und Stützkonstruktionen sowie weitere Tätigkeiten zur Einstellung finaler Werkstückeigenschaften, wie Geometrie- oder Oberflächenfinish.

3D-Drucken als spezieller Vertreter additiver Fertigungsverfahren

Das AM-Verfahren des 3D-Druckens (engl. *3D Printing, 3DP* oder *binder jetting*) basiert auf einem in Pulverform vorliegenden Ausgangsstoff, in den selektiv über einen Tintenstrahl-Druckkopf ein Bindemittel eingebracht wird. Das Bindemittel löst eine chemische Reaktion aus, die zur lokalen Verfestigung der Partikel führt. Nach dem Bedrucken einer Schicht wird eine neue Schicht frischen Pulvers aufgetragen und der Prozess fortgesetzt (Abb. 4), wodurch dreidimensionale Körper erzeugt werden. Durch die stützende Wirkung des Pulverbetts sind keine Stützstrukturen notwendig; der rasterbasierte Druckvorgang mit einem Multi-Düsen-Druckkopf

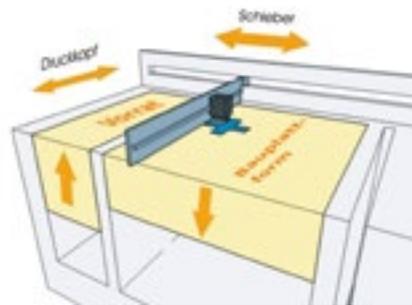


Abb. 4: Bewegungsablauf beim 3D-Drucken zum Erzeugen eines 3D-Bauteils

ist vielfach schneller als ein vektorbasiertes Abscannen (z. B. mit einem Laserstrahl) anderer Pulverbettprozesse. Nach Abschluss des Druckvorgangs wird das feste Bauteil aus dem unverbinderten Pulverbett entnommen (Abb. 5); ggf. erfolgt zusätzlich ein Trocknen, Sintern oder Beschichten.



Abb. 5: Gedruckte Bauteile auf der Bauplattform vor dem „Auspacken“; links ist die leere Pulvervorratskammer sichtbar

Additive Fertigung an der TU Bergakademie Freiberg

Die fachübergreifende Nutzbarkeit und Wichtigkeit der Additiven Fertigung wurde an der TU Bergakademie Freiberg zeitig erkannt – so liefen bereits Untersuchungen zu metallischen und keramischen Werkstoffen in SFBs und weiteren Forschungsprojekten der Fakultäten 4 und 5 – und mündete 2017 in eine Berufung auf die Professur „Additive Fertigung“ am IMKF [3]. Hier wird sowohl an der Forschung zu Prozessen von AM, aber auch insbesondere an der Integration in die Lehre gearbeitet.

So schnell sich die Technologien der Additiven Fertigung ent- und weiterentwickelt haben, so vielfältig sind die sich dadurch ergebenden neuen Möglichkeiten,

aber auch die an die Anwender gestellten Herausforderungen. Umdenken ist erforderlich bezüglich Konstruktion bzw. effizienter konstruktiver Auslegung der additiv zu fertigenden Bauteile. Die Wahl, oder auch die oftmals notwendige Entwicklung geeigneter Werkstoffe stellt eine ähnlich große Herausforderung dar. Ebenso relevant ist die fertigungsseitige Umsetzung und Prozessplanung auf den Maschinen, da hier üblicherweise die Prozessgestaltung – u. a. die Platzierung und Ausrichtung der Teile im Bauraum, die entscheidend für die finalen Eigenschaften der späteren Bauteile ist – erfolgt. Neben der Additiven Fertigung selbst müssen dabei auch die Nachbearbeitungstechnologien betrachtet werden, deren Bedeutung bisher oft vernachlässigt wird. Die abschließende messtechnische Bewertung und Qualitätssicherung schließt den Kreis zur Verifizierung der Auslegung, und auch hier unterscheiden sich die Anforderungen additiv gefertigter Werkstücke häufig von konventionellen.

Für alle Bereiche ist umfangreiches Expertenwissen notwendig, welches sich von dem für die konventionelle Fertigung grundlegend unterscheidet. Dennoch sind zurzeit nur wenige umfassende, verbindliche Inhalte sowie methodische Umsetzungen für diese Anforderungen verfügbar. Während erste Ansätze als Aufbauqualifikation existieren, muss an der Einbindung allgemeiner AM-Grundlagen in die hochschulische und auch berufliche Bildung weiterhin umfassend gearbeitet werden. Nachdem 2017/18 bereits Module zur „Additiven Fertigung“ bzw. „Fertigungsplanung in der Additiven Fertigung“ an der TU Bergakademie etabliert wurden, wird zum Wintersemester 2019/20 nun erstmals in den grundständigen Bachelor-Studiengang „Additive Fertigung – Technologie, Material, Design“ immatrikuliert [4]. Dieser kombiniert fakultätsübergreifend relevante Module, um besagtes Expertenwissen fokussiert zu lehren und geht damit deutschlandweit voran.

Neben der theoretischen Lehre ist insbesondere für die Additive Fertigung eine praktische Vermittlung von Kenntnissen essentiell. Um dies umzusetzen, wurde ein AM-Lehr-Labor, das – und das ist das Besondere – alle relevanten Verfahrensgruppen der AM abbildet, an der TU für die Studierenden der Additiven Fertigung etabliert (Abb. 6). Dieses wird kontinuierlich erweitert und ermöglicht den Studierenden direkten Zugang zur Technik.



Abb. 6: Lehrlabor zur AM am Lehrstuhl Additive Fertigung der TU Bergakademie Freiberg

Nachwachsende Rohstoffe

Einführung

Nachwachsende Rohstoffe stammen meist aus Land- oder Forstwirtschaft. Sie umfassen dabei auch pflanzliche und tierische Reststoffe – d. h. Stoffe, die als Reste/Abfall bei anderen Prozessen anfallen – wie etwa Sägespäne, Spelzen oder auch Muschelkalk. Die Nutzung von derartigen Reststoffen bringt zusätzliche Vorteile mit sich – zum einen wird die Ökobilanz nochmals deutlich verbessert, da ein Upcycling zu entsorgender Stoffe zu höherwertigen Produkten erfolgt, zum anderen sind wirtschaftliche Vorteile zu erwarten, da diese Stoffe in der Regel niedrigpreisig verfügbar sind. Idealerweise wird zudem auf lokal verfügbare Reststoffe zurückgegriffen, wodurch auch Transportwege minimiert werden können. Voraussetzung für eine Nutzung ist selbstverständlich immer eine entsprechend angepasste (Fertigungs-)Technologie, die wiederum eine geeignete Anwendung voraussetzt.

Obgleich der Anteil neu nachwachsender Rohstoffe laut Annahmen weit mehr als 100 Milliarden Tonnen jährlich beträgt, werden tatsächlich nur etwa sechs Milliarden Tonnen davon genutzt [5]. Die größten Vorkommen nachwachsender Rohstoffe bilden Cellulose und Lignin – beide Stoffe finden sich in Bäumen. Ebenfalls große Mengen an nachwachsenden Rohstoffen entfallen etwa auf Stärke oder Chitin. Seltener anzutreffen sind dagegen natürlich vorkommende Fette, Öle oder Proteine, deren besondere Merkmale sie aber zugleich sehr wertvoll machen [5].

Natürliche Materialien weisen oft herausragende Eigenschaften auf und besitzen im Allgemeinen vielfältige, aus mehreren Stoffen bestehende, komplexe Strukturen. Die Festigkeiten von

Chitinverbindungen und auch natürlich entstandenen Kalkverbindungen sind bemerkenswert. Sie vereinen besondere Eigenschaften, indem sie fest und belastbar sind, gleichzeitig aber auch leicht und flexibel [6]. Ähnliches gilt für pflanzliche Zellstrukturen wie z. B. in Gräsern und Hölzern, die zudem gute thermische Dämmung aufweisen.

In Verbindung mit nachwachsenden Rohstoffen ist oftmals auch von „Biokunststoffen“ die Rede. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass nicht alle biobasierten Werkstoffe bioabbaubar sind, es aber nicht-nachwachsende nicht-biobasierte Kunststoffe gibt, die bioabbaubar sind [7].

Für die Nutzung in der Additiven Fertigung müssen die Werkstoffe den Anforderungen der jeweiligen Technologie genügen – d. h. z. B. für Pulverbettprozesse in einer Partikelform vorliegen, die einen gleichmäßigen Schichtauftrag mit Rakel zulässt.

Ausgewählte Beispiele nachwachsender Rohstoffe mit Reststoffcharakter

Miscanthus

Bei diesem, auch als Chinaschilf bezeichneten, Material handelt es sich um ein schnellwachsendes Gras mit nur geringen Ansprüchen an die Bodenqualität (Abb. 7). Zudem ist es besonders leicht und weist gute Dämpfungseigenschaften auf. Neben der energetischen Verwertung wird Miscanthus u. a. für die Herstellung von Produkten durch Fasergussverfahren genutzt. Üblicherweise wird das Material erst gemahlen und dann entsprechend der gewünschten Partikelgröße gesiebt. Für Anwendungen in der additiven Fertigung kann der dort anfallende Reststoff bzw. Filterstaub verwendet werden, da es für



Abb. 7: Miscanthus auf einer Anbaufläche



Abb. 8: für den 3D-Druck gesiebte Miscanthuspartikel

den 3D-Druck vornehmlich kleiner Partikel im Bereich von ca. 100 Mikrometern Länge bedarf (Abb. 8).

Holzmehl

Holzmehle können als Reststoffe in der verarbeitenden Industrie, wie etwa in Sägewerken, anfallen. Dabei ergeben sich neben langfaserigen Partikeln (u. a. zur Produktion von Pellets genutzt) auch kurzfasrige Partikel, die sich für die Verwendung in der additiven Fertigung eignen. Zu beachten sind unterschiedliche Materialeigenschaften abhängig von der gewählten Holzart. Bislang wurden Weide, Birke, Lärche, Ahorn, Eiche, Fichte und Linde im 3D-Druck erfolgreich eingesetzt (Abb. 9 und 10).



Abb. 9: Ahornmehl

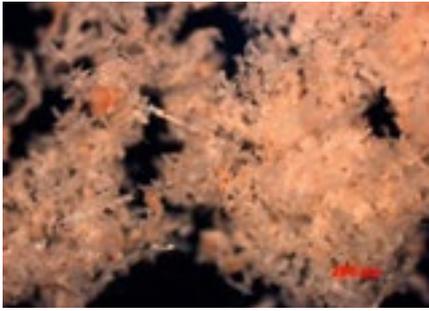


Abb. 10: Lärchenmehl

Stein- und Kernobstmehl

Die nicht zum Verzehr geeigneten Samen diverser Steinfrüchte oder Kernobstsorten werden unterschiedlich genutzt. Bekannt ist u. a. die Gewinnung von Ölen durch Auspressen der weichen Bestandteile von Steinen oder Kernen. Die als Reststoff übrigbleibenden harten Bestandteile können nach einem Mahlen und Sieben einer Nutzung im Rahmen additiver Fertigung zugeführt werden. Im Vergleich zu Holzmehl und Gras weisen diese Materialien eine relativ hohe Dichte auf, was den daraus erzeugten Werkstücken bessere Festigkeitseigenschaften verleiht sowie in Verbindung mit der geringen Partikelgröße höhere Fertigungsgenauigkeiten ermöglicht. Bislang wurden erfolgreiche Untersuchungen mit Aprikosenkernmehl durchgeführt.

Muschelkalk, Krabbschalen

In bestimmten Erdregionen sind Muschelschalen reichlich vorhanden bzw. fallen, wie auch Krabbschalen, in der Nahrungsmittelindustrie an. Teilweise werden sie gemahlen für kosmetische Produkte verwendet, für eine wirtschaftliche Nutzung in größerem Stile fehlen dagegen bislang ausgereifte Konzepte. Die Materialeigenschaften machen sie jedoch für eine Verwendung im Rahmen von additiver Fertigung hoch interessant.

Nachwachsende Rohstoffe in der Additiven Fertigung

Der 3D-Druck eröffnet neue Möglichkeiten zur Gestaltung von Objekten und trägt zur Industrie 4.0 durch Individualisierung und Digitalisierung von Prozess- und Produktgestaltung bei. Leichtbau und Ressourceneffizienz durch AM-spezifische Topologieoptimierung und damit geringerem Materialbedarf sind nutzbare Werkzeuge in der Produktion. AM bietet durch den additiven Charakter ein bislang ungenutztes Potenzial zur Verwendung von in Partikel- oder Faserform vorliegenden Reststoffen und damit Möglichkeiten



Abb. 11: Ausgangsmaterial für das 3D-Drucken [AMtopus GmbH & Co. KG]

zur Einsparung von fossilen Rohstoffen sowie CO₂-Emissionen. Insbesondere bio-basierte und bioabbaubare Reststoffe wie Holzmehl, (Frucht-) Kernmehl, Reisspelzen usw. stellen eine wichtige, zu adressierende Rohstoffgruppe mit einzigartigen Eigenschaften dar (Abb. 11). Wir arbeiten daran, diese bislang der Entsorgung oder im besten Fall energetischen Nutzung (Verbrennung) zugeführten Rohstoffe zu hochwertigen, umweltfreundlichen und kosteneffizienten Produkten und Bauteilen zu verarbeiten [8–12].

Dafür ist es unabdingbar, auch Maschinenkonzepte zu entwickeln und umzusetzen, die die große Eigenschaftsbandbreite natürlicher Rohstoffe tolerieren und sich an sie anpassen können. Es ist notwendig, dabei an der Schnittstelle von Material, Maschine und Technologie zu arbeiten, z. B. für Anwendungen, die die gute Bioabbaubarkeit und damit ggf. kurze Lebensdauer erfordern. Die individuelle oder auch kundenspezifische Herstellung von Produkten kreiert einen solchen geeigneten Anwendungsfall: die ebenso individuelle Verpackung.

Die entwickelten Verpackungslösungen unter Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen schützen in perfekter Passform

die Bauteile, da sie direkt aus dessen 3D-Daten generiert werden (Abb. 12 und 13). Sie dämpfen Temperatur und Schock gleich oder besser als Kunststoffverpackungen (z. B. Polystyrolschaum) und können je nach Kundenwunsch durch Zerkleinern (z. B. Mahlen) mehrfach rezykliert oder aber problemlos direkt kompostiert werden. Die 3D-gedruckten Verpackungen sind sehr leicht und können nahezu beliebig komplex sein, was dem Versand auch im Hinblick auf Volumenoptimierung entgegenkommt.

Die hierbei angewandte Technologie des Inkjet-3D-Drucks (*binder jetting*) zeichnet sich durch ein großes Fertigungsvolumen pro Zeiteinheit aus. Der Prozess ist deshalb preiswert und zudem in der Lage, feste Werkstoffe einer großen Materialvielfalt zu verarbeiten. Der gegenwärtige Stand der Maschinenteknik kann den industriellen Anforderungen an Bauteilgröße und Druckgeschwindigkeit (hoher Durchsatz und individuelle Geometrieanpassung) leider noch nicht genügen, daher ist die Anpassung von Anlagentechnik und Druckkopf/Rakel an das Material auf Basis nachwachsender Rohstoffe ein entscheidender Schwerpunkt der Entwicklung.

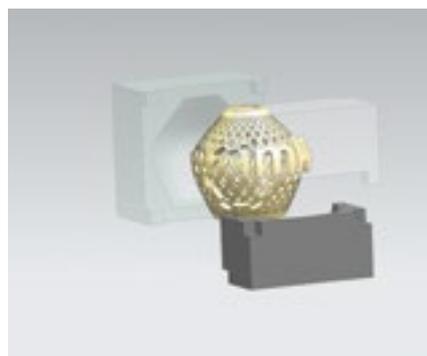


Abb. 12: 3D-CAD-Datensatz eines Bauteils und der angepassten dreiteiligen Verpackung



Abb. 13: Bauteil und 3D-gedruckte Verpackung aus Miscanthus

Abb. 14: Prozesskette des 3D-Druckens von Produkten aus Aprikosenkernmehl [AMtopus GmbH & Co. KG]



Abb. 15: Beispiele für 3D-gedruckte Teile aus v.l.n.r. Aprikosenkernmehl, Miscanthus, Aprikosenkernmehl, Muschelkalk



In nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie in Kooperation mit innovativen Start-Ups optimieren wir dazu Maschinenkonzepte, die großvolumig (> 1 m³) und schnell (mehrere mm/min Druckhöhe) fertigen. Ebenfalls verfolgt werden Ideen mobiler Maschinen, die vor Ort on-demand produzieren, um den logistischen Aufwand des Bauteilversands weiter zu minimieren.

Basierend auf diesen Pilotanwendungen sind für die Materialien weitere ökologisch und ökonomisch sinnvolle Anwendungen in saisonalen oder kurzlebigen Produkten in der Vorbereitung bzw. Umsetzung begriffen, so z. B. Möbel für Events/Festivals, Terrassen/Gartenmöbel, Designobjekte, Kulissen/Props etc. (Abb. 15).

Die Professur Additive Fertigung ist zur Forschung und deren Umsetzung in die Praxis in mehreren Netzwerken und Forschungsverbänden aktiv, darunter ZIM-Netzwerke und die neu gegründete Gesellschaft für Ressourceneffizienz und Additive Technologien GRAT [13].

Zusammenfassung

Die Additive Fertigung im allgemeinen und der 3D-Druck von nachwachsenden Rohstoffen im speziellen können in vielfältiger Weise zum Umweltschutz beitragen. Zum einen wird durch „das richtige Material nur an der richtigen Stelle“ der Additiven Fertigung per se eine erhebliche Materialmenge in der Produktion eingespart. Darüber hinaus können die erzeugten Bauteile bei angepasster Konstruktion leichter sein – dies führt vor allem bei mobiler Verwendung (insbesondere beim Einsatz als Verpackungsmaterial)

zu Einsparungen an CO₂. Da es sich bei den Basismaterialien um nachwachsende Rohstoffe handelt, wird Erdöl und Energie nebst gefährdenden Stoffen zur Aufbereitung bzw. Umsetzung fossiler Rohstoffe eingespart. Durch die Kompostierbarkeit der Produkte wird zusätzlich Müll vermieden, wobei die mögliche Rezyklierbarkeit der Verpackungen die Umweltfreundlichkeit des Prozesses zusätzlich stark erhöht. Nach dem Ende des Lebenszyklus des gedruckten Bauteils kann dieses wieder in Pulverform gemahlen und danach erneut verdruckt werden. Die gezielte Nutzung von Reststoffen aus anderen Prozessen kann zusätzliche Ansätze im Hinblick auf das Ziel einer Kreislaufwirtschaft schaffen.

Die Verbindung innovativer Technologien und natürlicher Rohstoffe bietet ein großes Potenzial zur ökologischen aber auch ökonomischen Fertigung; erste Ansätze, wie hier beschrieben, müssen konsequent weiterverfolgt werden. Dafür ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Akteure zwingend notwendig.

Literaturverzeichnis

- 1 VDI-Richtlinie 3405. Dezember 2014. *VDI-Richtlinie 3405*
- 2 ISO Standard 52900. Dezember 2015. *ISO/ASTM 52900:2015 (ASTM F2792)*
- 3 Zeidler, Henning: *Professur für Additive Fertigung*. URL <https://tu-freiberg.de/fakult4/imkf/professur-fuer-additive-fertigung> – Überprüfungsdatum 2019-08-09
- 4 Technische Universität Bergakademie Freiberg: *Bachelor Additive Fertigung (Technologie, Material, Design): Steckbrief*. URL <https://tu-freiberg.de/studium/bachelor-additive-fertigung-technologie-material-design> – Überprüfungsdatum 2019-08-09
- 5 Behr, Arno; Seidensticker, Thomas: *Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe:*

Vorkommen, Konversion, Verwendung. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2018 (Lehrbuch)

- 6 Weitze, Marc-Denis; Berger, Christina: *Werkstoffe: Unsichtbar, aber unverzichtbar*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013 (Technik im Fokus)
- 7 Arnold, Bozena: *Werkstofftechnik für Wirtschaftsingenieure*. 2., korr. u. erg. Auflage 2017. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017
- 8 Zeidler, Henning; Wohlrabe, Dirk: *Innovative Werkstoffe für neue Fertigungsverfahren: Einsatzmöglichkeiten und Potentiale für nachwachsende Rohstoffe in der additiven Fertigung*. In: *Lernen & Lehren* 33 (2018), Nr. 4, S. 137-143
- 9 Zeidler, Henning; Klemm, Diana; Böttger-Hiller, Falko; Fritsch, Sebastian; Le Guen, Marie Joo; Singamneni, Sarat: *3D printing of biodegradable parts using renewable biobased materials*. In: *Procedia Manufacturing* 21 (2018), S. 117-124
- 10 Zeidler, Henning; Klemm, Diana; Böttger-Hiller, Falko: *Review: 3D-Druck mit nachwachsenden Rohstoffen: Stand und Perspektiven*. In: *holztechnologie* 60 (2019), Nr. 2, S. 49-54
- 11 Singamneni S.; Behera, M. P.; Le Guen, M.; Zeidler, H.: *Mechanism of Bonding in Seashell Powder Based Ceramic Composites Used for Binder-Jet 3D Printing*. In: *Bioceramics Development and Applications* 08 (2018), Nr. 01
- 12 Zeidler, Henning; Böttger-Hiller, Falko; Klemm, Diana: *3D-Druck mit nachwachsenden Rohstoffen – Stand und Perspektiven*. In: Wagenführ, André (Hrsg.): *Tagungsband des 18. Holztechnologischen Kolloquiums : Dresden, 12.-13. April 2018*. Dresden : Selbstverlag TU Dresden Institut für Naturstofftechnik Professur für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik, 2018 (Schriftenreihe Holz- und Papiertechnik, Band 23), S. 26-34
- 13 Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.: *MatResource wird zur Bundesvereinigung „GRAT-Gesellschaft für Ressourceneffizienz und Additive Technologien“ verstetigt*. URL <https://www.dgm.de/nachrichten/artikel/news/matresource-wird-zur-bundesvereinigung-grat-gesellschaft-fuer-ressourceneffizienz-und-additive-tech/> – Aktualisierungsdatum: 2019-06-27 – Überprüfungsdatum 2019-08-09

Berichterstattungsqualität am Beispiel der IFRS-Anhangberichterstattung¹

Tobias Nell²

Einleitung

Die Qualität der Finanzberichterstattung von Unternehmen ist zentraler Gegenstand der Rechnungslegungsforschung. Eine ziel- und adressatengerechte Finanzkommunikation stellt – insbesondere im heutigen Informationszeitalter sowie in einer zunehmend globalisierten Wirtschaftsordnung – einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für berichterstattende Unternehmen bei der Akquise von Kapital für benötigte Investitionen dar. Mithilfe einer qualitativ hochwertigen Finanzkommunikation können bspw. Kapitalkosten reduziert und insgesamt Fehlallokationen vermieden werden.

In diesem Kontext wird der internationalen Finanzberichterstattung – und darin insbesondere der Anhangberichterstattung – seit vielen Jahren in Praxis und Wissenschaft das Fehlen einer adressatengerechten Informationsbereitstellung vorgeworfen. Die Kritik deutet auf Defizite hinsichtlich der Güte des Inhalts und der Darstellung und somit insgesamt der Qualität der Anhangberichterstattung hin. Valide wissenschaftliche Evidenz hierzu fehlt aber bislang weitgehend, was insbesondere auf Defizite in der bisherigen Forschung im Hinblick auf die Konzeptionierung und Messung von Berichterstattungsqualität zurückzuführen ist. Aufgrund dieser Defizite fehlt den bis dato zahlreichen und intensiv geführten Diskussionen zur Qualität der Anhangberichterstattung zwischen Vertretern von Forschung, Regulierungsinstitutionen, Adressaten und berichterstattenden Unternehmen zu großen Teilen die notwendige aussagekräftige Bezugsbasis. So ist bspw. die Formulierung eines „Soll“- bzw. „Ziel“-Berichtsniveaus ohne konzeptionellen Rahmen unmöglich. Ein Großteil

dieser Diskussionen ist somit zwar relevant, bleibt aber aufgrund der fehlenden inhaltlichen Genauigkeit und Präzision faktisch gegenstands- und wirkungslos.

Die diesem Beitrag zugrundeliegende Dissertationsschrift adressiert diese relevante und gleichsam aktuelle Forschungslücke, indem sie herausarbeitet, aus welchen Dimensionen sich Berichterstattungsqualität konzeptionell zusammensetzt (*Konzeptionierung*), wie diese gültig gemessen werden können (*Messung*) und empirisch ausgeprägt sind (*empirische Evidenz*). Nach einer Klärung wesentlicher Begrifflichkeiten werden im Folgenden beispielhaft einzelne Ergebnisse vorgestellt.

Begriff der Anhangberichterstattung und der Berichterstattungsqualität

Qualität wird in unterschiedlichen Fachdisziplinen grundsätzlich als Maß der Erfüllung von Anforderungen verstanden. Beispielhaft wird hier die Definition des DIN (Deutsches Institut für Normung e. V.) zugrunde gelegt: „Qualität – Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt.“ [DIN EN ISO 9000:2015, 3.6.2]. Zu klären ist damit noch, woraus sich die Anforderungen ergeben bzw. wer diese formuliert, auf welche inhärenten Merkmale sich die Anforderungen beziehen und wie diese

Anforderungen ausgeprägt sind. *Abb. 1* zeigt das Ergebnis dieser Klärung im Kontext der Rechnungslegung. Hiernach liegt in dem Maße Berichterstattungsqualität vor, in dem Adressaten der Rechnungslegung (wie bspw. Kapitalgeber) die für ihre Urteilsbildung und Entscheidungsfindung erforderlichen Informationen (typisiert in Form der Prognose- und Bestimmungsfunktion) erhalten, was in einem Abbau von Wissensunterschieden zwischen Unternehmensführung und externen Adressaten resultieren sollte (Zweck der Rechnungslegung). Berichterstattungsqualität ist folglich als Grad der Zweck- und Funktionserfüllung von Rechnungslegung zu verstehen. Typische Informationsbedürfnisse gem. Prognosefunktion sind prospektiv (*ex-ante*) und leiten sich bspw. aus dem Bedürfnis von Eigen- und Fremdkapitalgebern ab, Informationen zur Schätzung des zukünftigen Zahlungsprofils von Unternehmen zu erhalten, die im Zuge einer Eigenkapitalbewertung oder einer Bonitätsbeurteilung relevant sind. Informationsbedürfnisse gem. Bestimmungsfunktion sind demgegenüber retrospektiv (*ex-post*) und entstehen z. B. im Zuge dessen, dass eine Beurteilung der Leistung der Unternehmensführung anhand von bereits manifestierten (finanziellen) Erfolgsgrößen (Rendite, Wertschaffung o.ä.) durch externe Adressaten vorgenommen werden soll.

Geschäftsberichte sind in diesem Kontext ein wesentliches Element der Finanzberichterstattung. Den Kern von Geschäftsberichten bildet der Jahres-/Konzernabschluss, der sich aus den sog.

„Qualität – Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt.“

(DIN EN ISO 9000:2015, 3.6.2)

„Grad der Zweck- bzw. Funktionserfüllung von Rechnungslegung.“

Zweck
(Wozu?)

- Abbau von Informationsasymmetrien zwischen ...
- ... Unternehmensführung und externen Adressaten

Funktionen
(Wodurch?)

- Prognosefunktion (valuation)
- Bestimmungsfunktion (stewardship)

Externe Adressaten
(Von wem?)

- Eigen- und Fremdkapitalgeber
- Informationsintermediäre

1 Die Ausführungen basieren auf der Dissertationsschrift des Autors mit dem Titel „Berichterstattungsqualität im IFRS-Anhang – Konzeptionierung und empirische Analyse der Anhangberichterstattung über immaterielle Vermögenswerte in IFRS-Geschäftsberichten“ (Freiberg 2018), die unter folgender URL abrufbar ist: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:105-qucosa-2-325869>

2 Dr. rer. pol. Tobias Nell, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Rechnungswesen und Controlling der TU Bergakademie Freiberg; tobias.nell@bwl.tu-freiberg.de

Abb. 1: Konkretisierung von Qualität im Kontext der Rechnungslegung (Berichterstattungsqualität)

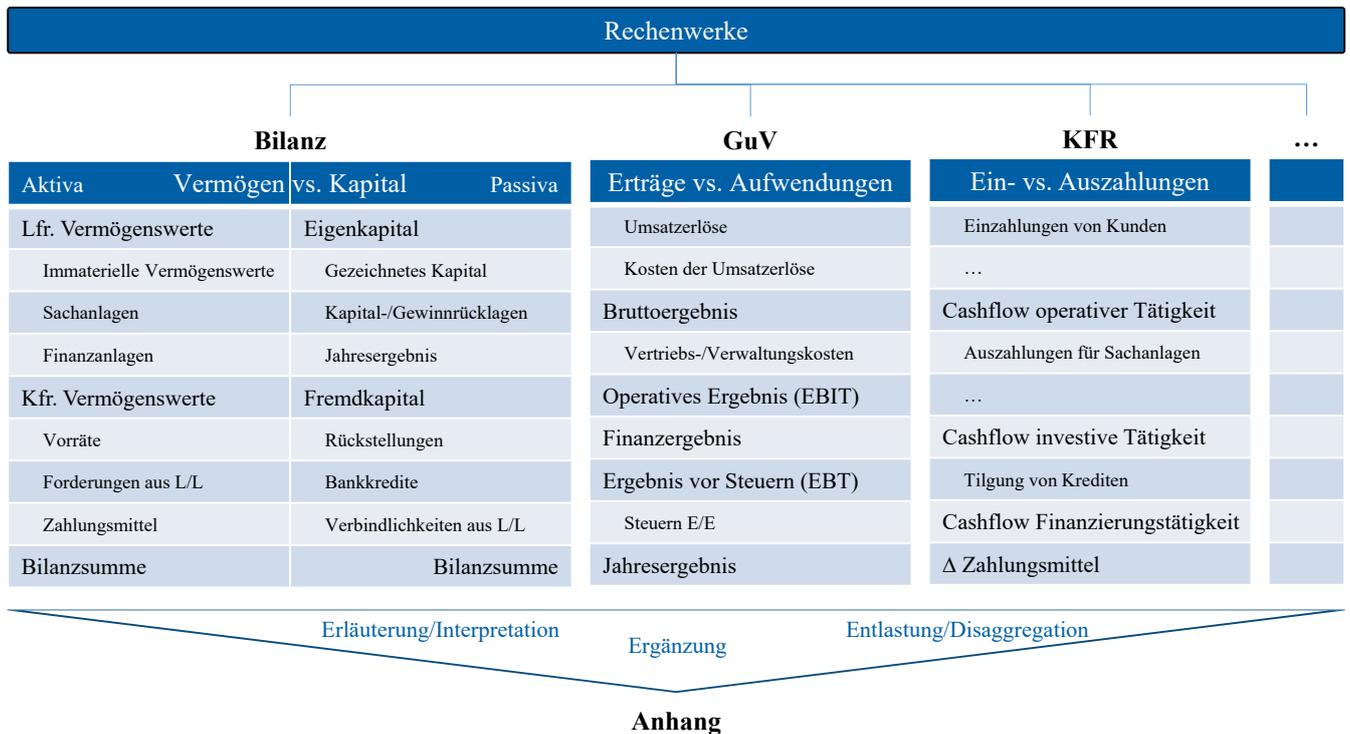


Abb. 2: Einordnung des Anhangs in das Instrumentarium der Rechnungslegung. Abkürzungen: Lfr./kfr. – lang-/kurzfristige; L/L – Lieferungen und Leistungen; GuV – Gewinn- und Verlustrechnung; E/E – vom Einkommen und vom Ertrag; KFR – Kapitalflussrechnung; EB(I)T = Earnings before (Interest and) Taxes

Rechenwerken Bilanz, Gewinn- und Verlustrechnung (*GuV*), Kapitalflussrechnung (*KFR*) und Eigenkapitalveränderungsrechnung und dem Anhang zu diesen Rechenwerken zusammensetzt. In den Rechenwerken erfolgt üblicherweise eine rein zahlenbasierte und vergleichsweise stark aggregierte Bereitstellung quantitativer Informationen. Im Anhang folgt hingegen eine disaggregierte Bereitstellung von Informationen, die häufig auch qualitativer Natur sind. Spezielle Funktionen der Anhangberichterstattung sind in diesem Zusammenhang die Erläuterung/ Interpretation, Ergänzung und Entlastung/Disaggregation der Rechenwerke bzw. der hierin enthaltenen Abschlussposten (*Abb. 2*).

Konzeptionierung, Messung und empirische Analyse von Berichterstattungsqualität

Konzeptionierung und Messung von Berichterstattungsqualität

Entscheidend für eine valide Messung ist, dass eine möglichst lückenlose Verknüpfung zwischen der abstrakten Konstruktebene (in der das latente Konstrukt Berichterstattungsqualität vorliegt) und der konkreten Datenebene (in der die Informationen in den Geschäftsberichten der Unternehmen vorliegen) erfolgt. Die o. g. Definition von Berichterstattungsqualität reicht für eine Messung – d. h. für das

Detektieren von Phänomenen der Realität, die der Berichterstattungsqualität zuzuschreiben sind – noch nicht aus. Innerhalb des durch die Definition aufgespannten Bedeutungsrahmens ist eine weitere Spezifizierung im Zuge einer Konzeptionierung notwendig. Das Ergebnis der Konzeptionierung ist, dass sich Berichterstattungsqualität aus zwei Dimensionen zusammensetzt – dem Informationsgehalt (den Inhalt der Berichterstattung betreffend, d. h., was wird berichtet) und der Informationsaufbereitung (die Form der Berichterstattung betreffend, d. h., wie wird berichtet). Die Spezifizierung dieser Dimensionen erfolgt über weitere Subdimensionen/Prinzipien, die hier nicht weiter vertieft werden sollen. Die Klärung in der Konstruktebene ist damit erfolgt.

Zur Messung wurde ausgehend von dieser konzeptionellen Basis ein umfassendes

(formatives) Messinstrument entwickelt. Dieses Messinstrument ist ein aus verschiedenen Indikatoren zusammengesetzter Qualitätsindex, dessen Indikatorenausprägungen mittels einer manuellen integrativen Inhaltsanalyse erfasst wurden und die überwiegend auf Intervallskalenniveau vorliegen (*Abb. 3*). Die Indexausprägungen sind auf einer Skala von 0 bis 1 normiert, wobei größere Indexausprägungen eine bessere Berichterstattungsqualität repräsentieren (und vice versa). In Anbetracht der identifizierten Forschungslücke wurde besonderer Wert auf eine detaillierte und feine Messauflösung gelegt, weshalb je Unternehmen bis zu 3.000 verschiedene Indikatorenausprägungen Berücksichtigung im Indexwert finden. Die Ergebnisse einer separat durchgeführten Evaluierung der Validität und Reliabilität des Messinstruments, die

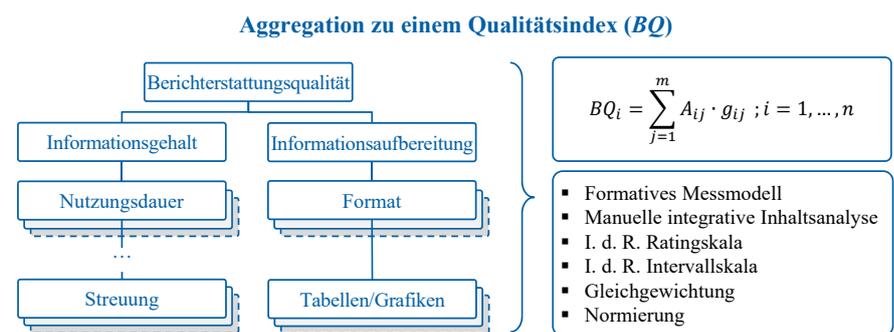


Abb. 3: Operationalisierung von Berichterstattungsqualität

Diese Grafiken zeigen prozentual skalierte Histogramme (d.h., die Summe der Höhe der Balken beträgt 100 %) mit entsprechenden Dichtefunktionen der Indikatoren Berichterstattungsqualität (*BQ*), Informationsgehalt (*IG*) und Informationsaufbereitung (*IA*) für die 62 Unternehmen in der Untersuchungsstichprobe (geschichtete Zufallsstichprobe von IFRS-Anwendern mit Sitz in Deutschland; Berichtsjahr 2014; dies entspricht ca. 15,4 % der Zielpopulation). Die zwei Dichtefunktionen sind zum einen eine gem. Normalverteilung skalierte Dichtefunktion mit dem Mittelwert und der Standardabweichung der Daten (*normal*) und zum anderen eine skalierte Kerndichteschätzung (Epanechnikov kernel, "optimal" half-width) (*kdensity*); siehe hierzu auch die Dokumentation in Stata ("help histogram"). Alle Berechnungen erfolgten mit der Software Stata 13.1 IC.

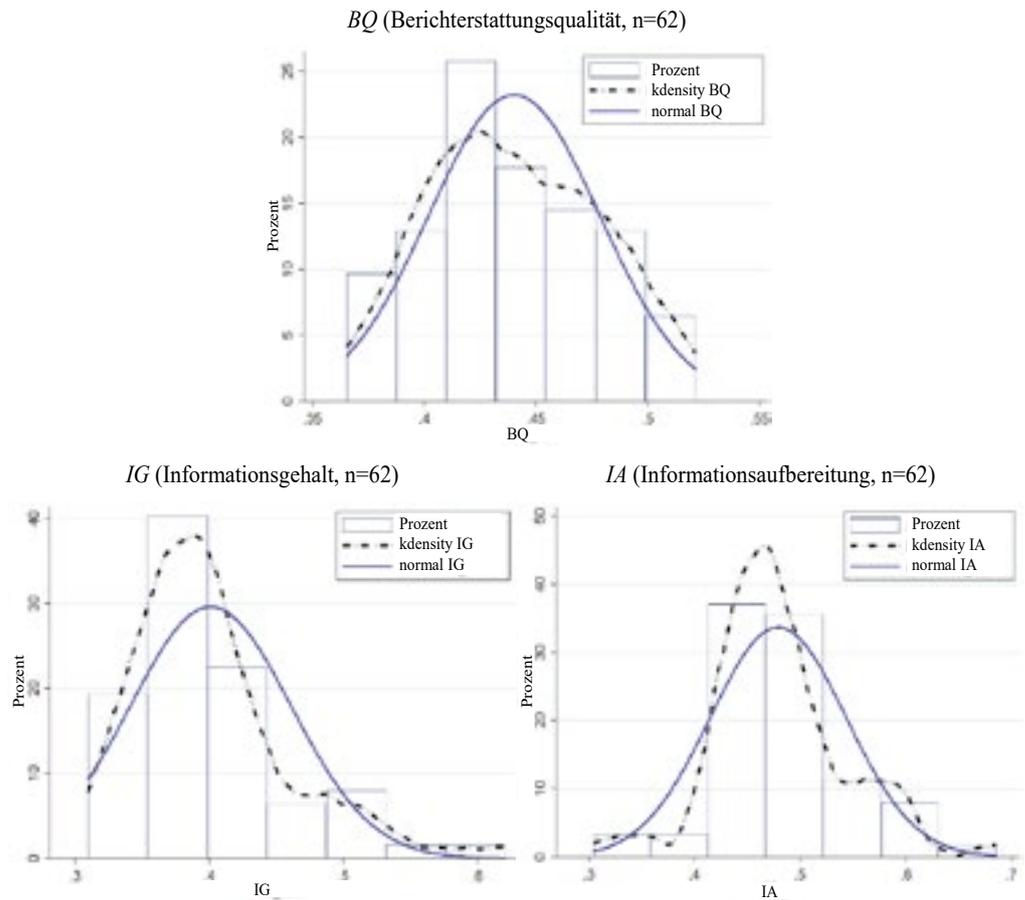


Abb. 4: Verteilungen der Indikatoren BQ, IG und IA

an dieser Stelle nicht dargestellt werden, lassen den Schluss zu, dass dieses Instrument eine gültige Messung von Berichterstattungsqualität ermöglicht.

Empirische Analyse von Berichterstattungsqualität

Die empirischen Ergebnisse der Erhebung von Berichterstattungsqualität (*BQ*) sowie der Dimensionen Informationsgehalt (*IG*) und Informationsaufbereitung (*IA*) sind Abb. 4 zu entnehmen. Zugrunde liegen die nach den International Financial Reporting Standards (IFRS) erstellten Konzernabschlüsse von 62 Unternehmen mit Sitz in Deutschland, die im Zuge einer proportional geschichteten Zufallsstichprobe aus der Zielpopulation gezogen wurden. Dies entspricht ca. 15,4 % der Unternehmen der Zielpopulation (IFRS-Konzernabschlüsse von Unternehmen mit Sitz in Deutschland). Die Ergebnisse zeigen, dass die empirische Verteilung der Indexwerte deutlich von den möglichen Extremwerten 0 und 1 entfernt ist. Die zentrale Tendenz (gemessen anhand des arithmetischen Mittels) liegt für *BQ* bei ca. 0,44 und bei *IG* bzw. *IA* bei ca. 0,40 bzw. 0,48. Ein Ergebnis ist folglich, dass die Anhangberichterstattung

der Unternehmen insgesamt sowie in den einzelnen Dimensionen erhebliche Defizite aufweist, wobei die Informationsaufbereitung etwas besser als der Informationsgehalt abschneidet. Im Detail (Ergebnisse nicht abgebildet) sind diese Defizite bzgl. des Informationsgehalts darauf zurückzuführen, dass die Unternehmen bspw. kaum Begründungen angeben und die Angaben wenig präzise sind. Bzgl. der Informationsaufbereitung ist z. B. festzuhalten, dass durchschnittlich ca. ein Drittel der Angaben aufgrund fehlender Spezifität keinen (oder nur einen sehr geringen) Informationsgehalt aufweist, die bereitgestellte Informations-/Datenmenge der Anhangberichterstattung jedoch erhöht und damit die Informationsbeschaffung und -verarbeitung der Adressaten mit zusätzlichen (nicht nutzenstiftenden) Transaktionskosten belastet. Zudem deuten die empirischen Verteilungen – insbesondere die der Subdimensionen – darauf hin, dass die Anhangberichterstattung in beiden Dimensionen durch Heterogenität geprägt ist.

Für externe Adressaten, die für ihre Urteilsbildung und Entscheidungsfindung auf die im Rahmen der Anhangberichterstattung zur Verfügung gestellten

Informationen zurückgreifen (müssen), können diese Informationsdefizite und -heterogenitäten zu größeren Transaktionskosten und/oder ausgeprägteren Informationsasymmetrien, für die berichtenden Unternehmen zu höheren Kapitalkosten und für die Wirtschaft insgesamt zu Fehlallokationen führen. Insofern belegen und unterstreichen diese Ergebnisse die bislang geäußerte Kritik an der Anhangberichterstattung.

Zusammenfassung

Häufig wird in Zweifel gezogen, dass die Anhangberichterstattung ihren Zweck erfüllt. Solche Zweifel entbehren jedoch überwiegend einer validen Aussagebasis. In der Dissertationsschrift, die diesem Beitrag zugrunde liegt, wurde die Basis geschaffen, indem ein valides Instrument zur Messung von Qualität der Anhangberichterstattung in Form eines multidimensionalen Index entwickelt wurde. Die Messwerte lassen darauf schließen, dass die Zweifel gerechtfertigt sind. Defizite liegen sowohl im Bereich des Informationsgehalts (Was wird berichtet?) als auch im Bereich der Informationsaufbereitung (Wie wird berichtet?) vor.

Nachwuchsforschergruppe InnoCrush – Holistischer Ansatz zur intelligenten Gesteinszerkleinerung

Carsten Drebenstedt, Bruno Grafe¹

Zusammenfassung

Ziel des Projektes InnoCrush war es, Innovationen im Bereich mechanischer und hochselektiver Prozessketten in der Rohstoffgewinnung vorzubereiten. Die Kernmerkmale solcher Prozessketten liegen im Einsatz von mechanischen Gewinnungsverfahren anstelle von Bohren und Sprengen und einer anschließenden mechanischen, trockenen, selektiven Zerkleinerung zur Erzeugung eines Vorkonzentrats. Durch die synergetische Nutzung beider Technologien kann ein Großteil des tauben Gesteins sowohl beim Abbau als auch bei der anschließenden Zerkleinerung bereits vor Ort vom Erz getrennt werden. Während das taube Gestein dann direkt verfüllt werden kann, gelangt nur ein Vorkonzentrat zur weiteren Aufbereitung. Damit werden erhebliche Einsparungen bei Energie, Material sowie entsprechende Umweltentlastungen bewirkt. Die Untersuchungen erfolgten an Ganglagerstätten der für das sächsische Erzgebirge typischen Blei-Zink und Fluorit-Baryt-Erze. Die Nachwuchswissenschaftler arbeiteten in sechs Teilgebieten an diesem Thema und trugen so zur Ausbildung von hochqualifizierten Fach- und Führungskräften im Bereich der High-Tech-Rohstoffförderung bei.

Hintergrund

Für Europa ist es notwendig, eine sichere und zuverlässige Versorgungssituation für Primärminerale zu schaffen. In diesem Zusammenhang hat die Europäische Kommission den Begriff „Critical Raw Material“ (Wirtschaftsstrategischer Rohstoff – kurz CRM) geprägt. Derzeit fallen 27 hauptsächlich mineralische Rohstoffe in diese Kategorie. Leichte und schwere Seltene Erden sowie Platingruppenelemente zählen z. B. zu den Rohstoffen von hoher Bedeutung für die Wirtschaft der EU. Sie unterliegen einer hohen Produktionskonzentration in wenigen Regionen bei häufig instabilen politischen Bedingungen, was das potenzielle Versorgungsrisiko bei veränderten Rahmenbedingungen weiter steigert [1]. Jüngere geopolitische Entwicklungen unterstreichen die Notwendigkeit eines diversifizierten Angebotsmarktes,

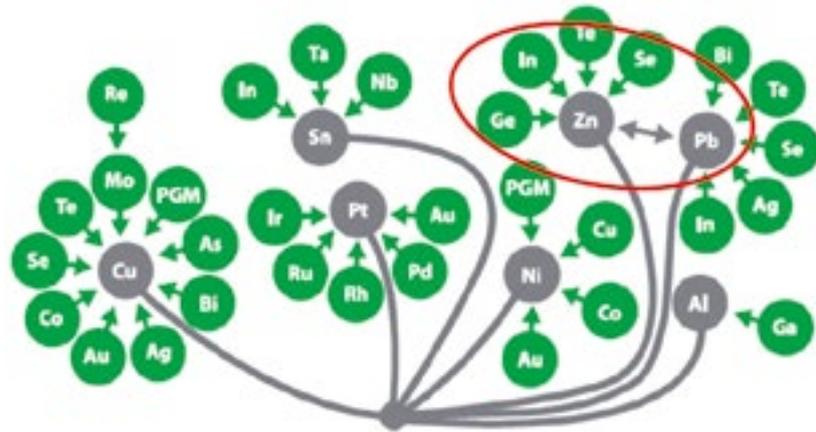


Abb. 1: Assoziationen von CRM mit entsprechenden Basismetallen; Blei-Zink-Erze treten häufig mit Germanium und Indium auf [2]

um negative Auswirkungen auf die Weltwirtschaft zu minimieren.

Um einen widerstandsfähigeren Markt im Allgemeinen und gleichzeitig eine günstigere Versorgungslage für die EU zu schaffen, ist eine globale Diversifizierung der Bezugsquellen für die oben genannten Mineralien notwendig. Ein Beitrag dazu ist die Forcierung des Rohstoffabbaus in der Europäischen Union selbst. Zwar ist Europa u. a. aufgrund jahrhundertelanger Bergbautätigkeit nicht mehr reich an großen, oberflächennahen Lagerstätten, allerdings finden sich – auch in Sachsen – viele kleinere, polymetallische Lagerstätten, die auch von CRM begleitet werden. Diese Lagerstätten sind zum Teil als gangartige Lagerstätten ausgeprägt. Blei-Zink-Vererzungen, die von Germanium und Indium begleitet werden, finden sich selbst im Lehr- und Forschungsbergwerk der TU Bergakademie in Freiberg (Abb. 1).

Um das Potenzial für die Nutzung derartiger Lagerstätten abschätzen zu können, muss dies im Rahmen des wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Umfelds der Europäischen Union geschehen, das folgende Charakteristika aufweist:

- hoher Technologie- und Industrialisierungsgrad
- hohes Bildungsniveau und hohe Verfügbarkeit von ausgebildeten Arbeitskräften
- gute Infrastruktur
- hohe Arbeitssicherheitsstandards
- hohe Umweltschutz- und Rekultivierungsstandards

- relativ hohe Löhne
- hohe Besiedlungsdichte
- problematische Akzeptanz von industriellen Großprojekten, wie dem Rohstoffabbau.

In diesem Umfeld sind High-Tech-Lösungen mit minimalen Auswirkungen auf die Umwelt von entscheidender Bedeutung. Sie haben das Potenzial, zu einem Wettbewerbsvorteil der europäischen Bergbauindustrie zu werden. Dies ist ebenso von globalem Interesse, da auch rohstoffproduzierende Entwicklungsländer mit einem Anstieg der Löhne und damit der Gewinnungskosten konfrontiert sind und somit in der globalen Perspektive der Bedarf nach hochautomatisierten Bergbautechnologien mit geringem ökologischen Fußabdruck steigen wird.

Der Schwerpunkt der Forschungen lag auf hochautomatisiertem, minimalinvasivem Bergbau. Daher war die untersuchte Technologieketten unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses auf folgende Ziele ausgerichtet:

- Minimierung der Mengen und Logistik an taubem Gestein und Aufbereitungsrückständen
- Vermeidung von Bergschäden und Flächenbedarf
- Minimierung von Emissionen
- Minimierung des Energie- und Materialaufwandes
- höchste Arbeitssicherheits- und Umweltstandards.

Um Antworten auf diese Fragen zu geben, Experten auszubilden und Innovationen

¹ beide Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

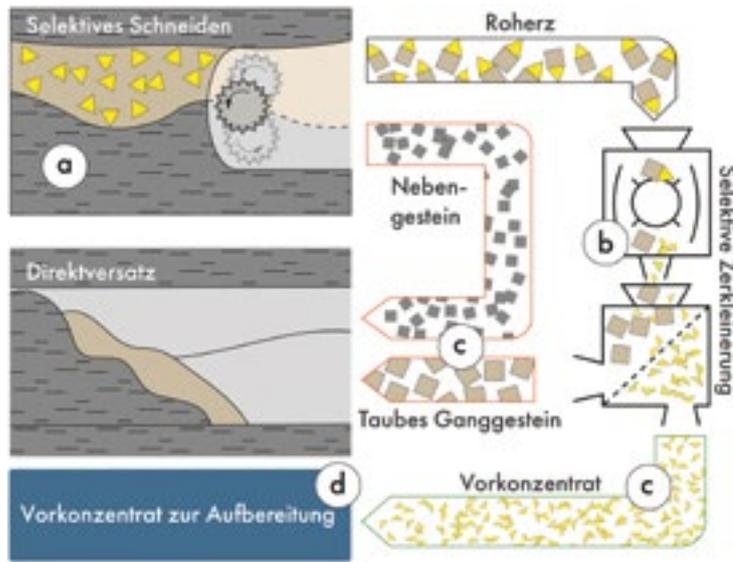


Abb. 2: Schema einer hochselektiven mechanischen Produktionskette

voranzutreiben, die diesen Ansprüchen gerecht werden, haben im Zeitraum vom 1. Juli 2016 bis zum 30. Juni 2019 elf Nachwuchswissenschaftler an sechs Professuren der TU Bergakademie Freiberg im Projekt InnoCrush geforscht. Der Fokus lag dabei besonders auf Sachsen als Rohstoffland; so wurde die Technologiekette besonders im Hinblick auf Fluorit-Baryt- und Blei-Zinklagerstätten untersucht. Die Nachwuchsforscherguppe wurde dabei aus Mitteln der Europäischen Union (ESF) über die Sächsische Aufbaubank gefördert.

Idee der Prozesskettenbetrachtung

Die betrachtete Prozesskette für den typischen Abbau von Gangerzlagerstätten ist in Abb. 2 dargestellt. Statt der Bohr- und Sprengarbeiten, die u. a. mit zahlreichen Problemen in der Arbeitssicherheit und im Umweltschutz verbunden sind, wird eine geeignete mechanische Gewinnungsmaschine eingesetzt (a). Mit entsprechender Sensorik können Erz und Wirtsgestein und/oder auch verschiedene Mineralisierungszonen innerhalb der Lagerstätte erkannt und selektiv abgebaut werden.

Das selektiv gewonnene Roherz wird ortsnah zu einem Vorkonzentrat zerkleinert (b). Dabei kommt die selektive Zerkleinerung zur Anwendung, bei der Festigkeitsunterschiede von Wertmineral und taubem Gestein genutzt werden, die zu unterschiedlichen Korngrößen führen und dann separiert werden können. Das entstehende Vorkonzentrat wird zum Ort der weiteren Aufbereitung transportiert, während das nicht werthaltige Gestein in der Nähe des Gewinnungsortes versetzt werden kann (c). Ein weiterer Transport und/oder eine Zerkleinerung des nicht

werthaltigen Gesteins entfällt. In einem klassischen Rohstoffbetrieb machen die letzten Zerkleinerungsschritte (d) bis zu 80 % des gesamten Prozessenergieverbrauchs aus, während nur 3-5 % für die Gewinnung und 5-7 % für die Vorzerkleinerung benötigt werden [3]. Da durch die Selektivität nun deutlich weniger Massen in die finale Aufbereitung gelangen, können Material- und Energieaufwand spürbar gesenkt werden. Zudem verringert sich der Anfall von Aufbereitungsrückständen und damit verbundene wirtschaftliche und Umweltfolgen.

Die Kernpunkte der hochselektiven Produktionskette sind:

- Selektiver, sicherer und schonender Gesteinsabbau mit der Möglichkeit des direkten ortsnahen Versatzes/Verkipfung von nicht werthaltigem Material
- Selektive Zerkleinerung von Erzen zur Herstellung von Vorkonzentrat
- Förderung und Weiterverarbeitung nur des Vorkonzentrats, ggf. getrennt nach Erztypen.

Aufgrund des hohen Selektivitätspotenzials dieser Technologie lag der Fokus von InnoCrush auf Lagerstätten, die davon besonders profitieren können. Als Forschungsumgebung wurden daher gangartige Lagerstätten mit geringer Größe, wie sie in Europa häufig auftreten, gewählt. In z. B. Fluorit-Baryt- und Blei-Zinklagerstätten kann relativ einfach zwischen werthaltigem und taubem Gestein unterschieden werden. Mit den heutigen Standardtechnologien und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen unterliegt deren Abbau – insbesondere in Hochlohnländern – zahlreichen Restriktionen.

Arbeitspakete

Auf mechanischer Gewinnung basierende Prozessketten bringen eine Reihe von Vorteilen, aber auch Limitierungen mit sich. Vorteilhaft ist neben der Selektivität, die zu geringen Verlusten an Wertmineral und geringer Verdünnung führt, dass sich das beim Abbau zerkleinerte Material sehr effektiv laden und abfordern lässt. Zudem kann der Mehrausbruch im Vergleich zum Bohren und Sprengen um das 1,5- bis 2,3fache reduziert werden. Dies hat auch einen erheblichen Einfluss auf die Gebirgsstabilität und den Aufwand für Sicherungsmaßnahmen wie Berauben und Ankern. Darüber hinaus ist es möglich, durch die kontinuierliche Arbeitsweise hohe Abbauleistungen zu erzielen. Zudem entstehen durch den Verzicht auf das Sprengen Vorteile für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz.

Beschränkungen für die mechanische Gewinnung ergeben sich jedoch aus den Gesteinseigenschaften, wenn bestimmte Werte für die Abrasivität oder Gesteinsfestigkeit überschritten werden. Das Spektrum der Gesteine, die z.B. mit Rundschafmeißeln wirtschaftlich geschnitten werden können, reicht von ca. 80 MPa für gering abrasive Gesteine bis ca. 160 MPa für abrasivere Gesteine.

Davon ausgehend wurden im InnoCrush-Projekt u. a. fortgeschrittene Gesteinszerstörungstechnologien untersucht, zu denen die Vorschwächung von Gestein durch Hochleistungsmikrowellen sowie der Einsatz neuer aktivierter, schlagender Werkzeuge zählten.

Die mechanischen Gewinnungsverfahren wurden in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert, jedoch bleiben künftig die Aufgaben:

- deren Fähigkeiten zu analysieren und Risiken zu identifizieren
- die Wissensbasis zu erweitern
- Synergien mit Folgetechnologien entlang der Prozesskette zu definieren.

Neben der Leistungsfähigkeit der Gewinnungsmaschinen im Hartgestein ist es von großem Interesse, ein robustes System zur Online-Erfassung von Gesteinseigenschaften und Lithologiegrenzen zur Verfügung zu haben sowie die zeitnahe Nutzung dieser Informationen für Modellaktualisierung und Maschinensteuerung (Real time mining) zu ermöglichen. Hierfür ist ein geeignetes Sensorkonzept notwendig.

Mehrere Sensortechnologien befinden sich derzeit in Forschung und Entwicklung. Das Spektrum umfasst vor allem elektromagnetische Sensoren (IR, UV, sichtbares

Das Forschungsprojekt InnoCrush verfolgte in Anlehnung an den oben genannten Ansatz zur Unterstützung neuartiger Abbautechnologien drei Hauptaufgaben, welche auf sechs Arbeitspakete (AP) aufgeteilt waren (Abb. 3):

- Weiterentwicklung des mechanischen Schneidens (AP 1, 2 & 4)
- Weiterentwicklung der selektiven Zerkleinerung und Grenzflächen-erkennung zur Verbesserung der Selektivität der gesamten Prozesskette (AP 2, 3 & 5)
- Bewertung der gesamten Prozesskette zum Nachweis ihrer Realisierbarkeit (AP 6)

Die Arbeitspakete umfassten folgende ineinandergreifende Inhalte:

AP1 – Mineralogie

Anwendung fortgeschrittener Methoden der quantitativen Mineralcharakterisierung und Etablierung von Arbeitsabläufen, die eine Vorevaluierung der Lagerstätte im Hinblick auf mechanische Prozessketten ermöglichen und das Verständnis der Rissausbreitung in inhomogenen Materialien vertiefen.

AP2 – Schneidende Gewinnung

Vertiefung des Wissens über Vorschädigungseffekte sowie kontinuierlich aktiviertes Schneiden, um eine optimale Maschinenauslegung zu ermöglichen.
Erarbeitung eines digitalen Prototyps einer entsprechenden Gewinnungsmaschine und deren Erprobung im digitalen Raum.
Vertiefung der Kenntnisse über das Schneiden unter heterogenen Bedingungen und Nutzung der Reaktionskräfte zur Materialcharakterisierung und Schichtgrenzerkennung.

AP3 – Selektive Zerkleinerung

Entwicklung von ortsnahe selektiven Zerkleinerungsverfahren auf der Basis von Prall- und Gutbettzerkleinerung.

AP4 – Modellierung

Numerische Modellierung des Schneidprozesses mittels block- und kugelbasierter Methoden mit PFC und 3DEC.

AP5 – Automation

Methoden zur Erhöhung der Selektivität durch eine auf Hyperspektralanalyse basierende Near-to-Face-Online-Sensortechnologie.

AP6 – Ganzheitliche Bewertung ...

... des Abbauprozesses und der Selektivität entlang der Prozesskette und zur Bewertung seiner Wirtschaftlichkeit, Marktattraktivität und Umweltwirkung



Abb. 3: Arbeitspakete des Projektes InnoCrush

Licht, Radar, Multi/Hyperspektral) – z. B. für die Stoßkartierung – sowie Technologien wie Röntgenfluoreszenz, *Prompt Gamma Neutron Activation Analysis* und *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) für die Online-Materialanalyse. Im Projekt InnoCrush wurde der Einsatz der Hyperspektralanalyse als Online-Prozessanalyse sowie der Einsatz von Schnittkräften für direkte und räumlich bezogene Informationen untersucht. Online-Analysemethoden sind – da sie die Genauigkeit der Qualitätsvorhersage deutlich verbessern können [4] – von großem wirtschaftlichem Wert, insbesondere wenn es darum geht, den Misch- und Bevorratungsbedarf zu reduzieren. Bei der nachgeschalteten selektiven Zerkleinerung können weitere Potenziale genutzt werden, allerdings ist es wesentlich, dass die Zerkleinerungsanlage auf das Material abgestimmt ist, um von den Unterschieden der verschiedenen Materialarten tatsächlich profitieren zu können.



Abb. 4: Linearer Schneidprüfstand HXS1000-50 an der TU Bergakademie Freiberg

Natur- und technikkwissenschaftliche Erkenntnisse

Die Ergebnisse des Zusammenwirkens der Arbeitspakete sollen am Beispiel des Abbaus und der Aufbereitung gangartiger Lagerstätten vorgestellt werden.

Den Kern der Untersuchungen im InnoCrush-Projekt bildete der lineare Schneidversuchsstand HXS 1000-50 (Abb. 4), an dem die Kräfte und die Dynamik für unterschiedliche bei der Gewinnung anwendbare Schneidtechniken untersucht wurden. Er zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus, der es ermöglicht, verschiedene Schneidwerkzeuge zu überprüfen. Die maximalen Schnittkräfte betragen 75 kN. Die Kräfte werden mit einer maximalen Abtastrate von bis zu 10 kHz gemessen. Um den spezifischen Energieverbrauch beim Schneiden zu ermitteln, kann das Volumen des herausgebrochenen Materials mit einem Laserscanner gemessen werden [5]. Im Projekt wurden Rundschafmeißel einmal herkömmlich und einmal im Impaktverfahren (Aktivierung) untersucht – bei letzterem wurde ein spezieller Hochdruckzylinder am Schneidkopf angebracht, um den Meißel zu aktivieren.

Beim aktivierten Schneiden wird die Bewegung des Meißels im Gestein durch Schlagimpulse, die vom Aktivierungszyylinder über den Meißel auf das Gestein übertragen werden, verstärkt. Wie Abb. 5 veranschaulicht, können durch diese Technik sehr hohe Spitzenkräfte für sehr kurze Zeit (ca. 3 ms) auf das Gestein ausgeübt werden, ohne dass diese auf die Gewinnungsmaschine selbst übertragen werden. Die Schnittkräfte am Werkzeug sind um den Faktor 10 größer als die Kräfte, die

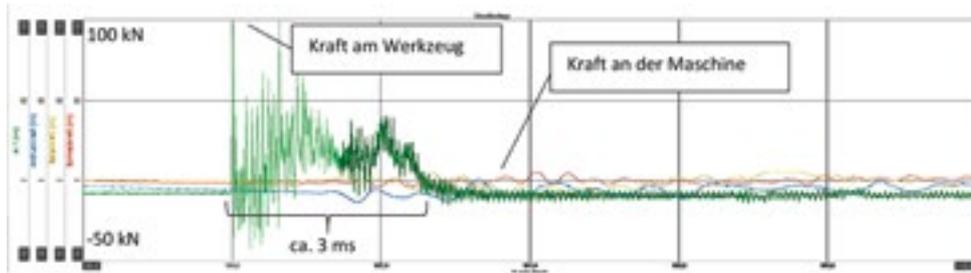


Abb. 5: Gemessener Schnittkraftverlauf beim aktivierten Schneiden [6], rechts Versuchsaufbau mit Schlagzylinder für aktivierte Schneidversuche am Schneidversuchsstand HXS 1000-50

auf den Schneidkopf übertragen werden.

Das Schneiden von Gestein ist ein komplexer Prozess im Zusammenspiel von Gestein, Schneidwerkzeug und Schneidmaschine. Im Projekt wurden daher auch Simulationsmodelle genutzt, um das Zusammenspiel von Gesteinseigenschaften, Schneidwerkzeuggeometrie und Schnittparametern besser zu verstehen und die experimentellen Ergebnisse auf einen größeren Parametersatz auszuweiten. Mit den zwei Programmen 3DEC und PFC3D, wurden u. a. Szenarien des regulären Schneidens, des aktivierten Schneidens sowie die Auswirkungen thermischer Behandlung auf die Integrität des Gebirges untersucht. Dabei konnte eine gute Nachbildung des tatsächlichen Schneidprozesses erzielt werden (Abb. 6, links).

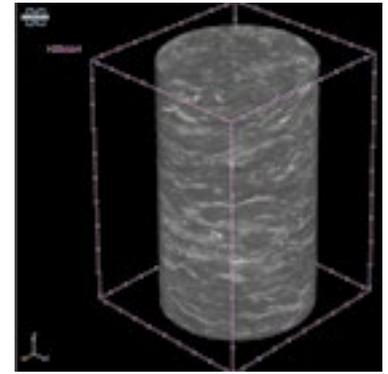
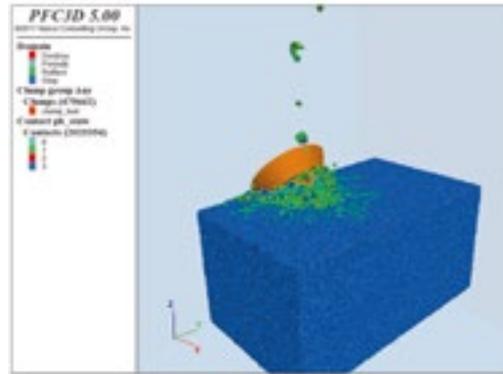


Abb. 6: 3D-Simulation des Schneidens von Gestein mit PFC3D (links) und Computertomographie von Gneisproben nach Druckversuchen (rechts) [6]

Über Schneid- und Simulationsexperimente hinaus erfolgte eine vertiefte mineralogische Analyse von anisotropen, foliierten Gesteinen am Beispiel von Gneis. Detailliert untersucht wurden auch die mechanischen Eigenschaften in Relation zur Foliation und die Durchführung einer Computertomografieanalyse des Rissverhaltens von Gneis unter verschiedenen Foliations- und Belastungsszenarien in Zusammenarbeit mit der Bergbauuniversität St. Petersburg (Abb. 6, rechts).

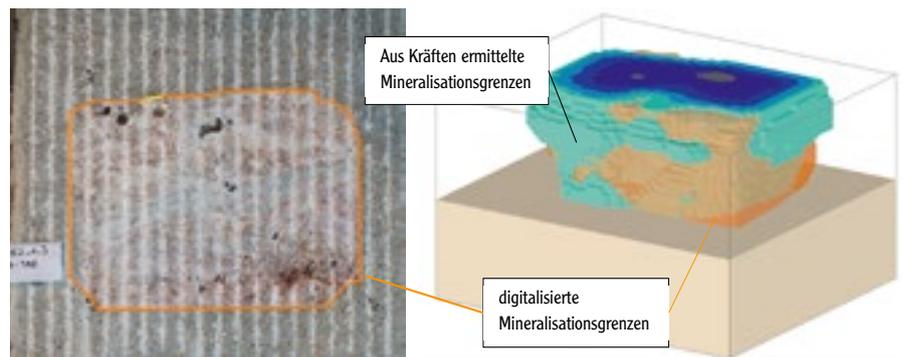


Abb. 7: Beispiel der kraftsensorgestützten Materialerkennung; Überlagerung des Erkennungsergebnisses mit dem Probesteinskörper, nach [7]

Um die Selektivität zu gewährleisten, sollte die Schneidmaschine in der Lage sein, zwischen Erz und Nebengestein und/oder verschiedenen Mineralisierungszonen innerhalb der gegebenen Lagerstätte zu unterscheiden. Hierzu wurde ein duales Sensorkonzept verfolgt, das die Messung der Schnittkräfte während des Schneidens beinhaltet, um eine Abschätzung des Gebirgszustandes sowie die Detektion von Grenzschichten zu ermöglichen (Abb. 7). Um ein solches System anwenden zu können, ist ein tiefes Verständnis von Schnittkräften in Bezug auf das Gebirge erforderlich. Die entsprechenden Versuche wurden ebenfalls am Schneidversuchsstand HXS 1000-50 durchgeführt.

Das selektive Schneiden mit Unterstützung einer sensorgestützten Trennflächenerkennung liefert ein relativ reines Gangmaterial ohne Nebengestein als primäres Gewinnungsprodukt. Die Rohstoffgehalte im Erzgang selbst können allerdings stark variabel sein.

Daher wurde eine ortsnahe, hyperspektrale Online-Analyse von Material auf einem Förderband evaluiert. Daraus ergeben sich folgende Effekte:

- der tatsächliche Mineralgehalt des gewonnenen Erzes kann abgeschätzt werden und
- beide Verfahren der Materialerkennung können sich gegenseitig auf Plausibilität prüfen und korrigieren.

Im Rahmen von InnoCrush konnte nachgewiesen werden, dass eine Erzmineraleerkennung mittels Hyperspektralkamera

mit gebrochenem Material auf dem Band möglich ist.

Um das gewonnene Roherz nun noch weiter anzureichern wird eine direkt der Gewinnung nachgeschaltete, selektive Zerkleinerung angewandt. Die meisten Erze bestehen aus verschiedenen Mineralkomponenten mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften. Die Zerkleinerung ist der Prozess, bei dem der Widerstand gegen Rissbildung überwunden wird. Eine Zerkleinerungsmaschine, die die gegebenen Unterschiede der Mineralkomponenten ausnutzt, begünstigt oder benachteiligt die Zerkleinerung mehrerer Komponenten unterschiedlich. Als solche werden sie im differenzierten Maße zerkleinert; es ergeben sich verschiedene Korngrößenverteilungen für die einzelnen Mineralfractionen. Dieses Verhalten ist

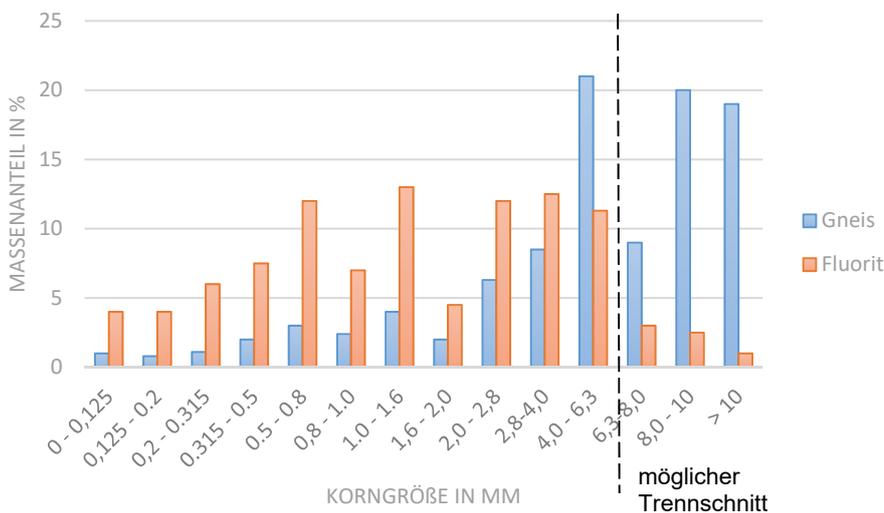


Abb. 8: Mögliche Abtrennung von Gneis bei der selektiven Aufbereitung von Fluorit-Gneis-Gemisch

eine Eigenschaft des gesamten Zerkleinerungssystems. Anschließend ist ein nachfolgender Klassierschritt notwendig, um das gewonnene Vorkonzentrat abtrennen zu können. Abb. 8 zeigt ein Beispiel dafür. Dabei können bis zu 49% des Nebengesteins vorher abgetrennt werden. Im Projekt konnte nachgewiesen werden, dass sich die selektive Zerkleinerung für die Aufbereitung von Fluorit und/oder Baryt sehr gut eignet, auch konnten wesentliche Erkenntnisse zur selektiven Gutbettzerkleinerung erhalten werden.

Ergebnisse der ganzheitlichen Bewertung der Prozesskette

Um alle bisherigen Aufgaben zusammenzuführen, wurde eine ganzheitliche Bewertung mit folgenden Zielen durchgeführt:

- Identifizieren des erwarteten Nutzens der innovativen Prozesskette im Vergleich zu herkömmlichen Bohr- und Sprengverfahren
- Entwicklung eines integrierten Bewertungsmodells der innovativen Prozesskette unter wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Aspekten, um die zuvor identifizierten Vorteile zu untermauern
- Schaffung einer Entscheidungsgrundlage für die Einführung einer innovativen Prozesskette für den interessierten Bergbaubetriebenden [6].

Basierend auf früheren Untersuchungen an der TU Bergakademie Freiberg wurde – um die Auswirkungen dieser Prozesskette im Vergleich zum Bohren und Sprengen zu bewerten – ein Modell erstellt, das als Parameter Umwelt- und Emissionsfaktoren

wie Lärm, Staub, Gasemissionen und Abfallstoffe sowie arbeitssicherheitliche, soziale und finanzielle Aspekte aufweist. Damit könnte ein Entscheidungsmodell in Bezug auf die Prioritäten der Bergbaubetriebenden erstellt werden. Das Modell wurde auf Basis des Analytical Hierarchy Processes (AHP) entwickelt.

Um das Modell und die Prioritäten der Nutzer zu homogenisieren, wurde zudem die Quality-Function-Development Methode (QFD) eingesetzt [10], die eine vergleichende Bewertung der Bedürfnisse und Prioritäten potenzieller Nutzer mit den technischen Spezifikationen eines neuen Verfahrens ermöglicht. Zur Bewertung der Prioritäten potenzieller Nutzer wurde eine Umfrage bei Bergbauexperten und Bergbauunternehmen durchgeführt. Die Ergebnisse des QFD können zudem auch für die Bewertung zukünftiger Verbesserungspotenziale der Prozesskette genutzt werden, um die Anforderungen der Anwender zu erfüllen und den Markteintritt zu erleichtern. Mit der durchgeführten Studie konnten die erwarteten Vorteile bestätigt werden. Besonders die sicherheitstechnischen und Wetterungs-Aspekte wurden von möglichen Nutzern mit großem Interesse betrachtet.

Fazit

In der trans- und interdisziplinären Forschungsgruppe InnoCrush arbeiten elf Wissenschaftler der Fachbereiche Mineralogie, Bergbau, Gesteinsmechanik, Automatisierung, Aufbereitung, Wirtschaftslehre und Umweltschutz an einem Konzept für hochselektive, ressourcenschonende Produktionsketten zusammen. Hauptziel war die Implementierung

von hochautomatisierten, selektiven und minimalinvasiven Abbauverfahren von Festgestein.

Im Rahmen des Projekts konnten neben 27 Veröffentlichungen zwei Promotionen abgeschlossen und ein Patent angemeldet werden. Weitere sechs Promotionen werden nach Projektende erwartet.

Förderhinweis: Dieses Projekt wurde aus Mitteln der Europäischen Union (Europäischer Sozialfonds) durch die Sächsische Aufbaubank unter der Programmlinie Nachwuchsforschergruppen (Projektnr.: 100270113) gefördert.



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Sozialfonds

Literatur

- 1 European Commission, Critical Raw Materials. [Online] Available: http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_de. Accessed on: Aug. 09 2018.
- 2 European Commission, "Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy," 2018.
- 3 J. Jeswiet and A. Szekeres, "Energy Consumption in Mining Commintion," *Procedia CIRP*, vol. 48, pp. 140-145, 2016.
- 4 J. Benndorf, "Turning Geo-Data into Mining Intelligence – Nutzung von Online-Daten zur Echtzeitmodellierung im Gold- und Kohlebergbau," *Berg Huetttenmaenn Monatsh*, vol. 162, no. 10, pp. 418-422, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00501-017-0634-3.pdf>, 2017.
- 5 C. Drebenstedt and M. Vorona, "Optimierung von Gewinnungsmaschinen im Tagebau – Vom Schneidprozess zur Virtuellen Realität," in 5. Fachtagung Baumaschinentechnik 2012, pp. 72-86.
- 6 B. Grafe et al., "InnoCrush: New Solutions for Highly Selective Process Chains," in *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference*, November 7-8, 2018, Potsdam, Germany, V. Litvinenko, Ed., Milton: Chapman and Hall/CRC, 2018.
- 7 B. Grafe, C. Drebenstedt, and T. Shepel, "Ways towards highly selective mechanical production chains," *Proceedings 5th International Colloquium of Non-Blasting Rock Destruction 19th - 22th November 2017*, 2018.
- 8 I. Inthavongsa, C. Drebenstedt, J. Bongaerts, and P. Sontamino, "Real options decision framework: Strategic operating policies for open pit mine planning," *Resources Policy*, vol. 47, pp. 142-153, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84959359519&doi=10.1016%2Fj.resourpol.2016.01.009&partnerID=40&md5=fbd94e911a942a047d84c6ca1da0e51e>, 2016.
- 9 I. Inthavongsa, P. Sontamino, and C. Drebenstedt, "A prototype of real options valuation framework for open pit mines planning: A road to build a dynamics decision making tools," *Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015*, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84934343747&partnerID=40&md5=7b1e232f305b93c97d809e42698bd34e>, 2015.
- 10 K. Rosin, J. Liu, and J. C. Bongaerts, "Economic, ecological and social assessment of a new „Smart Mining Technology“," *Conference of Young Scientists 2017, Sankt-Petersburg*, 2017.

CO₂-Chemisch-materialtechnische Verwertung mit Hilfe von Aminosilanen

CO₂ als effektiver Reaktand in der Siliciumchemie

Sandra Schwarzer¹

Aminosilane binden in einer quantitativen Reaktion bei Raumtemperatur CO₂ unter Bildung von sogenannten Carbamoyloxysilanen. Die Aminosilane sind ohne großen Aufwand aus Chlorsilanen und Aminen herstellbar. Die Carbamoyloxysilane bilden die Ausgangsbasis für sehr unterschiedliche Anwendungen. Sie lassen sich thermisch in Silikone umwandeln, eignen sich zur Herstellung von Isocyanaten ohne Einsatz von toxischen Substanzen, zur reversiblen Bindung von CO₂, zur Erzeugung von transparenten Gelen, zur photokatalytischen Fixierung von CO₂ u.v.m. (Abb. 1).

Die Nachwuchsforschergruppe „CO₂-Sil“ arbeitet seit September 2017 an diesem Thema. Die vom Freistaat Sachsen und aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderte Gruppe besteht aus sechs jungen Wissenschaftlern. Das Ziel der Förderung ist es, hochqualifizierte Nachwuchskräfte mit besonderem Know-how im Bereich der Silicium-, Polymer- und Materialchemie für den sächsischen Arbeitsmarkt auszubilden. Zeitgleich qualifizieren sich die jungen Forscher im Bereich der Lehre, erwerben soziale Kompetenzen und machen erste Erfahrungen im Projektmanagement. Außergewöhnlich ist die Gruppe hinsichtlich ihres hohen Frauenanteils von 67 %. Dieser ist für die Forschung in MINT-Fächern untypisch. Folgend werden die wichtigsten Arbeitsgebiete vorgestellt.

CO₂ als Sauerstoff- und Kohlenstoffquelle zugleich

Die alternative Polysiloxanherstellung basiert auf der Verwendung von Aminosilanen, Molekülverbindungen mit Si-N-Bindung. Diese können CO₂ quantitativ, d. h. mit 100%-igem Umsatz, binden. Dabei entstehen Carbamoyloxysilane (CMS). Durch thermische Zersetzung der CMS werden wichtige, industrierelevante Materialien gebildet. Je nach Reaktionsführung können Polysiloxane (Silikone), Isocyanate oder Harnstoffe gebildet werden (Abb. 1).

CO₂ dient bei diesem Verfahren als Sauerstoffquelle für die Siloxane. Für die Isocyanate bzw. Harnstoffe stellt es eine Kohlenstoffquelle dar. Während die Aufnahme des CO₂ sehr gut gelingt, ist die Zersetzung und Isolation der Siloxane deutlich komplexer und abhängig von Temperatur- und Druckverhältnissen sowie den Ausgangsmaterialien.

Im Vorhaben forschen alle gemeinsam an unterschiedlichen Abschnitten des gesamten Prozesses: der CO₂-Bindung, der anschließenden thermischen Zersetzung und den Folgeprodukten bzw. Abgangsprodukten bei der Zersetzung (Abb. 2).

Aminosilane als potenzielle CO₂-Speicher

Aminosilane sind der Schlüssel zur CO₂-Fixierung und zur anschließenden Siloxanherstellung. Die Aufnahme des Gases gelingt elegant bei Atmosphärendruck sowie unter leichtem Überdruck. Doch ist nicht nur die Bindung des CO₂ eine Zielstellung, sondern auch die reversible Desorption desselben, so dass die Aminosilane als CO₂-Speicher wirken. Die zusätzliche Fixierung der Silane auf feste Oberflächen eröffnet völlig neue Möglichkeiten der CO₂-Speicherung und Aufreinigung von Industrieabgasen. Der Einsatz dieser Technologie ist in weiten Bereichen denkbar. Zudem kann CO₂ anschließend in verwertbare Produkte

umgewandelt werden. Bei kontrollierter Auf- und Abnahme ist auch die Nutzung der Aminosilane in Detektoren denkbar.

Auch Zwischenprodukte sind interessant

Doch nicht nur Siloxane sind nützliche Produkte der Thermolyse von CMS. Es entstehen auch Isocyanate, die im Weiteren zu Harnstoffen reagieren. Isocyanate dienen der Herstellung der sehr wichtigen Polymerklasse der Polyurethane und werden in zunehmendem Maße als monomere Zwischenprodukte eingesetzt. Sie sind aus der Polymerchemie nicht wegzudenken, werden jedoch unter Nutzung des hochgiftigen Phosgens dargestellt. Unter bestimmten Bedingungen ist es im „CO₂-Sil“-Verfahren möglich, die intermediär gebildeten Isocyanate abzutrennen und auf diesem Weg zu gewinnen. Damit stellt es zu vorhandenen Prozessen eine echte Alternative zur phosgenfreien Isocyanatsynthese dar.

Neben der Isocyanatisolation beschäftigt sich die Gruppe aber auch mit der Verwendung eben solcher als Ausgangsmaterial für Polymerstoffe. Die Anforderungen an Polymere müssen ständig neuen Anwendungen angepasst und zugeschnitten werden. Haushaltsprodukte sollen ungiftig und langlebig sein, bestenfalls wie am Beispiel Polstermöbel sogar Brandschutzeigenschaften aufweisen. Im Vorhaben

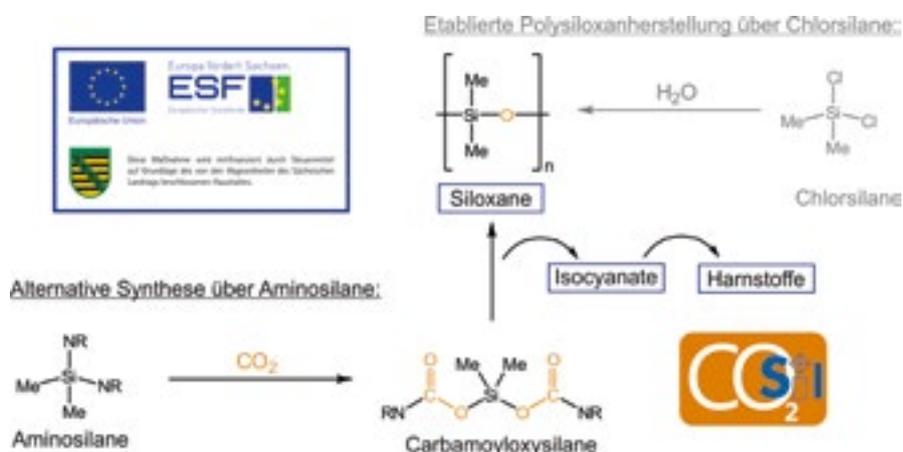


Abb. 1: Polysiloxanherstellung über das neue Verfahren im Vergleich zum Industrieprozess und die vielfältigen im „CO₂-Sil“-Projekt untersuchten Anwendungsmöglichkeiten

¹ Dr. Sandra Schwarzer, TU Bergakademie Freiberg, Sandra.Schwarzer@zuv.tu-freiberg.de

Arbeitspaket	Thema	Verantwortlicher
AP1	Herstellung von Silikonen	M. Sc. Christopher Ryll
AP2	Isolierung von Isocyanaten und Diisocyanaten	M. Sc. Franziska Gründler
AP3	Synthese neuartiger Isocyanat-Aminosilan-Polymere	Dr. Sandra Schwarzer
AP4	Neuartige CO ₂ -Speicher	M. Sc. Marcus Herbig
AP5	Carbamatsynthese ausgehend von Aminosilanen	M. Sc. Marlene K. Baumhardt
AP6	Biokompatible Schichten und Gele aus Carbamoyloxysilanen	N.N.
AP7	Quantenchemische Berechnungen	M. Sc. Lia Gevorgyan

Abb. 2: Einzelne Arbeitspakete im Vorhaben

wird gezeigt, dass Isocyanate und Aminosilane neuartige Polymere bilden. Deren Anwendungspotenzial und Erfüllung moderner Anforderungen werden dabei genauestens untersucht.

CMS – mehr als Ausgangsstoffe für Siloxane

Die Carbamoyloxysilane (CMS) eignen sich nicht nur auf Basis einer Zersetzungreaktion als guter Ausgangsstoff für wichtige Materialien. Die Stoffklasse selbst eröffnet bei genauerer Betrachtung weitere interessante Anwendungsfelder. Durch beispielsweise Umesterungsreaktionen könnten Carbamate aus CMS zugänglich sein. Carbamate sind von großer industrieller Bedeutung, sie finden besonders in der Pharmazie und in der Agrarwirtschaft Anwendung. Großtechnisch werden sie jedoch auch mithilfe der Isocyanate und damit unter Verwendung des giftigen Phosgens hergestellt. Bei der Alternativroute wird gänzlich auf die Verwendung der Isocyanate verzichtet.

Des Weiteren lassen sich CMS durch Zugabe von Wasser hydrolysieren. Es

konnte bereits gezeigt werden, dass sich aus Vorstufen der CMS sehr effizient transparente Gele bilden. Darin eingebettet überleben Mikroorganismen nachweislich und betreiben weiterhin ihren Stoffwechsel. Auch die CMS selbst scheinen hierfür besonders geeignet zu sein. Aufgrund der Abgangsprodukte, die bei der Wasserbehandlung entstehen, sind diese für die Einschlussimmobilisierung von Mikroorganismen sogar besser geeignet.

Austausch mit Industriepartnern

Die Forschungsergebnisse besitzen einen unmittelbaren Bezug zu industriellen Anwendungen und stoßen somit auf reges Interesse bei zahlreichen Industriepartnern. Um die Ergebnisse den industriellen Anforderungen anzupassen, erfolgt der ständige Austausch im Rahmen eines unterstützenden Beirates aus Vertretern großer und mittelständischer Unternehmen. Dazu gehören Firmen wie Evonik Industries, SILTECTRA GmbH, Bindur GmbH und Momentive Performance Materials Inc..

„Grüne“ Chemie in umweltbewussten Zeiten

Eine wichtige Anforderung an die Nachwuchsforscherguppen in Sachsen ist die Unterstützung des Umstiegs auf CO₂-emissionsarme, dem Klimawandel entsprechende Technologien. Im Projekt „CO₂-Sil“ wird unter verschiedenen Gesichtspunkten auf eine umweltbewusste Forschung geachtet. Zum einen wird in fast allen Prozessen CO₂ als Sauerstoffquelle genutzt und damit perspektivisch abgebaut. Zum anderen wird an einer „grünen“ Alternative zur Isocyanatherstellung, die keine giftigen Phosgene benötigt, geforscht. Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren den Einsatz biogener Stoffe, sprich Stoffen biologischer Herkunft. Endprodukte könnten im Idealfall biologisch leichter abgebaut und die freiwerdenden anorganischen Stoffe von Mikroorganismen genutzt werden.

Durch die stoffliche Verwertung des Kohlendioxids trägt die Nachwuchsforscherguppe „CO₂-Sil“ zum Erhalt und dem Schutz der Umwelt bei. Im Sinne des Leitbildes unserer Ressourcenuniversität ordnen sich diese Arbeiten in die vernetzten Profillinien Material und Umwelt ein und leisten punktuell einen Beitrag zu einer emissionsarmen Kohlenstoffkreislaufwirtschaft.

Die Nachwuchsforscherguppe bedankt sich für die finanzielle Unterstützung durch den Europäischen Sozialfonds und den Freistaat Sachsen.

Weitere Hinweise zur ESF-Nachwuchsforscherguppe und aktuelle Informationen finden Sie auf unserer Webseite:

<https://tu-freiberg.de/forschung/co2sil>.



Abb. 3: ESF-Nachwuchsforscherguppe „CO₂-Sil“ (v.l.) Christopher Ryll, Marlene K. Baumhardt, Marcus Herbig, Sandra Schwarzer, Franziska Gründler, Lia Gevorgyan



Abb. 4: Aktivitäten zur Teambuilding und für „Soft-Skills“, hier im Escape Room Freiberg

Die TU Bergakademie Freiberg ist Welterbe!

Helmuth Albrecht

Na ja, nicht allein! Zusammen mit der historischen Altstadt Freibergs sowie der Himmelfahrt Fundgrube sind der Gebäudekomplex Akademiestraße/Nonnengasse/Prüferstraße, der Werner-Bau sowie weitere historische, denkmalgeschützte Gebäude des Innenstadt-Campus der Bergakademie sowie die zum Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche gehörenden Schachtanlagen Alte Elisabeth und Reiche Zeche Teil der Bergbaulandschaft Freiberg, die wiederum einen von insgesamt 22 Bestandteilen der grenzüberschreitenden deutsch-tschechischen Kulturlandschaft Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří bildet. In ihrer Gesamtheit repräsentieren diese 22 Bestandteile die mehr als 800-jährige Montangeschichte des Erzgebirges mit ihren Schwerpunkten im Berg- und Hüttenwesen, der Siedlungs-, Stadt- und Landschaftsentwicklung, der Verwaltung und Organisation, des Bildungswesens und der Traditionspflege sowie der Gewinnung und Verarbeitung der wichtigsten Erzvorkommen der Region wie Silber, Zinn, Kobalt, Eisen und Uran.

Die Bergbaulandschaft Freiberg gehört im Rahmen der neuen seriellen Welterbe-Stätte zu deren umfangreichsten Bestandteilen und repräsentiert mit der historischen Altstadt Freibergs, den über- und untertägigen Bergbauanlagen von Freiberg, Brand-Erbisdorf, Halsbrücke, Grobschirma und Gersdorf sowie dem Hüttenkomplex Muldenhütten, dem bergmännischen Wasserwirtschaftssystem – von der nach wie vor aktiven Revierwasserlaufanstalt (RWA) vom Kamm

des Erzgebirges im Süden bis hin zum Mundloch des Rothschönberger Stollns im Norden oder dem Erzkanal mit seinen Kahnhebehäusern entlang der Mulde zwischen Halsbrücke und Klein-Voigtsberg – vor allem Relikte des Silberbergbaus im Erzgebirge vom 12. bis zum 20. Jahrhundert.

Unter den rund 500 Einzelobjekten und Ensembles der gesamten Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří kommt den zur TU Bergakademie Freiberg gehörenden eine besondere Bedeutung zu. So repräsentiert die Bergakademie vor allem die bedeutenden Beiträge der Region zur Entwicklung von Geowissenschaften, Bergbau- und Hüttentechnologie sowie zum Ausbildungswesen für Bergbau- und Hüttenexperten weltweit. Hierfür stehen Namen wie Abraham Gottlob Werner, Alexander von Humboldt, Ferdinand Reich, Clemens Winkler, Julius Weisbach oder Gustav Zeuner – um nur einige von vielen herausragenden Persönlichkeiten zu nennen. Die Bergakademie selbst wurde im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert zum Muster für die Gründung zahlreicher Bergbauhochschulen weltweit. Die Himmelfahrt Fundgrube mit ihren Schachtanlagen Reiche Zeche und Alte Elisabeth gehörte im 19. Jahrhundert zu

den größten Verbundbergwerken des europäischen Erzbergbaus überhaupt. Das Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche konnte in diesem Jahr sein 100-jähriges Bestehen feiern und stellt heute als Teil des Campus der TU Bergakademie Freiberg eine weltweit einzigartige Einrichtung dar. Als sich weiterentwickelndes Bergwerk spannt es vor allem mit seinen historischen untertägigen Stolln, Strecken und Abbauen sowie modernen Versuchseinrichtungen der Gegenwart den Bogen vom 14. bis ins 21. Jahrhundert. Die Gebäude und Grubenbaue der TU Bergakademie Freiberg sind materielle Sachzeugen der wissenschaftlich-technischen, bildungspolitischen und administrativen Bedeutung der Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří in Sachsen, Deutschland, Europa und weltweit. Damit bilden sie einen zentralen Grundpfeiler des außergewöhnlich universellen Wertes der Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří und ihres nunmehr anerkannten Anspruchs als Teil des UNESCO-Welterbes.

Mehr noch: Die TU Bergakademie Freiberg kann sich rühmen, einen ganz wesentlichen Beitrag zur Erlangung des Welterbe-Titels geleistet zu haben. Seit März 2000 – also über fast 20 Jahre hinweg – war das Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) der TU Bergakademie Freiberg einer der wesentlichen Motoren auf dem Weg zum Welterbe. Hier wurde die Idee, für das Erzgebirge den Welterbe-Status anzustreben – nach der Eintragung in die offizielle deutsche



Mitglieder der Delegation im Convention Centre in Baku, 6. Juli 2019. V.l.: Stefan Krawielicki, Deutscher Botschafter bei der UNESCO; Annett Hofmann, Ehefrau des Ministerpräsidenten; Michael Kretschmer, Ministerpräsident von Sachsen; Landrat a.D. Volker Uhlig, Vorsitzender des Vereins Welterbe Montanregion Erzgebirge e. V.; Prof. Helmuth Albrecht, Leiter der Welterbe-Projektgruppe an der TU Bergakademie Freiberg

Paweł Sosnowski/pawel.sosnowski.com

Warteliste für das UNESCO-Welterbe im Jahr 1998 auf Antrag des Freistaates Sachsen durch die Kultusministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland – aufgegriffen und gegen erhebliche Widerstände und trotz zahlreicher Rückschläge schließlich zum Erfolg geführt. Sämtliche Studien und Forschungsprojekte bis hin zur Konzeption des Welterbe-Antrags und zur Ausarbeitung seines sächsischen Teils sowie der Einbeziehung der tschechischen Partner in eine gemeinsame, grenzüberschreitende Bewerbung, das Nominierungsdossier, der Managementplan, die notwendigen umfassenden Vergleichsstudien sowie das umfangreiche Kartenmaterial des rund 1.400 Seiten umfassenden, in Englisch abgefassten Antrages wurden ganz wesentlich von den Mitarbeiter/innen der Welterbe-Projektgruppe des IWTG erstellt. So entstand am IWTG nicht nur der erste, später zurückgezogene Antrag von 2015, sondern auch der jetzt erfolgreiche Antrag aus dem Jahr 2018. Wichtige Stationen auf diesem Weg waren: März 2000 die Gründung der Welterbe-Projektgruppe, Dezember 2001 die Machbarkeitsstudie für das Welterbe-Projekt, 2003 die Gründung des Fördervereins Montanregion Erzgebirge e. V. zur ideellen und finanziellen Förderung des Projekts,

2007 die Umsetzungsstudie mit konkreten Vorschlägen zur Auswahl der Welterbe-Objekte, 2008 bis 2012 die Anfertigung von 27 Realisierungsstudien mit den damals 35 beteiligten Kommunen zur konkreten Festlegung der Welterbe-Objekte, ihrer Grenzen und Pufferzonen sowie die Entwicklung einer Bottom-Up-Strategie unter Einbeziehung aller relevanten Partner vor Ort für diese Studien. Erstmals beteiligten sich im Rahmen der Umsetzungsstudien die Kommunen zu einem Drittel an den Kosten der zu erstellenden Studien, deren Umfang – je nach Objektanzahl und Bedeutung – zwischen 30 und 250 Seiten lag. Diese Umsetzungsstudien bildeten die Grundlage für die eigentliche Antragserstellung in den Jahren 2013 bis 2015 bzw. 2016 bis 2018. Mitglieder der Projektgruppe des IWTG standen dabei in allen 35 Kommunen in Ausschuss-, Stadt- und Gemeinderatssitzungen Rede und Antwort. Maßgeblich beteiligt war die Projektgruppe des IWTG ferner an der Planung und Durchführung der verschiedenen Expertenbesuche von ICOMOS (Internationaler Denkmalrat) zur Prüfung und Evaluierung des Welterbe-Antrags vor Ort im Erzgebirge. Diese Besuche dauerten bis zu zehn Tage, wobei jeweils etwa 1.000 km zurückgelegt wurden, um alle Objekte sowohl über- wie auch untertage besichtigen zu können. In der letzten Antragsphase erarbeitete die Projektgruppe 2018 schließlich noch die Unterlagen für die notwendig gewordene Denkmalverträglichkeitsstudie für das geplante neue Lithium-Bergwerk in Altenberg, die mit Unterstützung der Projektgruppe durch den englischen Bergbauexperten Barry Gamble erstellt wurde.

Zum treibenden ideellen und finanziellen Motor der Bewerbung entwickelte sich ab 2003 der Förderverein Montanregion Erzgebirge e. V. mit Sitz am IWTG in Freiberg unter dem Vorsitz von Landrat bzw. Landrat a. D. Volker Uhlig. Zweiter Vorsitzender wurde der Direktor des IWTG. Die Geschäftsführung des Vereins lag die meiste Zeit über in den Händen von Mitarbeiter/innen bzw. Absolvent/innen des IWTG (Dr. Roland Ladwig, Jane Ehrentraut, Stefanie Ullrich, Dr. Daniela Walther, Franz Dietzmann). Über den Direktor des IWTG wurde zudem die Verbindung zur Familie Marianne und Dr. Frank-Michael Engel in Starnberg hergestellt, die mit ihrer eigens zur Förderung des Montanregion-Projekts gegründeten Stiftung ab 2006 jährlich die Arbeit des Fördervereins mit einer großzügigen Spende unterstützte. Ohne jegliche staatliche oder anderweitige Förderung war es so dem Verein allein aus seinen Mitgliedsbeiträgen und der Spende der Engel-Stiftung heraus möglich, mit Unterstützung des IWTG verschiedene, zunächst kleinere, später dann größere EU-Projekte zur Realisierung und Begleitung der Welterbe-Nominierung zu finanzieren. Den Höhepunkt dieser Reihe von Förderprojekten bildete 2017 die Bewilligung des bis 2020 laufenden Interreg VA-Projekts „Unser WeltErbe – die montane Kulturlandschaft Erzgebirge/Krušnohoří“ zur Vermittlung des Welterbe-Gedankens durch

Schulprojekte, Lehrerfortbildungen und grenzübergreifende Bildungsangebote für Vereine der Region, an dem sich unter der Führung des IWTG der Förderverein Montanregion, die Internationale Akademie Berlin für innovative Pädagogik, Psychologie und Ökonomie sowie als tschechische Partner die Universität J. E. Purkyně und das Denkmalamt in Ustí nad Labem sowie der Verein Montanregion Krušné hori – Erzgebirge o.p.s. aus der Region Karlovy Vary beteiligen. Das mit 1,2 Mio. Euro geförderte Projekt hat seit 2017 zahlreiche Schulprojektwochen, Lehrerfortbildungen und Vereinsschulungen im Erzgebirge ermöglicht.

Eine wichtige Voraussetzung für derartige Projekte sowie zentrale Grundlage für den Erfolg der Nominierung war seit 2003 die Einbeziehung tschechischer Partner auf der böhmischen Seite des Erzgebirges, zu dessen Bergbauvereinen und Kommunen das IWTG den Kontakt aufbaute. Ein erster Höhepunkt dieser grenzüberschreitenden Zusammenarbeit war 2010 eine Vorstellung des Projekts durch den Direktor des IWTG vor dem Senat in Prag. Sie führte letztlich 2012 zur Zustimmung der Prager Regierung zu einem gemeinsam mit der Bundesrepublik Deutschland zu initiiierenden Verfahren der offiziellen Nominierung der Montanregion für das Welterbe. Wie auf tschechischer Seite



Birgitta Ringbeck, UNESCO-Koordinatorin/Auswärtiges Amt, Michael Kretschmer, Ministerpräsident von Sachsen, Stefan Krawielicki, Deutscher Botschafter bei der UNESCO, Prof. Helmuth Albrecht, TU Bergakademie Freiberg und Leiter Welterbe-Projektgruppe, aufgenommen nach der Entscheidung des Welterbe-Komitees in Baku, 6. Juli 2019

Pawel Sosnowski/pawelsosnowski.com

(sechs Kommunen und zwei Distrikte) schlossen sich auch auf sächsischer Seite im Ergebnis der Umsetzungsstudien 2011/12 die beteiligten 35 Kommunen und drei Landkreise im Erzgebirge zunächst zum Welterbe-Konvent und dann zum Verein Welterbe Montanregion Erzgebirge e. V. zusammen, der fortan als Trägerverein des Welterbe-Projekts firmierte. Die beteiligten Kommunen und Landkreise übernahmen nun die Trägerschaft für die Nominierung, d. h. maßgeblich deren Finanzierung, Verwaltung und

Organisation. Damit konnte ab 2012 das Nominierungsverfahren professionalisiert und in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaftsförderung Erzgebirge (WFE) und dem Tourismusverband Erzgebirge (TVE) in Annaberg-Buchholz sowie dem IWTG und dem Förderverein Montanregion Erzgebirge e. V. in Freiberg vorangetrieben werden. Das IWTG konzentrierte sich nun auf die wissenschaftliche Antragserstellung sowie in Kooperation mit dem Förderverein auf die Vermittlungsprojekte zum Welterbe-Gedanken in der Region. Es wurden Arbeitsgruppen zu relevanten Themen – wie Regionalentwicklung, Management, Tourismus, Denkmalpflege und zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit – gegründet, die alle relevanten Partner zusammenführten. Das IWTG übernahm die Leitung der AG Denkmalpflege, in der alle Vertreter der unteren Denkmalschutzbehörden der Region sowie die Landesämter für Denkmalpflege und Archäologie vertreten sind. Für die Vorbereitung und Koordinierung des komplexen Welterbe-Antrags übernahmen diese Arbeitsgruppen eine wichtige Funktion.

Eng eingebunden war die Welterbe-Projektgruppe des IWTG darüber hinaus in die Entwicklung des sächsischen und des



Dörnthal Kunstteich, Welterbe-Objekt Aktive Revierwasserlaufanstalt (RWA) als Teil des bergmännischen Wasserwirtschaftssystems im Welterbe-Bestandteil Bergbaulandschaft Freiberg, Aufnahme 2008





Welterbe-Objekt Herrenhof Erlahammer in Erla bei Schwarzenberg. Blick in den Innenhof, Aufnahme 2019



Welterbe-Objekt Svornost-Schacht in Jáchymov, Aufnahme 2019

grenzüberschreitenden Managementplans für das neue Welterbe. Im Rahmen dieser Pläne wurde ein auf mehrere Jahre konzipiertes System und Regelwerk für die Überwachung (Monitoring), den Erhalt der Welterbe-Objekte und die notwendigen Maßnahmen dafür, einen nachhaltigen Tourismus in der Region sowie ein Verfahren zur Lösung möglicher Konfliktfälle entwickelt. Grundlage dieses Managementplans sind alle geltenden gesetzlichen Bestimmungen und Ordnungen zum Schutz und Erhalt, zur wirtschaftlichen und infrastrukturellen Entwicklung, zu Baumaßnahmen, zur Flächennutzung bzw. Raumentwicklung in der Region. So wurden bereits bei der Erarbeitung der Umsetzungsstudien alle in den Kommunen und Landkreisen relevanten Entwicklungsprojekte, darunter auch die eines möglichen neuen Bergbaus in der Region, in Zusammenarbeit mit allen relevanten Behörden und Trägern auf ihre Kompatibilität mit dem Welterbe-Status geprüft und ggf. Anpassungen in der Auswahl der Welterbe-Objekte vorgenommen. Alle beteiligten Kommunen, Landkreise, Behörden und Institutionen haben sich hierbei auch für die Zukunft zu einer engen Zusammenarbeit zur Bewahrung des Welterbes verpflichtet.

Last but not least wurde das IWTG 2015 vom Sächsischen Staatsministerium des Innern (SMI) mit dem Aufbau einer Welterbe-Koordinierungsstelle für den Freistaat Sachsen beauftragt. Aufgabe dieser Koordinierungsstelle ist die Betreuung aller sächsischen Welterbe-Stätten sowie die Erarbeitung von Vorschlägen für weitere sächsische Welterbe-Anträge und deren Anleitung und Betreuung im Rahmen der Bewerbung für die deutsche Welterbe-Warteliste bzw. die Unterstützung bei der Ausarbeitung neuer Anträge. Friederike Hansell, seit 2010 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Welterbe-Projektgruppe des IWTG, wurde für diese Arbeit durch das SMI zur sächsischen

Welterbe-Koordinatorin berufen. Der Freistaat Sachsen hat sich mit dem Auftrag zum Aufbau der Koordinierungsstelle – entgegen seiner nach dem Verlust des Dresdener Welterbe-Titels lange Zeit distanzierten Einstellung zum UNESCO Welterbe – zu einer nunmehr positiven Haltung und zur Entwicklung weiterer Welterbe-Anträge entschlossen. Deutlich wurde dies auch durch das Statement des sächsischen Ministerpräsidenten Michael Kretschmer anlässlich der Aufnahme der Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří in die Welterbe-Liste auf der Sitzung des Welterbe-Komitees in Baku/Aserbaidschan am 6. Juli 2019, in dem er sich zu einer Bewahrung des kulturellen Erbes der Region und zu einer erweiterten Förderung der neuen Welterbe-Stätte durch den Freistaat bekannte. Erstes Ergebnis dieser neuen Haltung des Freistaates ist eine erstmalige, wenn auch noch bescheidene Förderung des Welterbe-Projekts bzw. der neuen Welterbe-Stätte im derzeit laufenden Doppelhaushalt des Freistaates.

Die 22 Bestandteile der Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří und damit auch die Stadt Freiberg und ihre TU Bergakademie sind nun Welterbe und damit Teil des bedeutendsten kulturellen Erbes der Menschheit. Es ist jetzt und in der Zukunft unser aller Aufgabe, dieses Erbe für die kommenden Generationen zu bewahren. Welterbe werden, ist eine Sache. Welterbe sein, eine andere. Nun gilt es, die in der Konvention festgeschriebenen Verpflichtungen zur Bewahrung und Vermittlung des Welterbes sowie die in ihm liegenden Chancen zur positiven Imagepflege des Erzgebirges nach innen und außen sowie nicht zuletzt auch im Tourismus durch ein professionelles Management und eine breite Unterstützung und Mitarbeit aller umzusetzen und zu nutzen. Das IWTG der TU Bergakademie Freiberg wird dazu auch weiterhin seinen Beitrag leisten.



Abb. 1: Fördergerüst Schacht Reiche Zeche

100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk

Helmut Mischo

Im Jahr 1916 wurde das Eigentum an den Schächten »Alte Elisabeth« und »Reiche Zeche« sowie an Teilen des untertägigen Grubengebäudes der 1903 stillgelegten »Himmelfahrt Fundgrube« an die Bergakademie übertragen. Mit der offiziellen Eröffnung als Lehrgrube am 1. Mai 1919 schlug die Hochschule ein neues Kapitel im Lebensweg dieses geschichtsträchtigen Bergwerksbetriebes auf. Heute sind wir stolz darauf, dass seit nunmehr 100 Jahren im hochschuleigenen Bergwerk gelehrt und geforscht werden kann, allerdings mit Unterbrechungen, denn beides kam gegen Ende des Zweiten Weltkrieges für kurze Zeit zum Erliegen. Ab 1969 trat erneut eine Pause ein, als der Gewinnungsbergbau in Freiberg eingestellt wurde, bis dann das Forschungs- und Lehrbergwerk im Zuge einer Wiederaufwältigung der Schächte und Strecken ab 1975 Stück für Stück in Betrieb genommen wurde.

Die politischen und sozioökonomisch tiefgreifenden Ereignisse des Jahres 1989 und die deutsche Wiedervereinigung 1990 hatten auch auf die sächsischen Hochschulen einen erheblichen Einfluss. Die bis dahin geltende Rechtsform und die etablierten Strukturen wurden durch eine neue

Hochschulstruktur nach westdeutschem Modell ersetzt. In diesen Zeiten des Umbruchs war es dem großen persönlichen Engagement verantwortlicher Personen in der Hochschulleitung, der Hochschulverwaltung und den wissenschaftlichen Instituten zu verdanken, dass die damalige Lehrgrube einen festen Platz innerhalb der Bergakademie zuerkannt bekam. Die darauffolgenden Jahre waren gekennzeichnet von der Konsolidierung der geschaffenen Struktur, der Sicherung der bis dato bereits nutzbar gemachten untertägigen Hohlräume und dem schrittweisen Ausbau der Bereiche, die für Forschung und Lehre nutzbar waren.

Heute verbirgt sich in dieser jahrhundertealten Bergwerksanlage in einem der letzten historischen Silberbergwerke Europas ein moderner Lehr- und Forschungsstandort – nicht nur für die Technische Universität Bergakademie Freiberg, sondern auch für Partner aus Industrie und Forschung aus der ganzen Welt. Untertägiges LAN bzw. W-LAN, der Aufbau eines digitalen Sensornetzwerks zur Personenerfassung oder der Einsatz der Roboter „Julius“ und „Alexander“ sind nur einige Beispiele dafür, dass und wie in einem

alten Bergwerk modernste Forschung erfolgt. Dabei kommen im Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) alle Vorgaben und auch die Sachzwänge eines aktiven, bergrechtlich bewilligten Bergwerksbetriebes zum Tragen. Seit Anfang des Jahrtausends wird in mehreren im FLB installierten Anlagen geothermische Energie gewonnen. Damit und mit den seit November 2015 laufenden Versuchen zur Metallgewinnung ist das Bergwerk bergrechtlich sowohl als Gewinnungsbetrieb als auch als Versuchsgrube eingestuft und in der Kombination von Gewinnungs-, Lehr- und Versuchsbetrieb europaweit einmalig. Dies bedeutet aber auch, dass die Vorgaben des BBergG, wie etwa das Vorhalten einer Grubenwehrstruktur, auch auf dem bzw. im FLB umgesetzt werden müssen.

Ein wichtiger strategischer Vorteil und Unterschied zu anderen untertägigen Forschungseinrichtungen in Europa ist die Nähe des FLB zum Campus der Universität und zum Stadtkern. Dies bedeutet, dass verbundene Forschungsinstitute und wichtige Infrastruktur sich in nur geringer Entfernung befinden. Die TU Bergakademie Freiberg ist somit gegenwärtig deutschland- und europaweit die einzige

Hochschule, die ein bergrechtlich bewilligtes Gewinnungs- und Forschungsbergwerk für Forschungs- und Lehrzwecke auf ihrem Campus betreibt. Als zentrale Einrichtung der Bergakademie bietet das FLB dabei nicht nur die Möglichkeit, unter Tage zu lehren und zu forschen, sondern bietet gleichzeitig Zugang zu diversen großtechnischen Anlagen – z. B. für die geothermische Nutzung von Grubenwässern (Schloss Freudenstein, Kreiskrankenhaus Freiberg und Campus Reiche Zeche). Zudem ist es einer der technisch nach wie vor befahrbaren Hauptzugänge zum Rothschönberger Stolln. Dieser fungiert als zentrales Element des Hochwasserschutzes im gesamten Freiburger Revier.

Das aktive Bewilligungsfeld des Bergwerks umfasst eine Fläche von 4,12 Quadratkilometern. Aufgeschlossen durch die Schächte „Alte Elisabeth“ und „Reiche Zeche“ stehen zurzeit etwa 19 Kilometer Streckennetz auf fünf Sohlen für Forschung und Lehre zur Verfügung (Abb. 1). Im Aufsichts- und Kontrollbereich des Bergwerks liegen außer dem untertägigen Grubengebäude die Tagesanlagen „Reiche Zeche“ und „Alte Elisabeth“ mit den zugehörigen Schachtgebäuden, Fördermaschinen und -einrichtungen, Kauen und Werkstätten. In den vergangenen Jahrzehnten wurden die bergtechnischen und infrastrukturellen Voraussetzungen für Forschung und Lehre kontinuierlich verbessert und ausgebaut. Glasfaserkabel und teilweise auch W-LAN sorgen für eine Internetanbindung, so dass Forschungsdaten von unter Tage aus problemlos übertragen werden können. Das Bergwerk ist in das hochschuleigene EDV-Datennetz eingebunden und damit zugleich in das weltweite Forschungs-EDV-Netzwerk „eduroam“.

In den vergangenen Jahren wuchs kontinuierlich das Interesse externer Partner an diesem Bergwerk, so dass nach und nach eine sich stetig vergrößernde Anzahl von Versuchsständen, Laboren und Praktika nach unter Tage verlegt bzw. neu geplant und aufgebaut wurden. Im Jahr 2018 waren 32 untertägige Versuchs-, Lehr- und Praktikumsstände in Betrieb. Dort laufen mehrere Projekte, die mit Bundes-, Landes- und EU-Mitteln sowie aus Mitteln der Dr. Erich-Krüger-Stiftung gefördert werden und die Kräfte einer Vielzahl von externen Partnern bündeln. Derzeit sind insgesamt 15 Institute der TU Bergakademie Freiberg und daneben 33 externe Partner aus 26 Ländern in die Forschung und Lehre im FLB involviert, teilweise auch mit Großversuchen. Institutionelle

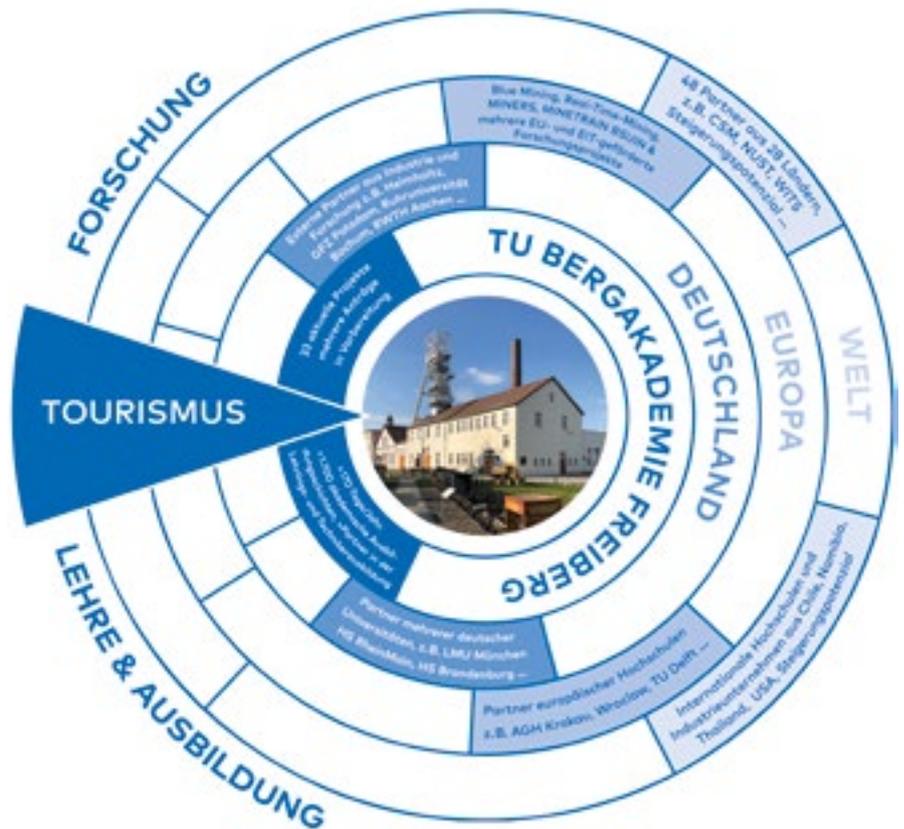


Abb. 2: Strategisches Entwicklungskonzept des Forschungs- und Lehrbergwerks

Forschungspartner – wie Hochschulen und „reine“ Forschungseinrichtungen – halten sich dabei der Anzahl nach mit Industriepartnern in etwa die Waage. Mehrere weitere Versuchsstände zur industriellen Forschung sowie für öffentlich finanzierte Projekte befinden sich im Aufbau. Für Lehrzwecke wird das FLB ebenfalls mehr und mehr nachgefragt. Allein im Jahr 2018 wurden an über 140 Tagen knapp über 1.700 studentische Lehr- und Praktikumsschichten aus 21 internen und externen Programmen unter Tage verfahren. Die facettenreichen und spannenden Wissenschaftsprojekte, denen das FLB aktuell Raum und Rahmen bietet, haben nicht nur Relevanz für den Bergbau, sondern reichen weit über die primäre Rohstoffforschung hinaus. Sie spannen einen Bogen von der Astrophysik über die Schockwellenhochdruckforschung – in deren Fokus die Entwicklung neuer Werkstoffe steht – bis hin zu Grundlagenuntersuchungen, die sich neuen Materialien und Technologien zur energieeffizienten und nachhaltigen Rohstoffgewinnung widmen. Zudem geht es um die Lösung logistischer Fragen, zum Beispiel durch den Einsatz leichter und korrosionsbeständiger Kunststoffbauteile statt schwerer Stahlelemente. Die große Bandbreite der Projekte

umfasst des Weiteren die Rolle der Mikrobiologie in technisierten Verfahren sowie Versuchsstände zum Umwelt- und Gewässerschutz – ebenso wie die gezielte Konditionierung des tiefen geologischen Untergrundes, um geothermische Energieversorgungssysteme zu modellieren und zu optimieren. Erkenntnisse zum Einsatz moderner und beständiger Materialien – wie etwa Beton oder Stahl – unter ausgeprägten Umwelteinflüssen stehen im Mittelpunkt von Versuchen, die nicht nur für den Tunnel- oder den Spezialtiefbau, sondern auch für die Altbergbausanierung von Interesse sind.

Für alle diese Felder bietet die Realumgebung des Bergwerks mit seinen ph-neutralen bis sehr sauren Bereichen eine optimale Grundlage für eine Reihe einzigartiger Versuchsszenarien. Einige der untertägigen Versuchsstände sind schon seit weit über einem Jahrzehnt im Betrieb, wie z. B. die Versuchseinrichtungen des Geoforschungszentrums Potsdam. Aktuell werden weitere acht Stände geplant bzw. aufgebaut. Forschungsgegenstand ist hier u. a. der Einsatz neuer Materialien im Bergbau – wie beispielsweise von Kunststoff oder die Optimierung von Förderprozessen zur Steigerung der Energieeffizienz. Dabei trägt das unikale Forschungsumfeld

dazu bei, schneller praxistaugliche und einsatzfähige Lösungen zu finden und auf einem fortgeschrittenen Technology-Readiness-Level einzusteigen. Angesichts seiner außergewöhnlichen Möglichkeiten spielt das FLB daher eine besondere Rolle innerhalb europäischer Forschungsverbünde und -infrastrukturen: Es ist als „Forschungsdemonstrationsstandort“ für mehrere EU- und Bundesprojekte ausgewiesen. Die Mehrzahl der Versuchsstandorte konzentriert sich derzeit noch auf die 1. Sohle des Forschungs- und Lehrbergwerks in 150 Metern Tiefe. Ehrgeiziges Ziel der weiteren Entwicklung ist es, die 3. Sohle – kurz über dem Niveau des Roths Schönberger Stollns – in 220 Meter Tiefe als Hauptforschungssohle großtechnisch auszubauen. Dazu wird in den kommenden Jahren die Schachtförderanlage der Reichen Zeche saniert und weiter ausgebaut.

In all diese Entwicklungen soll die interessierte Öffentlichkeit ganz bewusst mit eingebunden werden. Nachdem es bereits in den 1980er Jahren regelmäßige Besuchereinfahrten gab und das Interesse hieran stetig zunahm, wird unser Bergwerk seit 1992 als öffentliches Besucherbergwerk in der Silber- und Universitätsstadt Freiberg unter dem heutigen Label „Silberbergwerk“ durch den Förderverein Himmelfahrt Fundgrube Freiberg e. V. mitgenutzt. Im Ensemble der kulturhistorisch wertvollen Elemente werden bisher nicht nur betriebliche Anlagen am Standort präsentiert, sondern übertägig z. B. auch das Schwarzenberggebläse auf der Halde der „Alten Elisabeth“ oder das einzige, noch in Betrieb setzbare und im Originalzustand erhaltene Pochrad am Turmhofschacht. Ab dem Zeitpunkt der Eröffnung der Sächsischen Landesausstellung 2020 sollen den touristischen Besuchern des FLB bei ihren untertägigen Befahrungen nicht nur die Sachzeugen der vormaligen Bergbauperioden präsentiert werden. Durch neu konzipierte „Forschertouren“ sollen ihnen insbesondere auch Aspekte der aktuell laufenden, zukunftsorientierten Rohstoffforschung nähergebracht werden. In *Abb. 2* ist die globale Struktur für die weitere internationale Einbindung des FLB als zentralem Forschungs- und Lehrbergwerk dargestellt.

Anlässlich des 100-jährigen Jubiläums des FLB wurde das Buch *Entdecker unter Tage – 100 Jahre Forschungs- und Lehrbergwerk* herausgegeben, in dem zum einen die Historie und wechselvolle Geschichte dieses in Deutschland und



Abb. 3: Evaluierung von Sicherheitsaspekten beim Einsatz von Drohnen und Robotern unter Tage im virtuellen Bergwerksmodell



Abb. 4: Ein autonomer Untertage-Roboter sammelt eine Vielzahl von wichtigen Bergbaudaten, die sofort genutzt werden können



Abb. 5: Für die Grubenwehr unter Tage gibt es eine eigene studentische Arbeitsgemeinschaft – hier die studentische Grubenwehr bei einer Geräteübung

Europa einzigartigen Forschungsstandorts erzählt – und zum anderen anhand ausgewählter Beispiele ein Einblick in das breit gefächerte Projektespektrum und zu

besonderen Aktivitäten in Forschung, Entwicklung und Lehre, im Altbergbau und im Tourismus gegeben wird, die heute den Betrieb des Bergwerkes prägen.

65 Jahre Lehr- und Forschungsgebiet Tagebau an der TU Bergakademie Freiberg

Wolfgang Gaßner

Herausbildung der Professur Bergbau-Tagebau

Die Bergbaukunst gehört zu den frühen Ausbildungsrichtungen an der Bergakademie Freiberg. Bereits ab 1768 hielten die Lehrer für Mineralogie Christian Hieronymus Lommer und Abraham Gottlob Werner sowie der Markscheider Carl Ernst Richter Vorlesungen zum Bergbau. Mit dem von Friedrich Wilhelm von Opper bearbeiteten *Bericht vom Bergbau* wurde 1769 das seit über 200 Jahren gültige Standardwerk *De re metallica* des sächsischen Renaissance-Gelehrten Georgius Agricola als Lehrbuch abgelöst. 1779 führte Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier die „Lehre vom Wetterzuge“ ein. Mit Karl Adamus Kühn wurde 1818 der erste Professor für Bergbaukunst und Geognosie (frühere Bezeichnung für Geologie) berufen. Ihm folgten 1835 Moritz Ferdinand Gätzschmann, 1871 Karl Gustav Kreisler, 1891 Emil Treptow und von 1918 bis 1941 sowie von 1945 bis 1950 Karl Kegel.

Erfolgte die Ausbildung in der Bergbaukunde zunächst mit dem Schwerpunkt Erzbergbau, gewannen ab 1870 der Steinkohlentiefbau und ab 1900 der Braunkohlenbergbau größere Bedeutung. Kegel führte 1919 eine Vorlesung über Braunkohlenbergbau ein. Alfred Ohnesorge las ab 1926 über die Gewinnung von Steinen und Erden, und ab 1929 die Tagebautechnik. Mit Spackeler wurde in Freiberg, nun im geteilten Deutschland, auch der Kali- und Salzbergbau etabliert; später kam der Uranerzbergbau dazu.

Im Jahr 1953 wurden das Institut und die Professur für Tagebaukunde unter der Leitung von Helmut Härtig aufgebaut. In Würdigung seiner Aufbauleistung trägt das Gebäude des Tagebautechnikums seit 2006 den Namen „Helmut-Härtig-Bau“. 1956 erfolgte die Berufung von Hans Matschak für das Fachgebiet Bergmännische Wasserwirtschaft und Bodenmechanik. 1966 übernahm Klaus Strzodka die Professur für Bergmännische Wasserwirtschaft und Tagebaukunde, von 1976 bis 1995 ergänzt durch Richard Steinmetz für den Bereich Entwurfsprozesse und Tagebauprojektierung. Nach Vertretung durch Norbert Piatkowiak ab 1995 wurde 1999 Carsten Drebenstedt auf die

Professur Bergbau-Tagebau berufen. Zur Bilanz der 65 Jahre des Lehr- und Forschungsgebiets Tagebau gehören u. a. über 1.200 Absolventen sowie 125 abgeschlossene Promotionen und 25 Habilitationen. Seit 2015 sind ca. 50 Absolventen aus den drei englischsprachigen Master-Studiengängen hinzugekommen, die an der Professur Bergbau-Tagebau entwickelt und betreut werden. Die wissenschaftlich-praktischen Ergebnisse sind u. a. in ca. 1.500 Publikationen und 30 Fachbüchern sowie zahlreichen Patenten und einem regen Tagungsgeschehen der Fachwelt zugänglich. Detaillierte Angaben zur inhaltlichen und personellen Entwicklung der Professur, zu Absolventen und Veröffentlichungen sind in dem zum Jubiläum erschienenen Sonderheft (Nr. 74) der Schriftenreihe Mitteilungen der Professur Bergbau-Tagebau zu finden.

Internationale Fachtagung 2019

Zum 65. Jubiläum der Professur fand vom 28. Februar bis zum 2. März 2019 die internationale Fachtagung „Innovationen für einen verantwortungsbewussten Abbau von Rohstoffen im Tagebau“ in Freiberg statt. Die Tagung würdigte u. a. die Leistungen des Fachgebietes Tagebau für die Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Aus diesem Umfeld waren ca. 150 Vertreter aus dem In- und Ausland der Einladung zur Tagung gefolgt. Die ausländischen Teilnehmer vertraten 19 Länder und dokumentierten das große Interesse am internationalen Ideenaustausch zu innovativen und umweltschonenden Tagebau-Technologien, die das heutige Profil der Professur prägen. Die fachlichen Schwerpunkte der zweitägigen Tagung lagen bei Innovationen im Braunkohlen- und im Steine-Erden-Bergbau, bei neuen, energie- und materialsparenden technischen Lösungen, bei Umweltschutztechnologien und bei Innovationen in der Lehre, insbesondere unter Nutzung digitaler Technologien.

In den Grußworten des Rektors der Nationalen Technischen Universität Dnipro, der Vize-Rektoren der Universität für Bergbau und Geologie Hanoi sowie der Montanuniversität Leoben wurde beispielhaft auf die Bedeutung der länderübergreifenden

Zusammenarbeit in Lehre und Forschung verwiesen.



Abb. 1: Grußwort Professor Dr. Peter Moser, Vizerektor der Montanuniversität Leoben

Der Staatssekretär im Sächsischen Wirtschaftsministerium, Stefan Brangs, hob anlässlich der während der Tagung vollzogenen Verleihung des Preises der Stiftung Steine-Erden-Bergbau und Umwelt die Bedeutung der Vereinbarkeit von Bergbau und Umweltschutz hervor - und ebenso, dass ohne mineralische Rohstoffe unser modernes Leben nicht möglich wäre.

Den 1. Preis der Stiftung Steine-Erden-Bergbau und Umwelt erhielt die Promovendin Stefanie Walter, die bei Professor Drebenstedt eine Industriepromotion in Kooperation mit der Medienfakultät der FH Mittweida zum Thema „Kommunikation komplexer Sachverhalte in schwierigem Umfeld am Beispiel der Energie- und Rohstoffwirtschaft“ durchführt. Im Wettbewerbsbeitrag wurden die Ergebnisse eines Schulprojekts mit sozialen Medien zum Artenschutz im Kiesabbau prämiert.

Heike Hertling, Leiterin Bergbauplanung der Mitteldeutschen Braunkohle-Gesellschaft, stellte anhand von Karrierewegen junger Freiburger Tagebau-Absolventen vor, wie wertvoll die Arbeit der Absolventen schon in der Studienabschlussphase für das Unternehmen ist und wie sie – gut vorbereitet und schnell – verantwortungsvolle und spannende Aufgaben übernehmen. Die entsprechenden Fachvorträge erscheinen demnächst in einem Band der Schriftenreihe der Professur Bergbau-Tagebau.



Abb. 2: Grußwort des Staatssekretärs im SMWA, Stefan Brangs

Die Fachtagung traf gleich mehrere Interessen: Neben dem fachlichen und internationalen Austausch erfüllt eine solche Tagung die Funktion einer Kontaktbörse zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft sowie die eines Alumni-Treffens. Professor Drebenstedt dankte insbesondere den Mitarbeitern und Partnern, die die erfolgreiche Arbeit der Professur erst möglich machen.

Der Gründungsprofessor der Tagebaukunde, der spätere Rektor, Ehrensensator und Ehrenbürger der Stadt Freiberg, Helmut Härtig, stiftete mit Wirkung vom 1. März 1979 den „Wissenschaftspreis für Studenten der Fachrichtung Tagebau an der Bergakademie Freiberg“. Der Wissenschaftspreis soll für besondere Leistungen auf wissenschaftlich-technischem oder ökonomischem Gebiet verliehen werden. Der Preisträger im 40. Jubiläumsjahr 2019 ist Robert Lokotsch, der 2018 sein Studium im Studiengang „Geotechnik und Bergbau“ mit einer sehr guten Gesamtleistung abschloss. Auch seine Diplomarbeit zum Thema „Erarbeitung alternativer Gewinnungstechnologien für den Abraumbetrieb des Tagebaus Amsdorf“ wurde mit der Note „sehr gut“ bewertet. Herr Lokotsch ist heute Leiter Grubenbetrieb in diesem Tagebau. Neben seinen fachlichen Leistungen wurde auch sein Engagement für die Gesellschaft – ob als studentische Hilfskraft, bei der Freiwilligen Feuerwehr oder im Sportverein – gewürdigt. 2013 erhielt er den Fluthelferorden.

20 Jahre Professur Bergbau-Tagebau

Im Rahmen der Fachtagung fand auch das kleine Jubiläum des derzeitigen Lehrstuhlinhabers Beachtung. Am 28. Februar 2019 erhielt Carsten Drebenstedt aus den Händen des Vize-Rektors der Universität für Bergbau und Geologie Hanoi, Professor Dr. Xuan Nam Bui, eine hohe staatliche Auszeichnung: den „Award of Merit“, der



Abb. 3: Preisträger der Stiftung Steine-Erden-Bergbau und Umwelt (Mitte) mit Stiftungsvorstand und -beirat



Abb. 4: Preisträger des Helmut-Härtig-Preises, Robert Lokotsch

vom Bildungsminister Vietnams für besondere Verdienste verliehen wird. Diese hat sich Professor Drebenstedt in der 20 Jahre währenden Kooperation in Aus- und Weiterbildung mit Vietnam erworben und nun als erster Ausländer erhalten. Im Namen des Ministers sprach Professor Xuan Nam Bui seinen Dank dafür aus und verwies auf die regen Aktivitäten, unter anderem in der Ausbildung von Promotionsstudenten, im Rahmen von Gastvorlesungen und Gastvorträgen, gemeinsamen Publikationen, Exkursionen und Konferenzen. Nicht zuletzt integriert Professor Drebenstedt die vietnamesischen Partner in internationale Netzwerke. Derzeit leitet er ein internationales Projekt zum Aufbau und zur Weiterentwicklung von Master- und Promotions-Studiengängen in den angewandten Geowissenschaften, an dem auch zwei vietnamesische Universitäten beteiligt sind.

In den 20 Jahren seit Übernahme der Professur hat Professor Drebenstedt das Fachgebiet stetig weiterentwickelt. Die folgenden, wesentlichen Ergebnisse



Abb. 5: Übergabe des Award of Merit durch den Vizerektor der Hanoi Universität für Bergbau und Geologie Prof. Xuan Nam Bui

seiner Arbeit sollen beispielhalber angeführt werden. Zu den wissenschaftlichen Leistungen zählen u. a. 39 abgeschlossene Promotionen und zwei Habilitationen; weitere 15 bzw. zwei wurden begutachtet, u. a. in Kanada und Australien. Zusammen mit den ca. 80 bearbeiteten Forschungsprojekten wurde das generierte Wissen in über 440 Veröffentlichungen und zwölf Patenten bekanntgemacht. 56 Fachtagungen, darunter zehn international führende, und zahlreiche Exkursionen bilden den Hintergrund für bisher 70 Bände der von der Professur herausgegebenen Schriftenreihe. Weitere 18 Fachbücher sind unter Mitwirkung von Professor Drebenstedt als Herausgeber und Autor neben dem Springer Verlag in Deutschland in vier Ländern (Mongolei, Russland, Slowakei und Ukraine) und in sechs Sprachen



Abb. 6: Schneidversuchsstand in der Versuchshalle



Abb. 7 (rechts): Neubau der Lagerhalle im Gebäudekomplex Tagebautechnikum

erschieden, darunter Standardwerke, wie „Braunkohletagebau und Rekultivierung“, „Der Nassabbau“, „Der Braunkohletagebau“ und „Braunkohlensanierung“. Die Arbeitsgebiete der Professur Bergbauplanung, Bergbautechnik, Bergbauliche Wasserwirtschafts- und Sonderprojekte fokussieren auf das Thema „Verantwortungsbewusster Rohstoffabbau“. Wichtige Themen sind hohes, energie- und materialeffizientes Ausbringen bei minimaler Invasion in das Umfeld und zeitnahe Rekultivierung mit dem Ziel, soziale, ökologische und wirtschaftliche Interessen in Einklang zu bringen sowie Akzeptanz zu schaffen. Professor Drebenstedt ist seit 2014 Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften.

Zur Realisierung einer modernen Forschung und Lehre setzt sich Professor Drebenstedt für die Verbesserung der Infrastruktur ein. Dazu gehören z. B. die Konzipierung und Errichtung international unikatler Großversuchsstände zum Gesteinsschneiden, Entwässern von feindispersen Materialien oder zum hydraulischen Vertikaltransport, die Etablierung und Ausstattung eines Labors „Bergbauliche Wasserwirtschaft“, die Einführung einer digitalen Lern- und Forschungsumgebung (Gerätesimulator, VR-Brille, 360°-Kameras, 3D-Drucker, Drohne ...) oder der Neubau der Lagerhalle im Gebäudekomplex des Tagebautechnikums.

Auch der studentischen Ausbildung schenkt Professor Drebenstedt große Aufmerksamkeit. So führte er die ersten englischsprachigen Masterstudiengänge in den Ingenieur- und Naturwissenschaften, darunter den ersten *joint degree* und die ersten Doppelpromotionen an der Universität überhaupt, ein. Diese Studienangebote waren zudem die ersten des Fachgebiets Bergbau im deutschsprachigen Raum. Der Masterstudiengang „Advanced Mineral

Resource Development“ (AMRD) ist heute mit neun Partneruniversitäten der weltweit größte Ausbildungsverbund im Bergbau. Die Einführung

- der Vorlesung „Rekultivierung“
 - der Honorarprofessuren „Bergbausanierung“, „Marine Mining“ und „Bergwirtschaft“
 - der Sommerschule „From Dredging to Deep Sea Mining“
 - des „3+2 Programms“ mit der Mongolischen Universität für Technologie und Wissenschaft
 - des Großgerätesimulators zur Digitalisierung der Lehre
- sind ebenfalls Beispiele für Pionierleistungen im Bergfach. In von Professor Drebenstedt maßgeblich mit-initiierten und -geleiteten Großprojekten, wie
- Auslandssemester für Studenten „Petrochemistry“ der KMITL, Thailand
 - Academic Mining Education Afghanistan (AMEA)
 - Aufbau der Deutsch-Mongolischen Hochschule für Ressourcen und Technologie (GMIT)
 - Exzellenzzentrum für Bergbau, Ressourcen- und Umweltengineering (CEMEREM) in Kenia für Ostafrika
 - Aufbau von Master- und PhD-Programmen in der geologischen Erkundung Russlands und Vietnams (MINERAL)

wird Kompetenz in Lehre und Forschung international nachhaltig weitergegeben. Das geschieht ebenso in langfristigen Weiterbildungsprojekten mit Partnern aus Industrie und Verwaltung, u. a. in Chile, Mozambik, Rumänien und Serbien.

Professor Drebenstedt führte an der Universität die jährlich stattfindende interdisziplinäre Konferenz junger Wissenschaftler ein (14. Auflage 2019), ferner das fachübergreifende Protodjakonov-Kolloquium zu mechanischen Eigenschaften der

Gesteine und die internationale Konferenz „Sprengstofflose Gesteinsgewinnung“.

Professor Drebenstedt vertritt die deutsche Wissenschaft im Organisationskomitee des Weltbergbaukongresses und ist Mitinitiator des „Deutsch-Russischen Rohstoffforums“, der „International University of Resources“ und des „Weltforums der Ressourcen-Universitäten für Nachhaltigkeit“. Er ist des Weiteren u. a. Gründungs- und Vorstandsmitglied des Geokompetenzzentrums Freiberg e. V., Beiratsvorsitzender der Stiftung Steinerden-Bergbau und Umwelt sowie 1. Vorsitzender des Rings Deutscher Bergingenieure e. V.

In der akademischen Selbstverwaltung der Bergakademie übernahm er in den zwei möglichen Wahlperioden das Amt des Prorektors Forschung, das des Dekans der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, das des Institutsdirektors Bergbau und Spezialtiefbau sowie des Studiendekans und des Vorsitzenden der Studienkommissionen und Prüfungsausschüsse der drei internationalen Geoingenieur-Studiengänge. Seit dem Jahr 2000 gehört er, mit Unterbrechungen durch damit nicht vereinbare Ämter, dem Senat der Universität an.

Für sein Engagement erhielt Professor Drebenstedt neben dem „Award of Merit“ weitere staatliche Auszeichnungen, wie „Verdienter Geologe der Mongolei“, „Verdienter Bergmann Vietnams“ und „Verdienter Bergmann Russlands“. Er ist Ehrendoktor an sechs Universitäten in Bulgarien, Rumänien, Russland und der Ukraine sowie Ehrenprofessor an zwei Universitäten in der Mongolei und in Russland. Er ist ausländisches Mitglied von Akademien der Wissenschaften in Russland und Rumänien sowie der Eurasischen Akademie der Bergbauwissenschaften.

100 Jahre Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen an der TU Bergakademie Freiberg

Steffen Krzack, Ronny Schimpke, Sven Kureti, Bernd Meyer



Abb. 1: Institutsstandort Reiche Zeche ca. 1965

Seit 100 Jahren wird in Freiberg die Bereitstellung von kohlenstoffhaltigen Grundstoffen für die chemische, die metallurgische und die Energiewirtschaft sowie für den Mobilitätsbereich erforscht. Ausgehend von einem wärmewirtschaftlichen Laboratorium, eingerichtet im Jahr 1919, widmet sich heute an der TU Bergakademie Freiberg insbesondere das Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) am Standort Reiche Zeche diesem wirtschaftlich und gesellschaftspolitisch hochbrisanten Themenkomplex. Damals wie heute steht die nachhaltige Energie- und Rohstoffversorgung auf Basis einheimischer Ressourcen im Fokus. Das IEC hat sich im Laufe seiner Geschichte zu einem führenden Zentrum für Lehre und Forschung zu den Technologien der Kohlenstoffkreislaufwirtschaft mit internationaler Ausstrahlung entwickelt.

Vom wärmewirtschaftlichen Laboratorium zum Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen [1]

In wirtschaftlich schwieriger Situation wurde auf Initiative der deutschen Industrie und unter Mitwirkung des sächsischen Finanzministeriums 1917 eine Braunkohlenstiftung gegründet und 1918 an die Bergakademie Freiberg übergeben mit dem Ziel, ein Braunkohlenforschungsinstitut aufzubauen. Dadurch sollten Ausbildung und Forschung auf dem Gebiet der Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung der einheimischen Braunkohle

entscheidend gefördert werden. Ein erster Schritt war die Einrichtung eines wärmewirtschaftlichen Laboratoriums im Jahr 1919. Damit war der Grundstein des heutigen IEC gelegt.

Am 1. September 1921 entstand aus dem Laboratorium die *Wärmewirtschaftliche Abteilung des Staatlichen Braunkohlenforschungsinstitutes*, dessen Hauptgebäude bis 1924 an der Leipziger Straße errichtet wurde.

Ihr erster Direktor war Prof. Friedrich Seidenschnur, der gleichzeitig zum Professor für Wärmewirtschaft berufen wurde. Bereits die ersten Planungen sahen vor, der *Wärmewirtschaftlichen Abteilung* ein „Generatorgebäude“ zur Verfügung zu stellen, in dem thermochemische Konversionsprozesse in halbtechnischen Anlagen untersucht werden konnten. Als Standort wurde die Halde der wenige Jahre zuvor stillgelegten Silberschachtenanlage „Reiche Zeche“ genutzt, der in den 1920er Jahren dann weiter ausgebaut wurde. Damit entstand die weltweit erste technische Versuchseinrichtung zur Erforschung der thermischen Braunkohlenveredlung. Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt bestand in der Nutzung einheimischer Braunkohle, insbesondere für die Herstellung flüssiger Treib- und Schmierstoffe durch Schwelung und Hydrierung. 1935 wurde die *Wärmewirtschaftliche Abteilung* in die *Technische Versuchsanlage Reiche Zeche* überführt. Die Forschung wurde um

die Thematik der Synthesegaserzeugung mit dem Ziel der Kraftstofferzeugung erweitert und dazu eine Versuchsanlage mit einer Synthesegasleistung von 2000 Normkubikmeter pro Tag errichtet.

Nach dem 2. Weltkrieg wurde die *Technische Versuchsanlage Reiche Zeche* in den Rang eines selbstständigen Instituts an der Bergakademie Freiberg mit der Bezeichnung *Institut für technische Brennstoffverwertung* erhoben. Das Profil des nunmehrigen Hochschulinstituts änderte sich deutlich und die Aufgaben in der Lehre erweiterten sich. Die wichtigsten Forschungsarbeiten von volkswirtschaftlicher Bedeutung für die Grundstoffindustrie der DDR war in dieser Zeit die Entwicklung des Braunkohlenhochtemperaturkokes (BHT-Koks) für die Metallurgie unter der Leitung von Prof. Erich Rammler und Prof. Georg Bilkenroth, die auch die Überführung des Verfahrens in die großtechnische Produktion einschloss. Prof. Rammler war von 1949 bis 1966 als o. Professor für Brennstofftechnik Institutsdirektor. In den 1950er Jahren wurde unter seiner Regie der Standort Reiche Zeche deutlich ausgebaut. Die umfangreichen Neuerungen wurden so geplant und realisiert, dass die von Seidenschnur begonnene Tradition der industrienahen Forschung durch die Errichtung halbtechnischer Versuchsanlagen fortgeführt werden konnte. Themen waren neben der Weiterentwicklung der BHT-Verkokung u. a. die Öl- und

Kohlendruckvergasung. Das Institut entwickelte sich in dieser Zeit zu einem national und international anerkannten Zentrum für Lehre und Forschung auf dem Gebiet der Brennstofftechnik mit sehr guten Kontakten nach Osteuropa.

Ende der 1960er Jahre wurden im Rahmen der III. Hochschulreform die Strukturen an der Bergakademie Freiberg verändert und die Institute und Fakultäten aufgelöst. Aus dem *Institut für technische Brennstoffverwertung* wurde der *Wissenschaftsbereich Reaktionstechnik und Brennstofftechnik (RBT)* an der *Sektion Verfahrenstechnik und Silikatechnik (VST)*. 1970 wurde im Wissenschaftsbereich RBT eine zweite Hochschullehrerstelle, gewidmet der Reaktionstechnik und besetzt mit Doz. (später Prof.) Ralf Köpsel, eingerichtet. Die zunehmende Komplexität in den Ingenieursdisziplinen und Veränderungen in den wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen beeinflussten die Lehr- und Forschungsinhalte signifikant. Einerseits fanden zunehmend chemische und physikalische Grundlagen Einzug (z. B. bei der Prozessmodellierung oder bei reaktionskinetischen Untersuchungen). Andererseits wurde das verfahrenstechnische Themenspektrum erweitert (z. B. um die Forschungsgebiete der katalytischen Prozesse sowie der Herstellung von Zementklinker, von Graphitelektroden und von Kohlenstoffadsorbentien).

Mit der politischen Wiedervereinigung Deutschlands 1989 konnte und musste eine fachliche Neuorientierung in Lehre und Forschung erfolgen. 1991 wurde der Wissenschaftsbereich RBT in das *Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC)* mit den zwei

Professuren *Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung (EVT)* sowie *Reaktionstechnik (RT)* überführt. Das IEC war und ist maßgeblich an der studentischen Ausbildung im Studiengang Verfahrenstechnik beteiligt und dort insbesondere für die Vertiefungsrichtungen Energieverfahrenstechnik und Chemische Verfahrenstechnik verantwortlich. Darüber hinaus werden wesentliche Lehrbeiträge für weitere Studiengänge der TU Bergakademie Freiberg geleistet. Bereits seit 1973 – und über die wiedervereinigungsbedingten Umstrukturierungen hinaus – hatte Prof. Erhard Klose die Leitung des Wissenschaftsbereichs bzw. des Instituts inne.

Die Neuorientierung in den 1990er und 2000er Jahren [1]

Mit der Berufung zum Professor für Energieverfahrenstechnik und thermische Rückstandsbehandlung übernahm Prof. Bernd Meyer 1994 die Leitung des Instituts. Dessen Erscheinungsbild auf der Reichen Zeche veränderte sich in den Folgejahren deutlich. Alte Gebäude wurden abgerissen oder rekonstruiert und ihren neuen Aufgaben entsprechend angepasst. Das Institut entwickelte sich zu einer hochmodernen Einrichtung und zu einem der leistungsstärksten Institute der TU Bergakademie Freiberg. Neue Themengebiete in der Forschung wurden erschlossen und in vielfältiger Weise in die Lehre eingebunden. Das über Jahrzehnte entwickelte Know-how auf dem Gebiet der thermochemischen Konversion wurde für neue Anwendungen, wie die thermische Rückstandsbehandlung (a. o. Prof. Manfred Born), die Nutzung von Biomasse oder

die Herstellung von Kohlenstoffadsorbentien (a. o. Prof. Wolfgang Heschel) weiterentwickelt. Weitere Arbeitsfelder wurden die Anwendung regenerierbarer Energien, die thermochemische Untersuchung von Verbrennungs- bzw. Kraftwerksprozessen sowie die Abscheidung und Analytik von Spurenstoffen. Eine wesentliche Erweiterung war die Einführung von Prozesssimulationsprogrammen zur Entwicklung von energieverfahrenstechnischen Prozessketten. Die traditionell guten Beziehungen zu Osteuropa wurden in Richtung „westliche Hemisphäre“ erweitert.

Die 2000er Jahre waren insbesondere dadurch geprägt, dass es zunehmend gelungen war, Großforschungsprojekte im Bereich der vergasungsintegrierten Kraftwerkstechnik und der gas- und ölbasierten Synthesegastechnologien zu akquirieren. In diesem Rahmen wurde die Großversuchsanlage *HP-POX* zur Hochdruckspaltung von Gas und Öl zu Synthesegas errichtet und bis heute in zahlreichen Versuchskampagnen ca. 7.500 Stunden betrieben. Die Herstellung alternativer Kraftstoffe spielte in der Forschung, insbesondere auch an der Professur *Reaktionstechnik* (Prof. Thomas Dimmig, Dr. Thomas Kuchling) eine zunehmende Rolle. Gleichzeitig wurde die Forschungsinfrastruktur am Standort Reiche Zeche deutlich ausgebaut und die Internationalisierung vorangebracht. Seit 2005 werden internationale Schulungen zur Thematik der Vergasung angeboten und insbesondere die *International Freiberg Conference on IGCC and XtL Technologies (IFC)* veranstaltet. Mit bis zu 300 Teilnehmern aus über 20 Ländern konnte sie sehr erfolgreich im internationalen Tagungskalender etabliert werden.



Abb. 2: Mitarbeiter der Professur EVT (2019)



Abb. 3: Mitarbeiter der Professur RT (2019)

Die Institutsentwicklung in den letzten zehn Jahren

Die Entwicklung des IEC in den letzten zehn Jahren ist durch eine hohe strukturelle, bauliche und forschungsseitige Dynamik geprägt.

2009 wurde im Rahmen der BMBF-Innovationsinitiative *Unternehmen Region* auf Initiative von Prof. Bernd Meyer das fakultätsübergreifende Zentrum für Innovationskompetenz *Virtuhcon - Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse* mit international besetztem Beirat eingerichtet. Mit Kofinanzierung durch den Freistaat Sachsen konnten drei Nachwuchsforscherguppen am IEC aufgebaut werden, die auf der Basis experimentell ermittelter Daten modellierungs- und simulationsbasiert Lösungen für neue, ressourcen- und energieschonende Hochtemperatur-Konversionsprozesse entwickeln. Zum Aufbau dieses Zentrums wurde intermediär eine dritte Professur am IEC angesiedelt: *Numerische Thermofluidynamik* (Prof. Christian Hasse). Damit konnte die CFD-Modellierung als weiteres Werkzeug zur wissenschaftlichen Durchdringung von verfahrenstechnischen Prozessen am Institut etabliert und auch in die studentische Ausbildung eingeführt werden. 2016 wurde die zweite Phase von *Virtuhcon* gestartet. Ein weiterer Meilenstein war das ebenfalls mit BMBF-Fördermitteln und signifikanter Beteiligung der Industrie 2010 eingerichtete „*Deutsche EnergieRohstoff-Zentrum Freiberg*“ (DER), in welchem nachhaltigkeitsorientierte Konzepte für die stoffliche und stofflich-energetische Nutzung fossiler und biogener Energierohstoffe für das Nach-Erdölzeitalter erforscht

und entwickelt wurden. Aufbauend auf den Erfahrungen und Ergebnissen dieser Großprojekte wurde 2014 von Mitarbeitern der Professur EVT die *DBI-Virtuhcon GmbH* ausgegründet – als Dienstleister für wissenschaftlich fundierte, experimentell abgesicherte Beratungs- und Forschungsleistungen im Bereich der energetischen und stofflichen Energieträgernutzung. 2018 wurde die *DBI-Virtuhcon GmbH* Betreiber der ehemaligen Siemens-Großversuchsanlage zur Flugstromvergasung von Stäuben und Suspensionen (*GSP*) an der Halsbrücker Straße.

Mit der Neubesetzung der Professur *Reaktionstechnik* durch Prof. Sven Kureti 2010 konnte die Forschungskompetenz des IEC in den letzten Jahren um das Gebiet der Katalyse deutlich erweitert werden. Sowohl Themen der katalytischen Abgasreinigung als auch der Synthese von Kraftstoffen sowie die umfangreichen Arbeiten an Eisen-Katalysatoren ordnen sich in die Forschung zur umweltschonenden Nutzung von Energierohstoffen ein. Dabei gelang die Neuausrichtung der Professur *Reaktionstechnik* nicht zuletzt durch die Generierung von gleich vier Nachwuchsforscherguppen, die Beteiligung an einer Vielzahl von Forschungsverbänden sowie die Beschaffung und den Aufbau zahlreicher Forschungsgeräte und -apparaturen (z.B. Röntgen-Photoelektronen-, Raman- und Mössbauer-Spektrometer, Hochdruck-Hydrieranlagen). Darüber hinaus ist auch eine Reihe von synergetischen Kooperationsprojekten zu nennen, die gemeinsam mit der Professur EVT geplant und durchgeführt wurden bzw. werden. Hierzu zählen zum Beispiel das

aktuelle BMWi-Vorhaben *C3-Mobility*, in dem sich beide Lehrstühle mit der Methanol-Wandlung zu Ottokraftstoff befassen, oder etwa das BMWi-Projekt *CODY*, das die dynamische CO_2 -Hydrierung zu Methanol beinhaltet. Neben dem Forschungsfeld der Kraftstoff-Synthese hat sich die Professur *Reaktionstechnik* in den letzten Jahren insbesondere auch im Bereich der katalytischen Abgasreinigung etabliert, so etwa durch die Entwicklung neuartiger Abgasreinigungsmethoden (z. B. für die NO_x -Reduktion), aus denen sich u. a. mehrere Kooperationsprojekte mit der Forschungsvereinigung *Verbrennungskraftmaschinen (FVV)* abgeleitet haben.

Das äußere Erscheinungsbild des Instituts hat sich auch in den letzten zehn Jahren weiter verändert. 2009 wurde mit dem Bau einer weiteren Großversuchsanlage, basierend auf einer neuen Technologie zur Herstellung von Benzin aus Synthesegas (*STF*), begonnen. Diese produzierte 2011 das erste hochoktanige Benzin. 2013 wurde ein 10-MW-Festbettvergaser nach dem Schlackebad- bzw. BGL-Prinzip (*Flexislag*) fertiggestellt mit dem Ziel der Erprobung verschiedener fester Einsatzstoffe zur Synthesegaserzeugung und der Untersuchung der Schlacke-Fließeigenschaften. 2014 erfolgte der erste Schlackeabstich. Bis heute wurden Versuchskampagnen unter Einsatz von Abfällen, Biomassen und verschiedenen Kohlequalitäten erfolgreich durchgeführt. Für die Technikumsanlage *COORVED*, ein neuartiges, patentiertes Wirbelschichtvergasungsverfahren der 3. Generation, und für Analytik im Rahmen des Deutschen EnergieRohstoff-Zentrums wurde 2011 ein neues Technikum errichtet.

Mit der Ansiedlung der Forschungszentren *Virtuhcon* und *DER* waren 2010 erstmals in der Institutsgeschichte mehr als 100 Mitarbeiter beschäftigt. Diese Entwicklung erforderte einerseits eine personelle Neustrukturierung und andererseits den Ausbau der Bürokapazitäten. Die bereits existierenden fünf Arbeitsgruppen an der Professur EVT wurden in acht Abteilungen überführt. Als Ausweichmöglichkeit für Büroarbeitsplätze wurden zwei (noch heute genutzte) „Bürocontaineranlagen“ aufgestellt. In den Jahren 2010/2011 folgte dann der Bau des *DBI-Gebäudes* als kombiniertes Büro- und Laborgebäude.

Die am IEC entwickelten Verfahren und die hier durchgeführten Forschungsarbeiten weckten zunehmendes Interesse im asiatischen Raum. Davon ausgehend



Abb. 4: Institutsstandort Reiche Zeche mit dem DBI-Gebäude und den Versuchsanlagen BGL, HP-POX und STF (2019)

wurden enge Beziehungen insbesondere zu chinesischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Industriepartnern aufgebaut. Ausdruck dafür war u. a. die Durchführung der 7. International Freiberg Conference 2015 in der Inneren Mongolei in China, wobei nunmehr die Tagungen unter der Überschrift „Closed carbon cycle“ standen. Die 10. IFC wird 2020 in Shanghai stattfinden.

Beginn einer neuen Etappe

Die Wurzeln des IEC gehen auf eine Zeit zurück, die durch große wirtschaftliche Strukturveränderungen geprägt war: Der Erzbergbau verlor an Bedeutung und die Braunkohle wurde zu einem wichtigen Energierohstoff. 100 Jahre danach muss nun der Strukturwandel – weg von der Braunkohle hin zu erneuerbaren Energien und geschlossenen Kohlenstoffkreisläufen – gestaltet werden. Das IEC ist dabei eine treibende Kraft, um dafür benötigte Technologien zu entwickeln und in den Industriemaßstab zu überführen. Fachspezifisch betrifft das insbesondere den Übergang zu CO₂-emissionsarmen bzw. -freien und rohstoffeffizienten Technologien.

Themen sind u. a.

- die stoffliche Nutzung kohlenstoffhaltiger fossiler und biogener Energierohstoffe und die Schaffung von chemischen Energiespeichern
- die intelligente Einkopplung von erneuerbarer Energie in Form von Strom und Wasserstoff in metallurgische, chemische und andere Prozesse sowie
- das verstärkte stoffliche Recycling von Rest- bzw. Abfallstoffen einschließlich CO₂ (Kohlenstoffkreislaufwirtschaft).

Insbesondere die Schließung von Stoffkreisläufen für Kohlenstoff durch eine zirkuläre Wirtschaft wird eine zentrale Rolle spielen, um auch weiterhin das enorme Potenzial kohlenstoffhaltiger Produkte in den verschiedensten Wirtschafts- und Lebensbereichen – von den Kunststoffen, Harzen, Farben oder Waschmitteln über Verbund- und Leichtbauwerkstoffen bis hin zu Reinstkohlenstoff für die Elektrometallurgie oder Batterien – nutzen zu können. Ein wichtiger Schritt zur Bereitstellung der erforderlichen Ausgangsstoffe ist nach wie vor die thermochemische

Konversion von primären und sekundären Energierohstoffen. Thermochemische Konversionsverfahren sind auch der Ausgangspunkt für die rohstoffliche Verwertung minderwertiger Abfall- bzw. Reststoffe und somit ein signifikanter Baustein für die Schließung des Kohlenstoffkreislaufs. Damit kann das IEC seine Kernkompetenzen in Lehre und Forschung in diese zukunftsrelevanten Themengebiete von zentraler volkswirtschaftlicher Bedeutung einbringen. Die fachspezifischen Veränderungen werden begleitet von einer zunehmenden Digitalisierung und Modellierung, von künstlicher Intelligenz und der Nachhaltigkeitsbewertung für Prozesse des gesellschaftlichen Wandels. Diesen Herausforderungen stellt sich auch das IEC.

Die neue Ausrichtung des Instituts auf eine effiziente, ressourcenschonende und klimaneutrale Nutzung von Kohlenstoffträgern wurde bereits 2017 mit der Übernahme der Leitung des Geschäftsfelds „Chemische Umwandlungsprozesse“ des Fraunhofer Instituts IMWS/Halle durch Prof. Bernd Meyer und der Leitung des Fraunhofer-Reviernetzwerks für

Kohlenstoffketten, in dem die Kompetenz von vier Fraunhofer-Instituten gebündelt wird, eingeleitet. In diesem Jahr – und damit 100 Jahre nach der Gründung des wärmewirtschaftlichen Laboratoriums – nimmt an der Professur EVT die vom SMWK finanzierte neue Fraunhofer-Außenstelle „Kohlenstoff-Kreislauf-Technologien“ (KKT) des IMWS/Halle ihre Arbeit auf. Seitens der Fraunhofer-Gesellschaft wird angestrebt, in den kommenden fünf Jahren ein eigenständiges „Fraunhofer-Institut für Wasserstoff- und Kohlenstoff-Prozesstechnik“ IWKP mit Teilinstituten in Freiberg und Halle mit insgesamt ca. 220 Mitarbeitern einzurichten.

Vor diesem Hintergrund entwickelt sich auch das IEC als Universitätsinstitut weiter. Es wird angestrebt, das IEC mit seinen ca. 130 Mitarbeitern größte und drittmittelstärkste Institut der TU Bergakademie Freiberg durch die Einrichtung einer dritten Professur zu stärken und mit der Errichtung des Technikums 3000 weiter auszubauen.

Ausdruck der Leistungsstärke des Instituts sind auch die zahlreichen Veranstaltungen, die von ihm initiiert, organisiert und durchgeführt werden. Allein im Jubiläumsjahr 2019 sind die folgenden zu nennen: Im Januar fand auf Initiative

und unter Leitung der Professur EVT das Kick-off-Meeting des Nationalen Netzwerks Kohlenstoffkreislaufwirtschaft NK2 in Leuna statt, dem ca. 25 führende deutsche Unternehmen aus den Bereichen Chemie, Energie, Abfall, Anlagenbau und verarbeitende Industrie angehören. Große Resonanz erzielte das Akademie-Forum „Nachhaltige Entwicklung – Impulse für neue Wertschöpfung in der Lausitz“, das im April in Görlitz vom IEC organisiert wurde. Am 11. Juni 2019 erfolgte auf der Reichen Zeche durch die Staatsministerin Frau Dr. Stange die feierliche Übergabe des Zuwendungsbescheids für die Einrichtung der Fraunhofer Außenstelle KKT an Herrn Prof. Bernd Meyer. Ebenfalls im Juni wurde im Rahmen des *BHT – Freiburger Universitätsforum* das Fachkolloquium „Chemisches Recycling – Aktuelle Entwicklungen, Optionen und Perspektiven“ unter Beteiligung von ca. 80 Experten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft durchgeführt. Ein weiteres Highlight im Juni war die Nacht der Wissenschaft, bei der der Standort Reiche Zeche erstmals einer der drei Hauptschauplätze an der Universität war und die eine sehr große Besucherresonanz hatte. Im September war das IEC Gastgeber für ein Fachkolloquium zum Thema Abfallpyrolyse mit ca.

50 Teilnehmern. In der gleichen Woche wurde eine englischsprachige Vergabungsschulung mit internationaler Beteiligung aus sechs Ländern durchgeführt und das zweite NK2-Treffen organisiert. Vom 10. bis 12. Oktober fanden die Feierlichkeiten zum 100. Jubiläum des Instituts statt. Highlights waren die Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Fakultät an Herrn Prof. Yong Wang Li, CEO der Synfuels China Technology Co., Ltd., das wissenschaftliche Kolloquium zum Thema „Solutions for the Carbon Challenge“ mit hochkarätigen Vortragenden und ca. 200 vor allem auch internationalen Teilnehmern sowie das Haldenfest für die Institutsmitarbeiter und ihre Familien.

Mit den drei Säulen Universitätsinstitut, Fraunhofer-Institut und DBI Virtuhcon GmbH können nun die nächsten 100 Jahre erfolgreicher Instituts- und Standortentwicklung angegangen werden.

1 Wesentliche Aspekte dieser Abschnitte wurden folgender Quelle entnommen: Krzack, St., Kuchling, Th., Hahn, M., Meyer, B.: „Vom wärmewirtschaftlichen Laboratorium zum Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen – Eine 90-jährige Institutsgeschichte an der TU Bergakademie Freiberg“, Zeitschrift für Freunde und Förderer der Technischen Universität Freiberg, 17. Jg., 2010, S. 11-19

Rezension des Buches:

Stoffliche Nutzung von Braunkohle

Steffen Krzack, Heiner Gutte, Bernd Meyer (Hrsg.). Springer Vieweg, 2018
EAN 9783662462515

von Jens Hannes¹, Manuela Neuroth²

Einführung

Das Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen an der TU Bergakademie Freiberg gibt mit diesem Buch einen weiten Überblick über die Erkenntnisse aus jahrzehntelanger Forschung zur stofflichen Nutzung der Braunkohle. Treibende Kraft hierzu war die zu erwartende Verknappung des fossilen Kohlenstoffträgers Erdöl, zu dessen Ersatz mittel- bis langfristig Alternativen erforderlich werden. Neben den



begrenzten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen steht vor allem Braunkohle als heimische Kohlenstoffquelle langfristig zur Verfügung. Sie hat das Potenzial, eine tragende Säule im Rohstoffmix zu werden. Nicht zuletzt die chemische Industrie benötigt auch in Zukunft Kohlenwasserstoffe, wobei die fossilen C-Träger vorteilhaft

durch biogene ergänzt werden können. Hier bietet die stoffliche Co-Verwertung von Braunkohlen und Biomassen Chancen zur wirtschaftlichen und CO₂-reduzierten Nutzung bei gleichzeitiger Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl- und Gasimporten. Im Gegensatz zur Energiewirtschaft ist die organisch-chemische Industrie alternativlos auf den Einsatz von Kohlenstoffträgern angewiesen, so dass auch zukünftig ein gesicherter Zugang zu diesen sichergestellt werden muss. Nachwachsende Biomassen können aber allenfalls einen Teil des Bedarfs decken, so dass aller Voraussicht nach auch in Zukunft nicht auf die Nutzung fossiler Kohlenwasserstoffe verzichtet werden kann.

Das Buch beschreibt im Wesentlichen die Forschungsaktivitäten und Ergebnisse des Projekts „Deutsches EnergieRohstoffzentrum“ (DER) sowie der ebenfalls BMBF-geförderten Vorhaben „ZIK Virtuhcon“ und „Regionaler Wachstumskern ibi“. Als Schwerpunkte der drei Vorhaben sind zu nennen:

- DER: Anwendungsnahe Strukturaufklärung von C-stämmigen Energieroh-

1 Dr. Jens Hannes, RWE Power AG
Ernestinenstr. 60, 45141 Essen

2 Dr. Manuela Neuroth, RWE Power AG
Werkstr. Kraftwerk, 50129 Bergheim

stoffen, Entwicklung von Werkstoffen und Vergasungsverfahren, ergänzt durch ein Kooperationsmanagement und eine Professional School

- Virtuhcon: Grundlagenforschung zur virtuellen und experimentell gestützten Simulation von Hochtemperaturkonversionsprozessen mit den Schwerpunkten Reaktionsströmungssysteme, multiphasige Stoffsysteme und Grenzflächenphänomene
- ibi: Erschließung von innovativen Marktpotenzialen im regionalen Umfeld der mittel- und ostdeutschen Braunkohlenlagerstätten, wozu die Entwicklung und Optimierung von Verfahren der Gewinnung, Aufbereitung, Extraktion, der Niedertemperaturkonversion und der Vergasung gehören.

Neben der tragenden Kompetenz der TU Bergakademie Freiberg und ihrer historisch gewachsenen Erfahrung auf den Gebieten der Braunkohlennutzung und der dazu erforderlichen Verfahrenstechnik wäre das Werk ohne die fachliche Expertise und Unterstützung durch weitere Forschungsgruppen, bspw. der TU Dresden, des Biomasseforschungszentrums DBFZ in Leipzig, des Forschungszentrums Jülich, der Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, der Hochschule Merseburg, des Karlsruher Institute of Technology, der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, nicht in der Qualität und in dem Umfang zustande gekommen.

Auch wenn im Zuge der Energiewende eine Abkehr von fossilen Brennstoffen vor allem bei der Stromerzeugung stattfindet, wird Kohlenstoff weiterhin ein unabdingbarer Ausgangsstoff für Chemikalien, Kunststoffe und auch für hochkalorische Treibstoffe bleiben, was die Herausforderung der Entwicklung geschlossener C-Kreisläufe mit sich bringt. Braunkohle kann hierbei als einzig nennenswerter heimischer Kohlenstoffträger auch in Zukunft eine Rolle spielen. Schwerpunktmäßig für Braunkohle als einer komplexen fossilen Biomasse wurden unter Mitberücksichtigung junger Biomassen Analyse- und strukturelle Charakterisierungsverfahren zur Beschreibung des Verhaltens der organischen Haupt- und der anorganischen Nebenbestandteile im technischen Prozess entwickelt.

Auf dieser Grundlage gelang es, an diese angepasste Verarbeitungs- und Verfahrenstechniken zu entwickeln, die zum einen die direkte stoffliche Nutzung heimischer Braunkohlen unterschiedlicher

Herkunft ermöglichen, zum anderen sich aber auch auf Biomassen sowie andere C-stämmige Abfall- und Reststoffe ausweiten lassen. Die Übertragung auf weitere Einsatzstoffe unterstützt damit auch das Bemühen um die Schließung von Kohlenstoff-Kreisläufen.

Wesentliche Inhalte

Das Buch wendet sich an Ingenieure, Werkstoffkundler und Mineralogen mit wissenschaftlichem Anspruch, die an Basisdaten zur verfahrenstechnischen Prozessauslegung für die stoffliche und energetische Nutzung C-stämmiger Rohstoffe interessiert sind. Aufgrund des Teilschwerpunkts zur Frage der Aufklärung organischer Strukturen im Hinblick auf an diese ausgerichtete, verfahrenstechnisch angepasste Konversionstechniken sind die mitgeteilten Ergebnisse und Erkenntnisse gleichermaßen für Braunkohlen und junge Biomassen geeignet.

Der erste Teil widmet sich der Rolle der Braunkohle im zukünftigen Rohstoffmix, vergleicht diese mit der anderer Kohlenstoffträger und stellt neben strategischen Aspekten auch die Prozessketten sowie die jeweiligen ökonomischen und technischen Randbedingungen nebeneinander. Teil zwei behandelt die Charakterisierung von Energierohstoffen und geht auf die physikalischen, chemischen und strukturellen Eigenschaften der Kohle ein. Teil drei beschreibt die Braunkohlen-Gewinnung und deren Qualitätsmanagement.

Im Folgenden werden einzelne Aufbereitungsschritte beschrieben:

- Teil vier behandelt die mechanisch-physikalischen und
- Teil fünf dann die thermochemischen.
- Teil sechs beschäftigt sich mit neuartigen Systemkomponenten und
- Teil sieben mit Werkstoffen.

Analyse

Das Buch ist gut strukturiert und geht nach einem Auftakt über die ökonomischen und strategischen Randbedingungen für die Braunkohlennutzung schnell in die Tiefe der einzelnen Fachgebiete. Analysemethoden und Umwandlungsprozesse werden umfangreich beschrieben und wesentliche Erkenntnisse auch anhand von Messwerten und Simulationen belegt.

Den größten Raum nehmen die thermochemischen Konversionsprozesse ein. Hier geht es zunächst wieder um die grundlegenden chemischen Prozesse,

die in Laborversuchen untersucht und beschrieben werden. Ausgehend von detaillierten Untersuchungen der am Einzelpartikel ablaufenden Prozesse werden die Erkenntnisse in die Beschreibung der Gesamtprozesse Pyrolyse und Vergasung überführt und auch experimentell mit einer Vielzahl von Experimenten an Technikumsanlagen unterlegt. Darauf aufbauend widmen sich zwei Kapitel der Kopplung von CFD-Modellen mit Aspekten des Fließverhaltens von Schlacke im Flugstromvergasungsreaktor und der Integration von experimentell erzielten Pyrolysedaten in verbesserte CFD-Modelle.

Den Wert des Buches bilden für die Rezensenten insbesondere die ausführlichen Stoffdaten, z. B. zur brennstofftechnischen Charakterisierung von 42 Brennstoffen, die von Biomassen über Weichbraunkohlen bis hin zu Anthrazit ein breites Spektrum von Einsatzstoffen aus verschiedenen Teilen der Welt abdecken, wobei der Fokus – dem Anspruch des Buches entsprechend – auf deutschen Braunkohlen liegt. Darauf aufbauend werden sehr umfangreiche Stoffdaten aus thermochemischen Konversionsprozessen dieser Einsatzstoffe veröffentlicht und die Zusammenhänge zwischen Einsatzstoffeigenschaften, Apparatteeigenschaften, Prozessbedingungen und Ergebnissen diskutiert. Die Untersuchungen umfassen dabei Grundlagenanalysen an Kleinstmengen im Labormaßstab bis hin zu angewandten Versuchsreihen im Technikumsmaßstab. Der hierfür genutzte Gerätepark war sehr umfangreich und umfasste eine Bandbreite vom Fouriertransformations-Ionenzyklotronresonanz-Massenspektrometer (FT-ICR-MS) für die organische Strukturanalyse über In-situ-Hochtemperaturröntgendiffraktometer zur anorganischen Mineralphasenanalyse bis hin zu Fallrohrreaktoren, Pyrolysedrehrohröfen oder dem Flugstromvergaser zur Abbildung des Reaktionsverhaltens der Organik und der mineralischen Nebenbestandteile unter technischen Bedingungen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet außerdem das Partikelverhalten unter realen Bedingungen in Reaktionsräumen, was sowohl grundlegende Untersuchungen am Einzelpartikel bis zu makroskopischen Betrachtungen der Gas- und Feststoff-Verweilzeitverteilung mit einschließt. Diese Vorgehensweise erlaubt es dem fachkundigen Leser, die Ergebnisse bzw. die gefundenen Zusammenhänge auch für real in Betrieb befindliche Anlagen zu operationalisieren.

Die fundamentalen Untersuchungen zum Hochtemperaturverhalten der mineralischen Bestandteile unter prozessrelevanten Bedingungen bilden aufgrund der in Flugstromvergasungsprozessen aufschmelzenden Feststoffphase einen wichtigen Bestandteil des Werks, um beispielsweise die Materialauswahl für Vergasungsreaktoren hinsichtlich einer hohen Anlagenverfügbarkeit zu verbessern sowie insbesondere das Asche- und Schmelzbildungsverhalten den Anforderungen des jeweiligen technischen Prozesses anzupassen. Besonders hervorzuheben ist das dem Mineralstoffverhalten eigens gewidmete Kapitel, das sich mit dem Hochtemperaturverhalten von Kohle- und Biomasseaschen unter oxidierenden und reduzierenden Bedingungen befasst. Im technischen Prozess bestimmt das Verhalten der Anorganik wesentlich die Prozessauslegung und -führung, was höchste Ansprüche an die analytische Bewertung stellt. Gerade bei den an Bedeutung gewinnenden jungen Biomassen wird die Beherrschung des Belags- und Schmelzbildungsverhaltens und der damit verbundenen korrosiven Vorgänge ihre Einsetzbarkeit in Hochtemperaturverfahren maßgeblich bestimmen.

Brennstoffaschen werden dabei mehrstufig mittels verschiedener Analysemethoden hinsichtlich ihres Schmelzverhaltens, ihrer Elementzusammensetzung, Phasenbestand und Phasenentwicklung, Schlackeviskosität und Erstarrungsverhalten bis hin zur Wechselwirkung mit keramischen Feuerfestwerkstoffen charakterisiert und mit vorhandenen Modelldatenbanken abgeglichen. Auf Grundlage dieser Datenbasis können die jeweiligen Brennstoffe passenden Reaktorkonzepten zugeordnet bzw. von diesen ausgeschlossen werden und darauf aufbauend Empfehlungen hinsichtlich Brennstoffmischungen oder einer Additivzugabe im operativen Betrieb gegeben werden.

Mit dem Ziel, eine rückstandsfreie Verwertung der Kohle bei geringen Abfallbelastungen, maximaler Wertschöpfung und ökonomischer Konkurrenzfähigkeit zu erzielen, wird ein Konzept mit nacheinander ablaufenden Prozessschritten skizziert: ausgehend von der Lagerstätte über die Gewinnung und Aufbereitung des Materials bis hin zur mehrstufigen stofflichen Nutzung (im Zuge von Extraktionsprozessen, z. B. zur Rohmontanwachsgewinnung) über Niedertemperaturkonversionsprozesse (wie Reaktivextraktion zur Gewinnung verschiedener

Kohlenwasserstofffraktionen) bis hin zu Hochtemperaturkonversionsprozessen wie etwa der Vergasung. Die geostatische Simulation für die Modellierung komplexer Lagerstätten unterstützt diesen Weg, um die selektive Gewinnung von Kohle je nach Einsatzschwerpunkt zu ermöglichen. Darauf aufbauend, werden in diesem Zusammenhang neue Aufbereitungswege – z. B. die Agglomeration von Kohle für die Vorbereitung der anschließenden Extraktion von Rohmontanwachs aus Kohlen – untersucht. Dieser bereits im regionalen Wachstumskern „ibi – Innovative Braunkohlenintegration in Mitteldeutschland“ formulierte Gedanke von stoffgeführten Prozessketten verdeutlicht die komplexen Verknüpfungen der einzelnen Prozesse und die damit einhergehenden Anforderungen an die jeweiligen Einsatzstoffe bzw. an die Produktcharakterisierungen im Sinne eines ganzheitlichen und nachhaltigen Ansatzes bei der stofflichen Kohlenutzung.

Ein weiteres Gebiet ist die Untersuchung von insbesondere keramischen Werkstoffen und ihrer Korrosionsbeständigkeit gegenüber Schlackeschmelzen der verschiedenen Brennstoffaschen in reduzierender Atmosphäre. Auch hier liegt der Schwerpunkt auf Laboruntersuchungen und Analysen bis hin zur elektronenmikroskopischen Betrachtung der Werkstoffe.

Das Werk enthält darüber hinaus Beschreibungen verschiedener thematisch benachbarter Aspekte, die auf die technische und/oder ökonomische Verbesserung von Gesamtkonzepten zur thermochemischen Konversion von Brennstoffen zielen, z. B. auf ein kontinuierliches schleusenloses Feststoffeintragssystem, die Rohstoffvorwärmung mittels elektromagnetischer Wellen und die Untersuchung der Eignung keramischer Werkstoffe z. B. als Wärmeübertrager. Dieser interdisziplinäre Ansatz zeichnet das Buch aus, auch wenn es dadurch etwas heterogen wirkt und den Leser nicht systematisch wie ein klassisches Lehrbuch in die Materie einführt. Die Stärken des Buches sind:

- Das Buch behandelt die spezifischen Braunkohleaspekte umfangreich und deckt alle wesentlichen Themen ab. Diese werden teilweise äußerst detailliert und mit Zugang zu experimentell erzielten Werten beschrieben. Hier ist sowohl die umfangreiche, über Standarduntersuchungen weit hinausgehende Einsatzstoffcharakterisierung zu erwähnen, als auch die Beschreibung umfangrei-

cher Prozessbilanzen, inklusive detaillierter Produktcharakterisierung.

- Darüber hinaus werden auch relevante benachbarte Themen bzw. noch im Forschungsstadium befindliche Konzeptideen behandelt.
- Das Buch eignet sich wirkungsvoll als Kompendium zum Nachschlagen einzelner, spezieller Themengebiete, wendet sich aber vorrangig an Fachleute mit entsprechendem Vorwissen und der Fähigkeit zur Einordnung von forschungstechnischen Ergebnissen.

Als Schwächen des Buches lassen sich anführen:

- Aufgrund seiner Entstehung wirkt das Buch wie eine Zusammenstellung einzelner Fachartikel und ist somit als erster Einstieg bzw. gezielte Führung durch das Themengebiet Braunkohle weniger geeignet. Dies zeigt sich z. B. an der recht heterogenen Gestaltung von Grafiken.
- Die Veröffentlichung des Buchs erfolgte leider erst einige Jahre nach Beendigung der in ihm referierten Forschungsarbeiten. Gerade weil es die Potenziale einer weitergehenden Biomassenutzung für deren energetische oder stoffliche Verwendung in Kombination mit der letztlich weitgehend zu substituierenden Braunkohle mitbetrachtet, hätte es einen wichtigen vorlaufenden Beitrag zur Arbeit der Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung leisten können.

Fazit

Das vorliegende Buch beinhaltet die Ergebnisse jahrzehntelanger Forschung zur stofflichen Braunkohlenutzung in Freiberg. Es handelt sich nicht um eine Monographie mit einem kompletten Überblick zum Thema der stofflichen Kohlenutzung, sondern stellt eine Zusammenstellung einzelner Forschungsarbeiten dar und ist für Fachleute mit ausreichendem Vorwissen gedacht. Die einleitenden Kapitel zur Einordnung des Werks – z. B. hinsichtlich des Kohlenstoffbedarfs für industrielle Anwendungen – sind eher knapp gehalten. Die wesentlichen Schwerpunkte, z. B. Pyrolyse und Vergasung sowie das Hochtemperaturverhalten der mineralischen Bestandteile des Materials während dieser Konversionsprozesse werden aber in sich geschlossen in umfangreichen Kapiteln beschrieben und – um einige zusätzliche Aspekte erweitert – anmoderiert.

100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht an der (TU) Bergakademie Freiberg

Stefanie Preißler¹, Kristina Wopat²

2020 jährt sich die Verleihung des eigenständigen Promotionsrechts an die Bergakademie Freiberg zum 100. Mal. In dieser Zeit hat die (TU) Bergakademie Freiberg rund 5.250-mal den Dokortitel verliehen, davon rund 2.350-mal nach 1990. Promovierte der (TU) Bergakademie Freiberg kommen aus fast 100 Nationen und von allen Kontinenten.³

Als am 22. Dezember 1920 Walter Schopper aus Zeulenroda in Thüringen seine Doktorarbeit *Beiträge zur Verarbeitung metallsalzhaltiger Lösungen, insbesondere der Ablaugen von der Extraktion der Kiesabbrände* mit Auszeichnung bestanden hatte, fand damit das intensive Ringen der Bergakademie Freiberg um eine Gleichstellung mit den Technischen Hochschulen und Universitäten ein erfolgreiches Ende.

Die Bergakademie Freiberg erhielt zwar schon 1905 das Promotionsrecht, jedoch zunächst ausschließlich in Verbindung mit der Technischen Hochschule Dresden. Das bedeutete, dass Dissertationen, die in Freiberg für gut befunden wurden, trotzdem in Dresden als unzureichend abgelehnt werden konnten.⁴ Dies „kratzte“ nachvollziehbar am Selbstverständnis der Bergakademie. So konstatierte Erwin Papperitz, Mathematikprofessor an der Bergakademie Freiberg, in seiner Antrittsrede als Rektor 1905: „Jeder Fußbreit Boden mußte den Gegnern der Verleihung eines solchen Rechtes an die Bergakademie abgerungen werden.“⁵ In der darauffolgenden Zeit drängte die Leitung daher – unter anderem unterstützt von Vertretern der Stadt Freiberg und zum Teil auch von Akteuren der Landesregierung – auf die Verleihung des eigenständigen Promotionsrechts. So wurde 1916⁶ anlässlich der 150-Jahr-Feier der Bergakademie – wenngleich erfolglos – die Gunst der Stunde genutzt, um auf die Vergabe eines eigenständigen Promotionsrechts hinzuwirken.⁷ Die ausschlaggebende Argumentationshilfe bot letztendlich wohl der Verweis auf die beiden montanistischen Schwesteranstalten in Leoben (Österreich) und in Příbram (Tschechoslowakei), die bereits über volles Promotionsrecht verfügten.⁸ Zudem hatte im Oktober 1920 das preußische Staatsministerium beschlossen,

der Bergakademie Clausthal das Recht der Verleihung des Titels „Doktor der Ingenieurwissenschaften“ zuzuerkennen. Das Sächsische Finanzministerium befand sich nun in Zugzwang. Nur 25 Tage nach der Bekanntgabe, die Bergakademie Clausthal betreffend, war in der Sächsischen Staatszeitung zu lesen: „Auf Grund des Beschlusses des Gesamtministeriums vom 22. Oktober dieses Jahres verleiht das Finanzministerium namens der sächsischen Staatsregierung der Bergakademie Freiberg das Recht, unter den in der Promotionsordnung festzusetzenden Bedingungen auf Grund einer Prüfung die Würde eines Doktoringenieurs zu erteilen und die gleiche Würde auch ehrenhalber als seltene Auszeichnung an Personen zu verleihen, die sich um die Förderung der berg- und hüttentechnischen Wissenschaften hervorragende Verdienste erworben haben.“⁹ Noch am selben Tag überreichten die Repräsentanten des Finanzministeriums, Ministerialdirektor Geheimer Rat Just und Geheimer Finanzrat Dr. Krug, als Höhepunkt der Veranstaltung zum feierlichen Rektoratswechsel an der Bergakademie die entsprechende Urkunde.¹⁰ So verlor die Hochschule also nicht den Anschluss an die anderen europäischen Bergakademien und erreichte einen wichtigen Schritt zur Festigung des akademischen Anspruches sowie zur Angleichung an universitäre Strukturen.¹¹ Aufgrund dieser Entwicklung gab es allein von Ende 1920 bis Ende 1932 104 Promotionen an der Bergakademie Freiberg. Eine Ursache dafür lag darin, dass gerade Mitte der 1920er Jahre und ab dem Jahr 1929 zahlreiche Absolventen aufgrund der angespannten wirtschaftlichen Situation in der damaligen Inflationszeit bzw. nach der Weltwirtschaftskrise keinen direkten Einstieg in die Industrie suchten, sondern im akademischen System verblieben.

Im Jahr 1921 machten übrigens der Rektor und Senat von dem der Bergakademie zustehenden Recht der Ehrenpromotion intensiver als zuvor Gebrauch, indem sie auf einstimmigen Beschluss des Professorenkollegiums „acht hochverdienten Männern“¹² die Ehrendoktorwürde verliehen. Darunter waren Ernst Just¹³ und Heinrich Fischer¹⁴, beide im Finanzministerium in Dresden tätig. Dies erfolgte sicher auch in Anerkennung für deren vorherige Fürsprache zur Erlangung des eigenständigen Promotionsrechts bei den dafür zuständigen Stellen. Dass die Würde eines Dr.-Ing. E. h. auch in den folgenden Jahren keine „seltene Auszeichnung“ war, belegen die Zahlen. So wurden zwischen 1918 und 1933 an der Bergakademie Freiberg 44 Personen mit der Ehrendoktorwürde ausgezeichnet, darunter allein

1 Alumni-Beauftragte, Freiburger Alumni Netzwerk; Nonnengasse 22, 09599 Freiberg, Raum: 1.11, alumni@zuv.tu-freiberg.de

2 Graduierten- und Forschungsakademie, TU Bergakademie Freiberg, Prüferstr. 2, wopat@tu-freiberg.de

3 Seit 1995 haben Doktoranden aus 96 Nationen ihre Promotion erfolgreich abgeschlossen. Die Recherchen für die Zeit vor 1995 sind gegenwärtig noch im Gange, so dass die exakte Zahl noch nicht genannt werden kann.

4 So geschehen beispielsweise bei Moritz Hochschild (1881–1965). Seine Dissertation wurde 1907 trotz des positiven Gutachtens des Freiburger Geologen Richard Beck von Dresdner Seite abgelehnt. UAF, Matr 4398, Studentenakte Moritz Hochschild.

5 Papperitz, Erwin: Über die Entwicklung der Freiburger Bergakademie seit ihrer Gründung im Jahre 1765, Antrittsrede am 29.07.1905, Freiberg 1905, S. 25.

6 Lange Zeit feierte man den Beginn der Vorlesungen zu Pfingsten 1766 als das Gründungsjubiläum der Bergakademie Freiberg. Seit 1965 wird das Reskript über die Gründung der Bergakademie Freiberg vom 21. November 1765 als Jubiläumstermin begangen.

7 Schreiben des Freiburger Stadtrates an das Finanzministerium vom 08.10.1920, StadtA FG, I, XX, 244, Bl. 65b.

8 UAF, Rektorat, 114, Bl. 126a.

9 Sächsische Staatszeitung, Nr. 252, 30.10.1920, SächsBergAFG 40024-06, 009, Bl. 195.

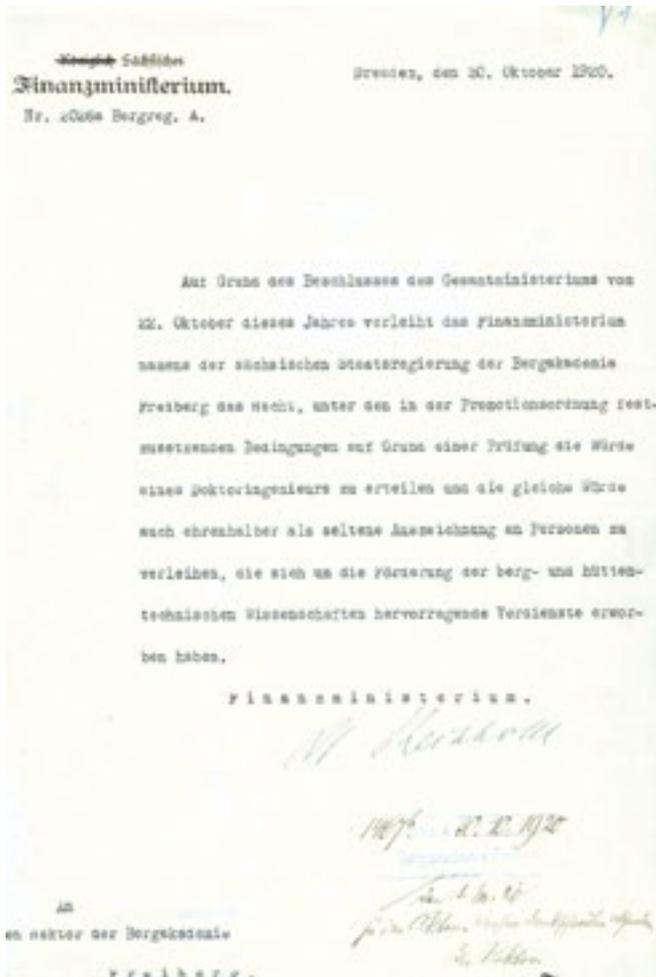
10 Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Sachsen, Jg. 1921, S. B 259.

11 Albrecht, Helmuth: Die Bergakademie Freiberg. Eine Hochschulgeschichte im Spiegel ihrer Jubiläen 1765 bis 2015. Freiberg 2016, S. 33.

12 Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Sachsen, Jg. 1921, S. B 261.

13 Ernst Wilhelm Just (1865–1945), Ministerialdirektor im Sächsischen Finanzministerium, Geheimer Rat, 1898–1900 Professor für Bergrecht und Allgemeine Rechtskunde an der Bergakademie Freiberg.

14 Karl Heinrich Fischer (1857–1939), Geheimer Rat, Oberberghauptmann und Vortragender Rat im Sächsischen Finanzministerium, 1878–1883 Student an der Bergakademie Freiberg.



Schreiben des Finanzministeriums an den Rektor der Bergakademie Freiberg mit Mitteilung der Verleihung des eigenständigen Promotionsrechts 1920 (UAF, Signatur: Y1)

fünf Repräsentanten aus Politik und Verwaltung des Freistaates Sachsen.¹⁵ Das waren mehr als achtmal so viele Ehrenpromotionen wie in der zeitlich in etwa vergleichbaren Phase von 1905 bis 1917.¹⁶ „Im Jahre 1930 würdigte die Bergakademie schließlich ihre besondere Verbindung zum sächsischen Finanzministerium mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Finanzminister Hugo Weber¹⁷, der dieses für die Bergakademie so wichtige Ministerium als Vertreter der Wirtschaftspartei von 1927 bis 1930 leitete.“¹⁸ Überhaupt war die extensive Verleihung von akademischen

15 Preißler, Stefanie: Zur Geschichte der Bergakademie Freiberg in der Weimarer Republik unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus des Versuchsfeldes für Berg- und Hüttenwerksmaschinen auf der Reichen Zeche. Diplomarbeit TU Bergakademie Freiberg, Freiberg 2009, S. 72.

16 Noch deutlicher ist der Vergleich mit der Vergabe von „nur“ sechs Ehrenpromotionen im Zeitraum von 1945 bis 1965, nach: Rektor und Senat der Bergakademie Freiberg (Hrsg.): Bergakademie Freiberg. Festschrift zu ihrer Zweihundertjahrfeier am 13. November 1965. Band 2: Geschichte der Lehrstühle, Institute und Abteilungen der Bergakademie Freiberg. Leipzig 1965, S. 367.

17 (Max) Hugo Weber (1889–1975), deutscher Volkswirt und Politiker. Die Verleihung der Ehrendoktorwürde fand anlässlich der Einweihung des neuen Gebäudes des Eisenhüttenkundeeinstitutes am 31. Januar 1930 statt.

18 Albrecht, Helmuth: Die Bergakademie Freiberg. Eine Hochschulgeschichte im Spiegel ihrer Jubiläen 1765 bis 2015. Freiberg 2016, S. 209, nach: Wagenbreth, Otfried; Pohl, Norman; Kaden, Herbert; Volkmer, Roland: Die Technische Universität Bergakademie Freiberg und ihre Geschichte. 2. Aufl. Freiberg 2008., S. 80.

Ehrenwürden eine in der Zeit der Weimarer Republik durchaus übliche Praxis an den deutschen Hochschulen, um Vertreter aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft oder private Stifter an sich zu binden. Und dank des Wegfalls der zuvor auch bei Ehrenpromotionen notwendigen Abstimmung mit der TH Dresden vereinfachte sich ab Oktober 1920 der Vergabeprozess zugunsten der Freiburger Hochschule.

Die Verleihung des eigenständigen Promotionsrechts an die Bergakademie Freiberg wie auch die Vergabe von Ehrenpromotionen halfen also bemerkenswerterweise – neben den aus wissenschaftlicher Arbeit resultierenden fachlichen Erkenntnisserträgen – gerade in jenem Jahrzehnt ab 1920 nicht unwesentlich dabei, eine wichtige Strategie der Krisenbewältigung zu verfolgen, die das Weiterbestehen der Hochschule sicherte.

Fachkolloquien und Festveranstaltung „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht“ vom 4. bis 6. Juni 2020

Ein solches Jubiläum wird am besten begangen, wenn es von Vielen gemeinsam gestaltet wird. Um möglichst zahlreichen hier Promovierten aus aller Welt einen breiten Einblick in die aktuellen Forschungen an ihrer Alma Mater Freibergensis zu geben und ein attraktives Angebot bereitzustellen, wird es sowohl fachlich ausgerichtete Kolloquien als auch eine zentrale Festveranstaltung mit Vorträgen zu Zukunftsfragen sowie ein Rahmenprogramm geben.

Die Veranstaltungen sind für den 4. bis 6. Juni 2020 geplant und sollen mit dem 71. BHT – Freiburger Universitätsforum verknüpft werden. Die Professorinnen und Professoren sowie die angefragten Emeriti wurden gebeten, sich an den Fachkolloquien zu beteiligen, die am 4. Juni 2020 stattfinden sollen und in Get-together-Abende an den beteiligten Lehrstühlen und Instituten münden. Für den Vormittag des 5. Juni 2020 ist neben weiteren Fachkolloquien auch ein zentrales Angebot zu übergreifenden Themen (z. B. zu Ausbildungsanforderungen für Fachkräfte der Zukunft, globalen Herausforderungen des Klimawandels etc.) vorgesehen, das auch Promovierte ansprechen soll, die ihr ursprüngliches Fachgebiet möglicherweise verlassen haben. Den Abschluss der Feierlichkeiten bildet die Festveranstaltung am Freitagnachmittag des 5. Juni 2020. Als Laudatorin angefragt ist die gegenwärtige DFG-Vize- und künftige Präsidentin Prof. Dr. Katja Becker. Das Rahmenprogramm am Sonnabend, dem 6. Juni 2020, rundet die gemeinsamen Aktivitäten ab.

Die Graduierten- und Forschungsakademie hat darüber hinaus für promovierte Alumni aus Entwicklungsländern beim DAAD einen Antrag auf Förderung eingereicht, der u. a. die Reisekosten für bis zu 25 Teilnehmer aus diesen Ländern decken soll. Damit verbunden ist ein eigenständiges, englischsprachiges Programm am 2./3. Juni 2020, das sich mit Fragen der Good Governance, unsichtbaren Geldströmen (z. B. im Bergbau), dem Klimawandel und ähnlichen übergreifenden Themen beschäftigt und in das die Promovierten ebenfalls mit öffentlichen Vorträgen eingebunden werden.

Für die promovierten Alumni ist eine Voranmeldemöglichkeit auf folgender Webseite freigeschaltet:

→ <https://tu-freiberg.de/grafa/100-jahre-promotion>

Nach erfolgter Voranmeldung werden die Interessenten automatisch per E-Mail informiert, sobald das Veranstaltungsprogramm online und die verbindliche Anmeldung möglich ist.

Silberboom – Schauplatz Erz

Das Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg
ist einer von sechs Schauplätzen der 4. Sächsischen Landesausstellung 2020

Helmut Mischo¹, Cornelia Hünert²

Unter dem Motto „*Boom. 500 Jahre Industriekultur in Sachsen*“ wird im kommenden Jahr die 4. Sächsische Landesausstellung stattfinden. Hierzu werden an sechs authentischen Schauplätzen die für die Industrialisierung Sachsens repräsentativen technischen Entwicklungen und Industriebranchen vorgestellt, die die besondere Rolle des Freistaates als eines der ersten Zentren der Industrialisierung in Deutschland verdeutlichen. Neben der Zentralausstellung in Zwickau präsentieren sich sechs weitere Partner zwischen Crimmitschau und Freiberg mit Schauplatzausstellungen, darunter das Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg, das unter dem Thema „Silberboom“ den Schauplatz „Erz“ vertritt. Der sächsische Erzbergbau hat – angefangen von der Gewinnung und Verarbeitung der Silbererze über die spätere Buntmetallgewinnung bis hin zum Uranbergbau – in vielen Bereichen der Region nicht nur herausragende technische und technologische Ansätze, sondern auch die rechtlichen und wissenschaftlichen Grundlagen für die über die Jahrhunderte nachfolgenden Industrien geschaffen.

Das Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) ist seit nunmehr über 100 Jahren ein in Europa einzigartiger untertägiger Forschungs- und Ausbildungsstandort an einer Universität. Eine besondere Herausforderung für die Ausrichtung der Landesausstellung in Freiberg ist dabei, dass – im Gegensatz zu den anderen Standorten – hier nicht ein Museum mit einer speziell konzipierten Ausstellung die Wesenszüge der besonderen Industriekultur in der jeweiligen Teilregion vermitteln soll, sondern dass hier die Landesausstellung in einen aktiven und bergrechtlich bewilligten Grubenbetrieb zu integrieren ist. Dabei steht das FLB nicht nur stellvertretend für über 850 Jahre sächsischen Erzbergbaus, wie er über Jahrhunderte hinweg die technischen Entwicklungen in diesem Industriezweig wesentlich mit vorgezeichnet und geprägt hat, sondern es schlägt auch die Brücke hin zu den aktuellen Bergbauaktivitäten in der Region, wie sie sich zurzeit im „4. Bergeschrey“ manifestieren.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten ist in den laufenden Betrieb des Bergwerks erfolgreich ein touristischer Besucherbetrieb integriert. Der Förderverein Himmelfahrt Fundgrube e. V. bringt – in enger Abstimmung mit der Bergakademie – unter der Marke „Silberbergwerk“ Jahr für Jahr deutlich über 16.000 Besuchern den historischen Erzbergbau in der ältesten Bergstadt des sächsischen Erzgebirges näher. Vor dem Hintergrund dieser erfolgreichen Zusammenarbeit lag es nahe, für die Durchführung der Landesausstellung auf die bestehenden, bewährten Strukturen zurückzugreifen. Auch die Stadt Freiberg hat sich von Beginn an des Themas Landesausstellung angenommen und sich sowohl personell als auch mit unterstützenden Maßnahmen der Tourismuswerbung und Sonderveranstaltungen des Stadt- und Bergbaumuseums in erheblichem Maße in die Vorbereitung der eingebracht.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten im FLB im Rahmen der Landesausstellung liegt auf zwei eigens neu konzipierten untertägigen Führungen. Hierbei werden verschiedene Zielgruppen angesprochen. Die neu konzipierte und ausgestattete „Entdecker-Tour“, für die zurzeit der ehemalige Lehrpfad auf der ersten Sohle umgestaltet wird, soll auf einer 500 m langen Strecke vor allem bei jüngeren Besuchern und Familien – aber auch bei älteren Gästen – durch die Präsentation typischer Exponate in einer großen Bandbreite wie auch durch spezielle museumspädagogische Installationen, die grundlegende Informationen über den Erzbergbau vermitteln, „Lust auf mehr“ machen.

Auch die Brücke vom historischen Bergbau hin zum heutigen FLB am montanistischen Forschungsstandort Freiberg wird geschlagen – in Form der ebenfalls neu konzipierten „Forscher-Tour“. Bei dieser Tour werden die Besucher im Rahmen einer zweistündigen Führung zu ausgewählten Forschungsstandorten unter Tage geführt, die exemplarisch für eine moderne, zukunftsorientierte und nachhaltige Nutzung des für spezielle Experimente sich anbietenden Unter-Tage-Raumes stehen. Dabei geht es um Themen wie das der Entwicklung und des Einsatzes von autonomen Robotern unter Tage, um die Entwicklung von superharten Werkstoffen, um das Internet der Dinge und die Kommunikation unter Tage – aber auch um die Entwicklung neuer Gewinnungsverfahren, etwa durch den Einsatz von Bakterien. Diese neue Führung wurde im Rahmen der Nacht der Wissenschaften im Juni 2019 erstmals probenhalber angeboten und stieß auf sehr positive Resonanz bei den Besuchern. Über Tage wird das Angebot ergänzt durch eine ebenfalls neu konzipierte Ausstellung zum Rohstoffbewusstsein sowie durch vielfältige, auf die Landesausstellung abgestimmte Aktivitäten der Silber- und Universitätsstadt Freiberg, die den Standort Reiche Zeche mit dem Stadtzentrum enger vernetzen und damit den Besuchern auch die weiteren touristischen Angebote am Standort erschließen wird.

Mit der Teilnahme an der Landesausstellung 2020 zeigt sich bereits in der Vorbereitungsphase eine Vielzahl von Synergien zwischen Bergakademie, Förderverein Himmelfahrt Fundgrube e. V. und Stadt. So wurden zum Beispiel die Landesausstellung in Freiberg und die vielfältigen touristischen Möglichkeiten am Standort über die unterschiedlichsten Kommunikationswege der Partner der Öffentlichkeit bekannt gemacht und gezielt beworben und damit ein deutlich erweiterter Personenkreis potenzieller Besucher angesprochen. Von besonderem Interesse für unsere Universität ist die damit gegebene Möglichkeit einer erweiterten und zielgruppengerechten Studienwerbung – und zwar nicht nur über die zusätzlichen, interessierten Besuchergruppen aus dem Freistaat und den angrenzenden Regionen (die dann als Multiplikatoren über uns als Hochschulstandort berichten), sondern ganz konkret auch durch direktes Ansprechen von Schülern. Während der Landesausstellung ist nämlich der Eintritt für Jugendliche und damit für die in Rede stehende Zielgruppe bis zu einem Alter von 18 Jahren frei.

¹ Wissenschaftlicher Direktor FLB, helmut.mischo@mabb.tu-freiberg.de

² FLB, cornelia.huenert@extern.tu-freiberg.de



Auf der EntdeckerTour und der ForscherTour wandeln die Besucher auf den Spuren des Altbergbaus und blicken in die Zukunft.

Ausgründungsförderung an der TU Bergakademie Freiberg

Rudolf Kawalla, Andre Uhlmann, Jens Grigoleit

Ausgründungen als wichtiger Weg des Wissens- und Technologietransfers

Die Nutzung und Verwertung von Erkenntnissen und Ergebnissen aus der Forschung sind wichtige Zielstellungen für Universitäten, deren Umsetzung durch die Öffentlichkeit und die Politik zunehmend thematisiert und eingefordert wird. Die Ausgründung innovativer Unternehmen, die Technologien in der Region nutzen und damit Wertschöpfung und Arbeitsplätze generieren, wird dabei oft als Königsweg des Wissens- und Technologietransfers betrachtet. Neben einer Verwertungsperspektive schafft diese Art des Transfers auch persönliche und berufliche Perspektiven für die beteiligten Wissenschaftler, die als Gründer und Unternehmer das an der Universität erworbene Wissen direkt umsetzen können.

Erfolgreiche Ausgründungstradition der TU Bergakademie Freiberg

Aufgrund des oft hohen Praxisbezugs der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg war diese schon immer eine ergiebige Quelle für Ideen, die aus der Universität heraus oder in deren Umfeld unternehmerisch umgesetzt wurden. In der Region - aber auch in aller Welt - gehen zahlreiche Unternehmen auf Gründungen von Absolventen unserer Universität zurück. Das Spektrum reicht von kleinen Beratungs- und Ingenieurbüros über Bergwerks- und Industrieunternehmen bis hin zu ganzen Branchen, deren Entwicklung maßgeblich auf Erkenntnisse und Erfindungen aus der Freiburger Universität zurückzuführen ist. So sind beispielsweise die regional hohe Konzentration an Unternehmen des Geo- und Rohstoffingenieurwesens oder die Entstehung der Freiburger Halbleiterindustrie maßgeblich durch die in diesen Bereichen profilierte Forschung geprägt und ohne diese kaum erklärbar. Auch erfolgreiche Gründungen der letzten zwanzig Jahre, wie die ACTech GmbH und die Freiberg Instruments GmbH haben ihre Wurzeln innerhalb der Universität.

Gründernetzwerk SAXEED und bestehende Fördermöglichkeiten

Seit 2006 ist die TU Bergakademie Freiberg Teil des Gründernetzwerks SAXEED

der süd- und westsächsischen Hochschulen (weitere Mitglieder sind die TU Chemnitz, die Westsächsische Hochschule Zwickau und die Hochschule Mittweida), das zahlreiche Instrumente und Angebote zur Unterstützung von Ausgründungen aus der jeweiligen Universität bzw. Hochschule organisiert und zu einem ganzheitlichen Konzept zusammengeführt hat.

Das Gründernetzwerk SAXEED ist als zentrale Servicestelle der TU Bergakademie Freiberg dem Prorektorat für Forschung zugeordnet und über die Gründerbetreuer mit einem (über)regionalen Netzwerk aus Investoren, Wirtschaftsförderung und strategischen Partnern verbunden. SAXEED sensibilisiert und motiviert Studierende, Hochschulabsolventen und Hochschulmitarbeiter für die Idee der Unternehmensgründung. Durch das breite Angebot an Netzwerk- bzw. Lehrveranstaltungen werden Gründer qualifiziert und durch erfahrene Gründerbetreuer von der Bewertung der Geschäftsidee über die Entwicklung des Geschäftsmodells und die Suche nach geeigneten Finanzierungsquellen bis hin zur Gründung des eigenen Start-ups begleitet. Jährlich werden auf diese Weise ca. 40 Gründungsprojekte betreut, aus denen sich – ebenfalls jährlich – ca. acht konkrete Gründungen ergeben, die Mehrzahl davon mit technologischem Hintergrund im Profifeld der TU Bergakademie Freiberg. Der Erfolg der Gründungsförderung an der TU Bergakademie Freiberg spiegelt sich in regelmäßig erzielten Spitzenergebnissen der Universität innerhalb des bundesweiten Rankings „Gründungsradar“ des Stifterverbandes und der Heinz Nixdorf-Stiftung wider. Mit Rang 7 unter 34 gelisteten kleinen Hochschulen konnte im Jahr 2018 erneut ein Platz unter den Top 10 behauptet werden.

Besondere Erfolge erzielt die TU Bergakademie Freiberg außerdem bei der Einwerbung von Förderungen aus dem Programm „EXIST - Existenzgründungen aus der Wissenschaft“ des Bundeswirtschaftsministeriums, durch das mit den Förderinstrumenten EXIST-Gründerstipendium und EXIST-Forschungstransfer Ausgründungen unterstützt werden, die spezielle Ergebnisse aus der Forschung

in innovativen Geschäftsmodellen umsetzen. Im Rahmen der Förderlinie EXIST-Forschungstransfer wurden bisher fünf Vorhaben gefördert, die in Ausgründungen mündeten:

- **CLMineOpt:** Verfahren zur Echtzeitanalyse und -aktualisierung von Lagerstättenmodellen zur Betriebsplanung und Prozessoptimierung bei Bergbauvorhaben (Institut für Markscheidewesen und Geodäsie), Projektvolumen ca. 740.000 EUR, Gründung im Jahr 2020
- **RMF:** wirtschaftliche (Rück-)Gewinnung von Indium aus Sekundärquellen, u. a. aus Erzen und Reststoffen (Institut für Technische Chemie), Projektvolumen ca. 1 Mio. EUR, Gründung in 2019
- **EVA:** hydraulische Universalpresse zum energie- und materialeffizienten Agglomerieren von Natur- und Reststoffen (Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik), Projektvolumen ca. 750.000 EUR, Gründung: ATNA Industrial Solutions GmbH
- **PARFORCE:** effiziente Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen und Reststoffen (Institut für Technische Chemie), Projektvolumen ca. 1 Mio. EUR; Gründung: PARFORCE Engineering & Consulting GmbH
- **ANCORRO:** Veredelung von Feuerfestmaterialien für die Glaserzeugung zur deutlichen Verlängerung deren Haltbarkeit (Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik), Projektvolumen ca. 600.000 EUR, Gründung: ancorro GmbH

Weitere entsprechende Vorhaben befinden sich gegenwärtig in Vorbereitung bzw. in Beantragung.

Der Freistaat Sachsen fördert neben den Gründerinitiativen wie SAXEED auch konkrete Unternehmensgründungen, u. a. mit dem Technologiegründerstipendium des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA), das sich in den letzten Jahren die Initiatoren mehrerer Gründungsvorhaben aus unserer Universität sichern konnten. Ergänzend dazu engagiert sich auch die Dr. Erich-Krüger-Stiftung für ausgewählte Gründungsvorhaben aus der TU Bergakademie Freiberg heraus – insbesondere für solche, die im Sinne der Stiftungssatzung eine auch regionalwirtschaftlich wirksame Verwertung von Forschungsergebnissen anstreben.

Ein besonderes Unterstützungsformat für Ausgründungsprojekte aus der TU Bergakademie Freiberg heraus ist der von SAXEED Freiberg betreute Gründungsinzubator. Dessen Programm

umfasst die kostenlose Bereitstellung einer Arbeitsumgebung in einem *Coworking Space* auf dem Gelände des ehemaligen David-Schachts sowie ein sechsmonatiges, strukturiertes Coachingprogramm zur Validierung des Geschäftsmodells und der eigentlichen Gründungsvorbereitung. Je Durchgang werden drei bis vier Gründerteams intensiv unterstützt. Bisher konnten in fünf Klassen insgesamt 19 Teams von der Förderung profitieren. Ziel ist es, aufbauend auf diesem Ansatz in den nächsten Jahren ein eigenes Innovations- und Gründerzentrum an der TU Bergakademie Freiberg zu etablieren, das einerseits Ideen aus der Forschung in die Praxis transferieren und gleichzeitig Unternehmertum sowie Gründergeist in die Universität hineinragen soll.

Ausblick

Mit ihrem Theorie und Praxis eng verknüpfenden Profil und ihrer Ausrichtung auf wirtschaftlich hochrelevante und attraktive Forschungsfelder ist die TU Bergakademie Freiberg seit mehr als 250 Jahren einer der wichtigsten Impulsgeber und Innovationsmotoren der regionalen wirtschaftlichen Entwicklung. Die in der Forschung erarbeiteten Lösungen im Bereich der Ressourcentechnologien, der Materialentwicklung, der Energiewirtschaft und der Umwelttechnik weisen oft ein hohes unternehmerisches Potenzial auf, dessen Nutzung sowohl für Studierende und Mitarbeiter als auch für die Universität insgesamt große Chancen bietet. Mit den von SAXEED organisierten Angeboten im Bereich der Sensibilisierung, Qualifizierung sowie der konkreten Gründungsunterstützung und den seitens der EU, des Bundes und des Freistaates Sachsen bestehenden Fördermöglichkeiten werden Gründern an der TU Bergakademie Freiberg sehr gute Bedingungen geboten. Die genannten Beispiele belegen das innovative Potenzial und die positive Entwicklung der Gründungsprojekte an der TU Bergakademie Freiberg.

Eine Ausweitung der Betreuung und Zusammenarbeit mit Ausgründungen wird vor allem für die Start-up-Phase nach der formalen Gründung angestrebt. Die TU Bergakademie Freiberg bietet schon jetzt im Rahmen vertraglicher Kooperationen gründerfreundliche Konditionen für die Nutzung von Schutzrechten und Ressourcen der Universität an. Darüber hinaus sollen Angebote zur Beratung und Betreuung, zur Kooperation in Forschung und Entwicklung sowie zur Vermittlung von



Foto: Tim Schneider

Abb. 1: Gründungsberater der TU Bergakademie Freiberg bei der Geschäftsmodellentwicklung



Foto: Franziska Böhrer

Abb. 2: Workshop mit Gründerteams im Freiberg Innovation Incubator am Davidschacht

Finanzierungs- und Geschäftspartnern weiterentwickelt werden. Damit sollen die Herausforderungen des Markteintritts und der ersten Wachstumsphasen, an denen junge Unternehmen oft scheitern, erfolgreich überwunden werden.

Mit der Förderung von Ausgründungen leistet die TU Bergakademie Freiberg einen wichtigen Beitrag zur Stärkung des Wissenschaftsstandortes und zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit der Wirtschaftsregion Mittelsachsen.

Danksagung

Die im Beitrag genannten Gründungsvorhaben und Aktivitäten der Gründungsförderung wurden mit Fördermitteln aus verschiedenen Programmen der EU, des Bundes, des Freistaates Sachsen sowie der Dr. Erich-Krüger-Stiftung finanziell unterstützt. Darüber hinaus sei an dieser Stelle allen beteiligten Professoren und Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg sowie der Partnereinrichtungen und -unternehmen gedankt. Die Aktivitäten des Gründernetzwerks SAXEED werden mit Mitteln des Freistaates Sachsen, des Europäischen Sozialfonds (ESF) und der beteiligten Hochschulen gefördert.



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Neue Pilotanlage zur ressourceneffizienten Erzeugung von Magnesium-Langprodukten

Rudolf Kawalla, Ulrich Prah, Madlen Ullmann, Matthias Oswald, Jens Grigolet

Hintergrund

Mit fünf Millionen Euro Fördermitteln aus dem Europäischen Strukturfonds für regionale Entwicklung (EFRE) unterstützte der Freistaat Sachsen die Errichtung der weltweit ersten Pilotforschungsanlage für das Gießwalzen von Magnesium-Langprodukten. Aus Mitteln der Universität wurde zusätzlich eigens für diese Anlage eine neue Versuchshalle errichtet.

Magnesiumdraht, der mit der neuen Forschungsanlage erzeugt werden soll, bietet als Leichtbauwerkstoff hohe Anwendungs- und Wertschöpfungspotenziale, die aufgrund der bislang fehlenden Möglichkeiten einer wirtschaftlichen Herstellung noch kaum ausgeschöpft werden können. Gegenüber dem verbreiteten Verfahren der Herstellung von Magnesiumdraht mittels Strangpressen weist das innovative Verfahren des Gießwalzens und anschließenden Kaliberwalzens signifikante Vorteile auf. Es ermöglicht eine Verkürzung der Prozesskette und Reduzierung der Prozesskosten, den Einsatz kostengünstigeren Vormaterials, eine Erhöhung der Produktivität durch eine kontinuierliche Prozessführung sowie die Herstellbarkeit beliebiger Drahtlängen bis hin zu Endlosdraht.

Am Institut für Metallformung, das die Anlage betreibt, wird seit den 1990er Jahren zu Magnesiumwerkstoffen geforscht. Seit 2002 entwickelt das Institut die Technologie des Gießwalzens und Warmwalzens von Magnesium-Flachprodukten. Entsprechend erzeugte Magnesiumbleche und -bänder konnten erfolgreich in verschiedenen industriellen Leichtbauanwendungen erprobt werden. Mit der Übertragung der Technologie auf die Herstellung von Langprodukten wie Draht, Stäben und Profilen werden weitere Anwendungsfelder für den Einsatz von Magnesiumwerkstoffen

erschlossen. So konnte ein gemeinsam mit den Chemnitzer Unternehmen KIESELSTEIN international und ESKA Automotive umgesetztes Forschungsprojekt zeigen, dass aus Magnesiumdraht hergestellte Schrauben gegenüber heute gebräuchlichen Aluminiumschrauben überlegene Eigenschaften aufweisen.

Die Vorteile des in Entwicklung befindlichen neuen Verfahrens ergeben sich daraus, dass durch die Kombination einer schnellen Erstarrung der Schmel-

nenfabrik GmbH verfolgten Entwicklung und Inbetriebnahme der Versuchsanlage wurde ein erster wichtiger Meilenstein auf dem Wege der Entwicklung der Gießwalztechnologie für Magnesium-Langprodukte erreicht. In den kommenden Jahren soll das Verfahren technologisch weiterentwickelt und für verschiedene Magnesiumlegierungen und Zielanwendungen erprobt werden.

Aufbau der Anlage

Die neue Anlage setzt sich aus einer Ofen- und Schmelzeinheit, der Gießdüse und dem Gießwalzgerüst sowie der Treibe-, Scher- und Ablageeinrichtung für die erzeugten Gießwalzstränge zusammen. Ergänzende Komponenten sind die Schutzgaseinrichtung, das Kühlwassersystem sowie die Staub- und Abluftabsaugung mit Abluftfilter.

Das elektrisch betriebene Schmelzofensystem hat eine Leistung von 400 kg Magnesiumschmelze/Stunde und kann mit handelsüblichen Masseln oder Magnesiumschrott beschickt werden. Es besteht aus einer Schmelz- und einer Entnahmekammer. Aus

letzterer wird die Schmelze in eine sogenannte Headbox, d. h. in einen Vorratsbehälter, gepumpt, aus dem die Gießdüse gespeist wird. Das Gießwalzen an sich erfolgt zwischen zwei Gießrädern (Durchmesser 700 mm), die ineinandergreifend ein Kaliber bilden, in das die Schmelze vergossen und während der Erstarrung umgeformt wird, womit sich kontinuierlich ein Strang bildet. Zur Erzielung eines möglichst feinkörnigen und homogenen Werkstoffgefüges wird eine möglichst schnelle Erstarrung der Schmelze im Walzspalt angestrebt, die durch eine Kühlung der Walzen von innen begünstigt wird.

Nach dem Gießwalzen wird der erzeugte Strang (ovales Profil mit



Abb. 1: Das Gießwalzgerüst als Herzstück der neuen Anlage

ze im Walzspalt mit einer unmittelbar erfolgenden Umformung ein gut weiterverarbeitbares Zwischenprodukt erzeugt wird, womit sich im Vergleich zu alternativen Herstellungsrouten zahlreiche Prozessschritte einsparen lassen. Dazu wird die geschmolzene Legierung direkt zwischen zwei gekühlten Walzen zu einem Strang gegossen und direkt nach der Erstarrung umgeformt. Aufgrund der hohen Effizienz und der kontinuierlichen Betriebsweise zeichnet sich das Gießwalzverfahren durch eine hohe Wirtschaftlichkeit – insbesondere für die industrielle Herstellung von Magnesiumdraht – aus.

Mit der gemeinsam mit dem Industriepartner hpl-Neugnadenfelder Maschi-

9,2 × 20 mm) in der gewünschten Länge abgetrennt und abgelegt. Er kann danach mittels Kaliberwalzens und ggf. Ziehens auf den gewünschten Enddurchmesser sowie ein definiertes Profil umgeformt werden. Die entsprechenden Technologien wurden am Institut für Metallformung und im Verbund mit Partnern im Rahmen mehrerer Projekte untersucht und entwickelt, so dass sich die gesamte Prozesskette experimentell durchgängig abbilden lässt.

Technologieentwicklung

Für die Entwicklung der Technologie am Institut für Metallformung kann auf der langjährigen Erforschung und der umfangreichen Erfahrung mit dem Gießwalzen und Walzen von Magnesiumband aufgebaut werden. Dennoch stellen sich aufgrund der veränderten Geometrie zahlreiche anspruchsvolle Herausforderungen, für die innovative und kreative Lösungen zu erarbeiten waren bzw. sind. Da es sich bei der Anlage um einen Prototypen handelt, für den es weltweit keine Vorlage gibt, wurde mit deren Auslegung und Bau technisches Neuland beschritten, wobei sich die enge

Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern des Instituts für Metallformung und der hpl-Neugnadenfelder Maschinenfabrik GmbH als überaus fruchtbar für die Bewältigung diverser anspruchsvoller Aufgabenstellungen erwies. Schließlich konnte ausgehend von einem Grobkonzept nach weniger als 1½ Jahren die Inbetriebnahme mit einer ersten Erprobung erfolgen.

Neben der eigentlichen Verfahrensentwicklung und -optimierung ist in den nächsten Jahren eine Erprobung der Anlage für weitere, zum Teil neue, speziell an die Technologie des Gießwalzens angepasste Magnesiumlegierungen verschiedener Profilgrößen und -geometrien sowie neuer Anwendungsbereiche vorgesehen. Dazu befinden sich mehrere Projekte in der Beantragung und Vorbereitung.

Vorgesehene Anwendungen für Magnesium-Langprodukte

Drahtwerkstoffe und Profile bilden wesentliche Komponenten in unterschiedlichsten technischen Anwendungen. Sie kommen unter anderem als Rahmen- und Gitterstrukturen, Stützelemente, Verstärkungen und Federn zum Einsatz. Außerdem basieren zahlreiche Fügeverfahren auf dem Einsatz von Drahtwerkstoffen, bspw. für die Herstellung von Schrauben, Stiften und Bolzen oder als Schweißzusatz. Magnesiumlegierungen bieten im Vergleich zu anderen metallischen Werkstoffen eine bezogen auf ihre Dichte sehr hohe Festigkeit und Steifigkeit und eignen sich damit insbesondere für den Leichtbau. Gegenüber entsprechenden Stahl- und Aluminiumbauweisen lassen sich

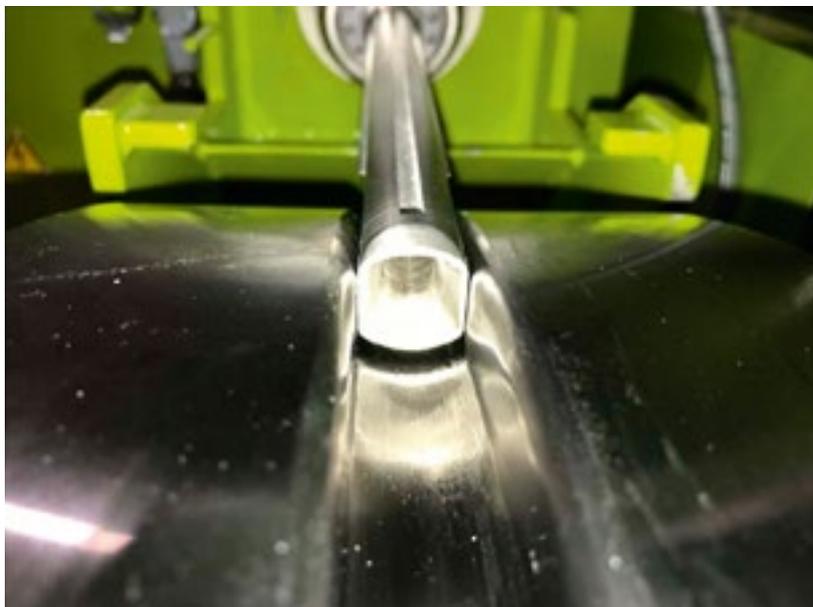


Abb. 2: Blick auf die Gießdüse zur Einbringung der Magnesiumschmelze in den Walzspalt

Masseinsparungen von mehr als 50 % bzw. mehr als 20 % realisieren. Gegenüber vielen Aluminiumlegierungen weisen Magnesiumwerkstoffe zudem eine gute Schweißbarkeit auf, was die Anwendbarkeit bspw. für Gitterstrukturen begünstigt. Ein weiterer Vorzug von Magnesium ist seine im Vergleich zu Aluminium gute Biokompatibilität, d. h. seine Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit. Zudem ist die Rohstoffbasis für Magnesium mit weltweit verbreiteten, wirtschaftlich nutzbaren Vorkommen nahezu unerschöpflich.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften von Magnesiumwerkstoffen und insbesondere ihres hohen Potenzials für den Leichtbau bieten sich gerade der Fahrzeug- und Flugzeugbau sowie der Maschinen- und Gerätebau als Anwendungsgebiete an. Mit zahlreichen Unternehmen in

diesen Branchen hat Sachsen gute Voraussetzungen für die Entwicklung dieser neuen Werkstoffe und entsprechender Anwendungen. Die Gießwalztechnologie bietet das dazu benötigte Potenzial einer Produktion von Magnesiumdrahthalbzeugen im industriellen Maßstab, und das zu günstigen Kosten, die mit den bisher verfügbaren Herstellungsverfahren nicht erreichbar sind.

Ausblick

Mit der neuen Anlage konnte an der TU Bergakademie Freiberg weltweit erstmalig das Gießwalzen von Magnesium-Langprodukten demonstriert werden, wobei die Technologie ein enormes Potenzial für die Forschung sowie für innovative Anwendungen im Bereich des industriellen Leichtbaus bietet. Das Institut für Metallformung kann sich mit dieser Entwicklung weiterhin als eines der international führenden Zentren für die umformtechnische Erzeugung und -verarbeitung von Magnesium-Werkstoffen profilieren.

Für den Freistaat Sachsen stellt die Entwicklung einen weiteren Kompetenzzuwachs im Bereich der Leichtbaumaterialien und des industriellen Leichtbaus dar, der insbesondere die Branchen des Fahrzeug- und Maschinenbaus sowie der Luft- und Raumfahrttechnik stärkt und eine Basis für zusätzliche Wertschöpfung und die Sicherung von Arbeitsplätzen bildet.

Danksagung: Die Entwicklung und Beschaffung der Gießwalzanlage für Magnesium-Langprodukte sowie die Forschung zu einer entsprechenden Technologieentwicklung wurden mit Hilfe von Fördermitteln des Freistaates Sachsen und der Europäischen Union ermöglicht. Für entsprechende Unterstützung sei insbesondere dem Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) sowie der Sächsischen Aufbaubank (SAB) gedankt. Maßgeblich für die erfolgreiche Errichtung und Inbetriebnahme der neuen Anlage war die sehr gute und partnerschaftliche Zusammenarbeit mit der hpl-Neugnadenfelder Maschinenfabrik GmbH, deren verantwortlichen Mitarbeitern an dieser Stelle ebenfalls Dank gebührt. Schließlich sei der Zentralen Universitätsverwaltung der TU Bergakademie Freiberg, insbesondere dem Dezernat 1 mit der Abteilung Bau und Liegenschaften sowie der Zentralen Beschaffungsstelle, für die umfangreiche Unterstützung und gute Zusammenarbeit gedankt.

Neuer Supercomputer am Campus

Dieter Simon, Alexander Winterstein

Im Universitätsrechenzentrum (URZ) der TU Bergakademie Freiberg wurde im Sommer 2019 das neue zentrale Compute-Cluster in Betrieb genommen. Es hat eine Leistung von mehr als 340 TFlops. Dabei handelt es sich um ein Gemeinschaftsprojekt verschiedener Institute. Hauptantragsteller war Prof. Oliver Rheinbach (Professur für Hochleistungsrechnen in der Kontinuumsmechanik und wissenschaftlicher Direktor des URZ). Der Supercomputer wird vom URZ technisch betreut.

High-Performance Computing

Durch das Hochleistungsrechnen (*High-Performance Computing, HPC*) können Wissenschaftler komplexe und rechenaufwendige Probleme behandeln. Die Gesamtrechenleistung wird in TeraFlops bzw. TFlops (*floating-point operations per second*) angegeben.

Die bearbeiteten numerischen Forschungsvorhaben sind primär Modellierungen, Simulation und Optimierung ingenieurtechnischer Problemstellungen aus den Bereichen Finite Elemente Methoden (FEM), Finite Differenzen Methoden (FDM), Numerische Strömungsmechanik (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) und Dichtefunktionaltheorie (DFT), die mit Stoff- und Wärmetransport gekoppelt sind, sowie quantenchemische Berechnungen. Außerdem wird mit Hilfe des HPC-Clusters an der Entwicklung und Implementierung von numerischen Algorithmen in der Geophysik, in der Gebirgs- und der Festkörpermechanik geforscht.

Das URZ betreut die HPC-Nutzer und dementsprechend den Betrieb des lokalen Compute-Clusters vor allem auf der Batchsystem- und Applikationsebene, aber auch bei der Nutzung übergeordneter HPC-Systeme (insbesondere am ZIH der TU Dresden).

Historische Entwicklung von Compute-Servern am Campus

Ab 1993 wurden auf dem Campus zentrale Kapazitäten für HPC-Anwendungen bereitgestellt. Der damalige Vektorrechner Convex 3420 hatte eine Rpeak-Performance von 50 MFlops. 1997 wurde dieser durch die Shared Memory-Architektur SGI-Origin 2000 mit 4,68 GFlops abgelöst. Im Jahr 2003 folgte die SGI Altix 3700 mit 166,5 GFlops.

Das erste Compute-Cluster an der TU

Bergakademie Freiberg gab es 2009 von der Firma Clustervision. Die Rpeak-Performance betrug 16,1 TFlops. Im Jahr 2011 wurde das erste zentrale HPC-Cluster im Rechenzentrum von der Firma Clustervision in Betrieb genommen. Dieser Hochleistungsrechner hat eine Rpeak-Performance von 20,25 TFlops.

Neues Compute-Cluster im Detail

Die Firma MEGWARE hat die Ausschreibung für das neue Cluster gewonnen. Mit mehrfachen Erweiterungen hat es nunmehr eine Leistung von insgesamt 343,7 TFlops. Drei Grafikprozessoren (GPU) steigern die Leistung bei Rechnungen mit Single Precision auf 377,3 TFlops, mit Double Precision auf 344,8 TFlops.

Insgesamt hat das Cluster 103 Knoten + 3 GPU-Knoten. Davon laufen 96 Knoten mit je zwei Prozessoren der Intel-Architektur „Cascade Lake 6248“ mit 20 Kernen und 192 GB RAM und erreichen so eine Rpeak-Performance von 307,2 TFlops. Das sind die sogenannten Rechenknoten. Die Leistung der Prozessoren der GPU-Knoten beträgt 9,6 TFlops.

Drei Shared Memory-Knoten mit 768 GB Hauptspeicher laufen mit den gleichen Prozessoren und erreichen ebenfalls

9,6 TFlops. Darüber hinaus hat das Cluster einen „Fetten Knoten“ mit 3 TB Hauptspeicher mit dem „Cascade Lake Gold 5218“. Mit seiner Quad-Sockel-Architektur mit jeweils 16 Kernen und zwei weiteren Quad-Sockel-Knoten mit den gleichen Prozessoren ergibt das eine Leistung von 14,1 TFlops. Als vierte Erweiterung wird ein weiterer baugleicher Shared Memory-Knoten mit 3,2 TFlops beschafft.

Das Cluster verfügt über ein Hochgeschwindigkeitsnetzwerk Intel Omni-Path mit bis zu 100 GBit/s. Das Clusternetzwerk selbst basiert auf 10-Gbit-Ethernet. Als paralleles Scratch-Filesystem kommt Panasas zum Einsatz. Panasas-Filesysteme haben sich in der Vergangenheit als äußerst stabil und ausfallsicher erwiesen. Compute-Cluster arbeiten grundsätzlich im Stapelbetrieb und sind nicht für interaktive Nutzungen gedacht. Dafür wurde das bewährte „PBSpro Professionell“ beschafft.

Entwicklungstrends und Perspektiven

Für mindestens die nächsten vier Jahre können unsere Forscher mit deutlich mehr Leistung und Geschwindigkeit rechnen. Die Notwendigkeit des High-Performance Computings nimmt weiter zu. Die zu berechnenden Problemgrößen wachsen und die Probleme selbst werden immer komplexer. Dadurch wird in Zukunft noch mehr Rechenleistung erforderlich sein.



Neues Compute-Cluster in der Sicherheitszelle

Foto: Alexander Winterstein

Das Freiberg-Syndrom

Freiberg: Eine kleine, hübsche Stadt, günstig gelegen zwischen Chemnitz und Dresden, die den wunderbaren Vorteil hat, dass man in ihr ganz gut ohne Auto, Bus und Straßenbahn leben kann. Mit einem Fahrrad ausgestattet ist es möglich, innerhalb von 20 Minuten an alle wichtigen Orte zu gelangen. Die Radwege innerhalb der Stadt sind stellenweise auch ganz gut ausgebaut, sodass man fast schon Spaß haben kann, wenn man unterwegs ist. Wem Räder zu abgedreht sind, der ist auch mit der körpereigenen Originalaustattung, den Beinen, gut bedient. Und dennoch gibt es ein ganz, ganz großes Problem, an dem die BewohnerInnen unseres idyllischen Fleckchens krankt: Das Freiberg-Syndrom. Noch nie gehört? Kann daran liegen, dass ich mir diese Bezeichnung ausgedacht habe. Doch ich habe meine Gründe! Ich meine damit den Zustand vieler insbesondere junger Leute, die nicht imstande sind, Umwege in Kauf zu nehmen, wenn es nicht zwingend notwendig ist.

So kommt es beispielsweise vor, dass man nach der Vorlesung in Campusnähe von Freunden eingeladen wird, sich beim Heinrich-Heine-Wohnheim oder im Albertpark auf ein Kaltgetränk zu treffen. Aber der eigentliche Heimweg würde in die Bahnhofsvorstadt führen. So ist es natürlich nicht möglich, dem Grüppchen beizuwohnen.

Oder man wohnt vielleicht im Wohnheim an der Mensa. Im Sommersemester finden die Studententage statt und unten auf dem Vorplatz steht eine große Bühne, auf der musiziert wird. Mit etwas Glück ist das Fenster zur passenden Seite ausgerichtet. In dem Fall wäre es ja völlig verschwendete Energie, nach unten zu gehen und die Stimmung des Konzerts am eigenen Körper zu erleben. Nein, man setzt sich lieber ans Fenster und schaut lethargisch zu, wie andere Leute Spaß haben, die das Schicksal nicht mit einer so gut positionierten Wohnung bedacht hat. Vermutlich kennt jeder ein solches Symptom. Zufall? Ich glaube es nicht. Eher vermute ich, dass das Freiberg-Syndrom die Ursache dafür ist, dass so viele Veranstaltungen so wenig Publikum haben und man – meiner

Meinung nach – ungerechtfertigter Weise recht oft hört, dass in Freiberg nichts los ist.

Kennt jemand noch das Pi-Haus? Oder gar das Train Control? Tivoli, SIZ, Theater, UBar und EAC sind vielleicht besser bekannt. Alles nette Orte, an denen man regelmäßig von freundlichen Menschen mit Getränken, Musik, Schauspiel und Gesellschaft versorgt werden kann. Sanitäre Räumlichkeiten sind sogar inklusive. Beste Therapie für das Freiberg-Syndrom. Oft ist die Praxisgebühr sogar erschwinglicher als bei üblichen Arztpraxen. Dennoch wird das Besuchsrecht häufig verweigert. Ich habe selbstredend volles Verständnis dafür, dass einem nicht jede Party zusagt. Ehrlich gesagt, kann ich auch nicht viel damit anfangen, irgendwo hinzulaufen, um dort Getränke zu kaufen und mit fremden Menschen über Belangloses zu reden. Aber damit bin ich erfahrungsgemäß ja auch eine Seltenheit. Trotzdem verbringe ich nicht alle Abende vorm Bildschirm auf der Couch, sondern habe mir den Umweg über die Planung und Umsetzung von Veranstaltungen gesucht und bin dementsprechend oft irgendwo anzutreffen. Ich möchte auch nicht andere davon abhalten, Hobbys nachzugehen oder sich um ihr Studium zu kümmern. Doch zum Studium gehören irgendwie doch auch die sozialen Aspekte, der Austausch, der sich im Gespräch ergibt. Es muss ja nicht immer nur darum gehen, wie gut einem das örtliche Bier schmeckt. Die ganze Welt trifft sich in Freiberg. Nutzt die Gelegenheit, sie kennen zu lernen! Übrigens geht es hierbei nicht nur um Partys oder Konzerte, sondern auch Vereine klagen über großen Mitgliederschwund. Es ist eine Teufelsspirale: Je weniger Menschen zu Veranstaltungen kommen und bereit sind, mitzuwirken oder Geld zu zahlen, desto weniger lohnt es sich aus Sicht eines Veranstalters. Es kann zum Minusgeschäft werden und ganz sicher macht es keinen Spaß, wenn man sich lange mit der Planung beschäftigt, aber keinen Erfolg sieht. So ist es kein Wunder, wenn es Veranstaltungen oder Vereine irgendwann nicht mehr gibt. Erst am Ende dieser Spirale kann man sagen: In Freiberg ist nichts los.

Eva Stützer



Foto: Sven Jachalle

Aufziehen der Richtkrone am Neubau des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung, 22. März 2019

Richtfest für das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)

Dirk C. Meyer¹, Theresa Lemser²

Um Materialien umzuwandeln oder neue herzustellen, werden Energie und damit zumeist hohe Temperaturen benötigt. Früher waren rauchende Schornsteine ein Zeichen für wirtschaftliche Stärke, was in historischen Darstellungen oder etwa auf Briefköpfen von Unternehmen ablesbar ist. Die Gesetze der Physik und Chemie haben sich bis heute natürlich nicht geändert, jedoch sind die Entwicklung der Prozesse und das Umweltbewusstsein stark vorangeschritten.

Dies weiter nach vorn zu treiben und somit neue Werkstoffe für moderne Anwendungen zu ermöglichen sowie die Lebensperspektiven auch für zukünftige Generationen zu sichern, zählen zu den Kernzielen des Zentrums für effiziente

Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS), für das der Bund und das Land Sachsen eine Gesamtfördersumme von 41,5 Mio. Euro bereitstellen. Dafür müssen ganz unterschiedliche Fachdisziplinen zusammenwirken, was den Wissenschaftsrat, der das Vorhaben im Wettbewerb zu bewerten hatte, überzeugte: Nahezu dreißig Professuren der TU Bergakademie Freiberg werden am ZeHS zusammenarbeiten und die angestrebten neuen Industrieprozesse nicht nur in Laboren, sondern auch in großen Hallen entwickeln.

Bald sind die räumlichen Bedingungen für all dies geschaffen: Der Bau des ZeHS auf dem Wissenschaftskorridor in Freiberg schreitet rasch voran. Am 22. März 2019 wurde das Richtfest für das Forschungszentrum begangen. Neben dem sächsischen Finanzminister, Dr. Matthias Haß, und dem Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. iur. Klaus-Dieter Barbknecht, kamen auch Staatssekretär Uwe Gaul sowie der Leiter der Niederlassung

Chemnitz des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Gebäudemanagement, Peter Voit, zu Wort. Alle Redner waren sich darin einig, dass dieser besondere Tag ein wichtiger Meilenstein im Zuge des Baus eines Forschungszentrums sei, mit welchem an der TU eine der größten Einrichtungen für interdisziplinäre Forschung und Ausbildung auf einem zukunftsweisenden Gebiet entstehe. Damit ist ein großer Teil des Baus des Zentrums, das auf über 6.000 m² Raum für Labore, Technikumshallen und Büros schaffen soll, fertiggestellt. Ein Rückblick zeigt, dass diese wichtige Phase des Baugeschehens bestmöglich verlaufen ist. Nicht zuletzt erlaubte die Witterung, vor allem im Zusammenhang mit der Errichtung des Rohbaus, eine termingemäße Bauausführung. Nunmehr sind auch die im Zusammenhang mit dem ZeHS beantragten Forschungs großgeräte mit einer gesamten Investitionssumme von 9,75 Millionen Euro von der DFG zur Förderung empfohlen worden, so dass entsprechende Verfahren zu deren Beschaffung im Gange sind. Ab Frühjahr 2020 können diese dann sukzessive in den Bau einziehen; hierfür wurde genügend Zeit eingeplant, da manches Forschungs großgerät einen erheblichen Installationsaufwand haben wird.

Dass der Bau sich nun in diesem

¹ Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Direktor des ZeHS, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg, dirk-carl.meyer@physik.tu-freiberg

² Ass. iur. Theresa Lemser, Referentin des ZeHS, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg, theresa.lemser@zehs.tu-freiberg.de

Stadium befindet, ist das Ergebnis der tatkräftigen und vertrauensvollen Zusammenarbeit vieler. Von Anfang an ebneten Beteiligte aus unterschiedlichen Bereichen und Einrichtungen den Weg zunächst zur Erlangung der Fördermittel für dieses Vorhaben beziehungsweise begleiteten ihn weiter bis hin zur Errichtung des Gebäudes. Da wir für das nunmehr Erreichte sehr dankbar sind, ist es uns ein großes Bedürfnis, zumindest einige unserer Unterstützer im Folgenden zu nennen.

Schon im Vorfeld setzten sich die Verantwortlichen der Universität und der Stadt Freiberg für die Gestaltung eines durchgängigen Wissenschaftskorridors ein. Eine wichtige Rolle spielten in diesem Zusammenhang Dr. Uta Rensch, Oberbürgermeisterin Freibergs von 2001 bis 2008, sowie ihr Nachfolger im Amt, Bernd-Erwin Schramm, Oberbürgermeister von 2008 bis 2015. Durch ihr Engagement wurde dem ZeHS ein fruchtbarer Boden bereitet.

Auf Ebene des Landes Sachsen fand das Unternehmen Unterstützung im Wirken des damaligen sächsischen Finanzministers und ehemaligen Rektors, Prof. Dr.-Ing. Georg Unland. Seinem Einsatz verdanken wir u. a. die schöne Klinkerfassade, die den Neubau ziert. Von Seiten des Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst (SMWK) erhielt das ZeHS von der damaligen Staatsministerin Prof. Dr. Dr. Sabine Freifrau von Schorlemer Unterstützung für die Bewerbung um eine Förderung nach Art. 91b GG. In einem persönlichen Glückwunsch an den Direktor des ZeHS und Erstautor dieses Beitrags, der den Antrag federführend in engem Zusammenwirken mit der Zweitautorin verfasst und vor dem Wissenschaftsrat verteidigt hatte, drückte sie ihre Freude über das Gelingen des Vorhabens bis zu dieser Stelle und zugleich Wünsche für Erfolge in der weiteren Arbeit aus.

Der Leiter des Referats Bauangelegenheiten im SMWK, Michael Döring, der das Projekt von der Antragstellung an begleitete, unterstrich selbst noch einmal, dass der Forschungsbau aus Sicht des SMWK eine der wichtigsten Maßnahmen sei. Dabei verwies er u. a. auf den harten Wettbewerb, innerhalb dessen die Förderung des ZeHS im Rahmen des strengen Art. 91b GG-Verfahrens, in dem der Bund die Hälfte der Finanzierung von Forschungsbauten und -großgeräten übernehme, erlangt worden sei. Eine solche Förderung gewähre der Bund nur denjenigen Vorhaben, von deren wissenschaftlichem Gehalt und Arbeiten

er überzeugt sei. Da es sich hierbei um einen thematisch offenen Wettbewerb gehandelt habe, sei die Konkurrenz groß gewesen. So müsse man sich in diesem Prozess etwa an Projektanträgen aus Bereichen der Nanotechnologie oder der Krebsforschung messen lassen. Ohne die Förderung des Bundes in Höhe von 50 % der Gesamtsumme hätte der Freistaat Sachsen die Mittel für ein solches Zentrum nicht aufgebracht. Der gesamte Prozess stehe unter strenger Wahrnehmung des Bundes wie auch der in dieser Hinsicht konkurrierenden Bundesländer.

Tatsächlich hatte der Wissenschaftsrat die Bedeutung des ZeHS im nationalen Rahmen, insbesondere hinsichtlich der Herausforderungen der Energiewende, wie auch im europäischen Maßstab sowie dessen Einordnung in den internationalen Kontext gewürdigt. Das ZeHS sei danach auch bedeutend für die Profilierung der TU Bergakademie Freiberg und die Perspektiven der Studierenden und Nachwuchswissenschaftler.

Der seinerzeitige Rektor, Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer, hat wichtige thematische Weichenstellungen vorgenommen und das Vorhaben maßgeblich fachlich beeinflusst. Als Leiter des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“ ist er weiterhin ein wichtiger Garant für das Gelingen der Umsetzung der Forschungsprogrammatische.

Für den Entscheid zur Finanzierung des Vorhabens hat sicherlich noch ein weiterer Aspekt beigetragen. Der genius loci Freibergs ist sichtbar geworden und die Erwartung daraus, weiterhin Kraft und Innovation zu schaffen, ein Entscheidungsimpuls. So kann die TU auf sehr erfolgreiche Projekte verweisen. Hierzu zählen zunächst zwei Sonderforschungsbereiche der DFG (SFB), welche das fachliche Fundament des ZeHS maßgeblich begründen, der SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite“ sowie der SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials“. Durch die Förderung des Spitzentechnologieclusters „Atomares Design und Defektengineering – ADDE“ im Rahmen der Sächsischen Landesexzellenzinitiative wurde das Potenzial grundlagenorientierter Materialforschung der TU Bergakademie Freiberg gewürdigt. Das Schwerpunktprogramm SPP 1418 „Feuerfest – Initiative zur Reduzierung von Emissionen – FIRE“ entwickelt die Grundlagen für eine völlig neue Generation kohlenstoffarmer bzw. -freier Feuerfestwerkstoffe, durch deren

Einsatz eine deutliche Reduzierung des weltweiten Kohlendioxidausstoßes und erhebliche Energieeinsparungen (durch verbesserte Wärmedämmung) möglich sind. Hinzu kommen wissenschaftliche Vorarbeiten im Bereich der Modellierung im Innovationskompetenzzentrum „Virtuelle Hochtemperatur-Konversionsprozesse – Virtuhcon“.

Auch im Bildungsbereich stehen Erwartungen an das ZeHS und hier ist das Projekt MESIOR „Maßnahmen für erfolgreiches Studieren an einer international orientierten Ressourcenuniversität“, das diesbezüglich vorbereitend wirksam war und den Ausbau der Studienprogramme maßgeblich unterstützte, als Beispiel für wichtige Konzepte und den Innovationswillen der Universität gewürdigt worden.

Während der Bauzeit wurden durch das Institut für Experimentelle Physik (IEP) personelle und materielle Ressourcen für die Detailplanung und praxisgerechte Entwicklung initiativ bereitgestellt. Herauszuheben ist hier insbesondere das tatkräftige Wirken von Dr. Barbara Abendroth aus dem IEP. Als Leiterin der Koordinationsstelle „Materialien und Eigenschaften“ des ZeHS bringt sie im Zusammenhang mit der Laborplanung ihre Erfahrungen am Zentralen Reinraumlabor, dem sie als Laborleiterin vorsteht, ein.

Gemeinsam mit den Mitarbeitern des Architekturbüros Heinle, Wischer und Partner, und dabei zuerst mit den verantwortlichen Architekten, Jens Krauß und Thomas Gräning, konnten deren Ideen umgesetzt und einvernehmlich weiterentwickelt werden. Die Rohbaufirma Hoch- und Tiefbau Rochlitz GmbH hat den größten Anteil an den Arbeiten bis hin zum Richtfest und verdient höchste Anerkennung für ihr Schaffen. Die Leitung durch den Bauherrn, den Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, wahrgenommen durch Herrn Jörg Scholich, wie auch die Kooperation mit dessen Mitarbeitern funktioniert hervorragend. Von Seiten der TU leistet Mandy Schön aus dem Dezernat Bau und Gebäudemanagement eine außerordentliche Arbeit.

Ein so großes Projekt hat natürlich noch viel mehr Unterstützer und ganz sicher sind an dieser Stelle viele unberücksichtigt geblieben. Zu wünschen bleibt nun, dass möglichst viele diese Chancen, welche die Förderung der Bundesrepublik im Zusammenwirken mit dem Freistaat Sachsen schaffen, zum Wohle des Gesamtzusammenhanges nutzen und leben mögen.

TU Bergakademie Freiberg beteiligt sich an der Fachkräfteinitiative GlasCampus Torgau

Sebastian Rudolf, Jonathan Engelhardt, Martin Kilo, Jens Grigolet

In Zusammenarbeit mit dem Landkreis Nordsachsen, dem Beruflichen Schulzentrum Torgau sowie Unternehmen und Verbänden beteiligt sich die TU Bergakademie Freiberg am GlasCampus Torgau. Ziel der gemeinsamen Initiative sind die Gewinnung und Qualifizierung von Fachkräften sowie die Förderung des Fachkräftenachwuchses für die mitteldeutsche Glas-, Keramik- und Baustoffwirtschaft. Daneben soll die Innovationskraft der Unternehmen durch die Förderung des Wissens- und Technologietransfers sowie kooperativer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gestärkt werden.

Für die TU Bergakademie Freiberg wurde im Zusammenhang mit diesem Vorhaben am Standort Torgau eine Transferstelle geschaffen, über die Kontakte in der Region und den angrenzenden Landkreisen geknüpft und Kooperationen sowie Angebote der Universität vermittelt werden sollen. Die entsprechende Stelle konnte am 15. August 2019 mit Sebastian Rudolf, einem Alumnus der TU Bergakademie Freiberg, besetzt werden, der mit Unterstützung des Freistaates Sachsen und des Europäischen Sozialfonds (ESF) als Transferassistent an der TU Bergakademie Freiberg beschäftigt ist.

Hintergrund der Initiative GlasCampus ist die zunehmend schwieriger werdende Gewinnung und Bindung von Fachkräften, insbesondere für die oft in ländlichen Gegenden lokalisierten Unternehmen der mitteldeutschen Glas-, Keramik- und Baustoffwirtschaft. Zusätzliche Anforderungen ergeben sich aus dem technologischen Wandel, der großen Einfluss auf die beruflichen Aufgaben von Fachkräften in den Unternehmen hat und einen hohen Weiterbildungsbedarf generiert. Landrat und Wirtschaftsförderung des Landkreises Nordsachsen, wo besonders viele Unternehmen der Branche beheimatet sind, haben sich deshalb 2017 an die TU Bergakademie Freiberg gewandt und gemeinsame Maßnahmen angeregt. Eine Zusammenarbeit bot sich an, da die Universität mit ihrem Institut für Keramik, Glas- und Baustoffwirtschaft über eine ausgezeichnete fachliche Basis verfügt und traditionell enge Beziehungen zu den Unternehmen der Branche pflegt. Die leitenden Mitarbeiter vieler Betriebe wurden in Freiberg ausgebildet.

Nach einer regionalen und deutschlandweiten systematischen Unternehmens- und Expertenbefragung, die das Bestehen entsprechenden Bedarfs bestätigte und Hinweise auf die Ausgestaltung möglicher Maßnahmen lieferte, wurde ein erstes Konzept entwickelt, das in den nächsten Jahren realisiert werden soll. Es umfasst Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit, der Nachwuchswerbung in Schulen, der Weiterbildung sowie des Wissens- und Technologietransfers, wobei alle Qualifikationsebenen – vom Berufsanfänger und Quereinsteiger über ausgebildete Fachkräfte bis hin zur technischen Leitungsebene und zum Vertrieb – adressiert werden.

Berufsorientierung und Nachwuchswerbung

Über das Landratsamt und Netzwerke der nordsächsischen Fachkräfteallianz sowie des Arbeitskreises Schule/Wirtschaft steht der GlasCampus Torgau in unmittelbarer Verbindung mit zahlreichen Schulen und Bildungseinrichtungen der Region. Durch gemeinsame Präsentationen und Veranstaltungen mit den Unternehmen und Verbänden der Branche, dem Institut für Keramik, Glas- und Baustoffwirtschaft sowie weiteren Partnern wird über die bestehenden beruflichen Perspektiven, individuelle Aufstiegsoptionen und nicht zuletzt auch über weiterführende Studiemöglichkeiten der TU Bergakademie Freiberg informiert. Dabei soll das Potenzial der starken Verankerung der Branche in der Region genutzt werden.

Gleichzeitig sollen in Zusammenarbeit mit den Unternehmen attraktive Förderangebote für Studieninteressierte entwickelt werden. Neben Deutschlandstipendien und Werkstudentenverträgen sollen perspektivisch auch Möglichkeiten für ein berufsbegleitendes Studium an der TU Bergakademie Freiberg geschaffen werden.

Berufliche Weiterbildung

Für die berufliche Weiterbildung werden unterschiedliche Programme für die Zielgruppen der Berufsquereinsteiger, der Facharbeiter, der technischen Leitungsebene (Meister, Techniker, Ingenieure)



sowie der Mitarbeiter im Vertrieb angeboten, die Kursangebote zu den Themen Werkstoffkunde, Prozesstechnologien, Anlagentechnik sowie berufsrelevante Querschnittskompetenzen (bspw. Qualitätsmanagement, Gesundheits- und Umweltschutz, Projekt- und Zeitmanagement, etc.) umfassen (Abb. 1).

Die Kurse bestehen jeweils aus ein- oder mehrtägigen Unterrichtsblöcken und können sowohl gebündelt in Modulen als auch einzeln gebucht werden. Um eine individuelle Betreuung zu gewährleisten, sind die Teilnehmerzahlen je Kurs auf maximal 25 Personen bzw. bei Kursen mit berufspraktischen Arbeiten im Glas-Kabinett auf zwölf Personen begrenzt. Als DozentInnen kommen je nach Themenfeld und Zielgruppe sowohl Ausbilder und Führungskräfte aus den Unternehmen und relevanten Institutionen als auch Lehrkräfte der TU Bergakademie Freiberg zum Einsatz.

Für den Start im Winter 2019/20 werden insgesamt zehn Kurse primär zur Ausbildung von Berufsquereinsteigern angeboten. Bis 2021 soll das Angebot auf 40 bis 50 verschiedene Kurse erweitert werden.

Wissens- und Technologietransfer

Aufbauend auf den bereits bestehenden, teilweise langjährigen Kooperationsbeziehungen zwischen den Unternehmen der mitteldeutschen Glas-, Keramik- und Baustoffwirtschaft sowie den im Zusammenhang mit dem GlasCampus Torgau neu aufgebauten Netzwerken soll die Verbindung zwischen wissenschaftlicher Forschung und industrieller Praxis weiter gestärkt werden. Dazu sollen zum einen regelmäßige Workshops dienen, in denen aktuelle Themen und Forschungsergebnisse zur Glas-, Keramik- und Baustofftechnik vorgestellt und diskutiert werden – und zum anderen die gezielte Bearbeitung praktischer Fragestellungen sowie die Initiierung gemeinschaftlicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Zielgruppe		Module			
		Glaswerkstoff	Verarbeitung	Anlagentechnik	Querschnittskompetenzen
Q	Quereinsteigendes Personal in der Produktion	<ul style="list-style-type: none"> Was ist/kann Glas? Prozess & Produkt Grundlagen Anwendungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> Basics Fügen Basics Beschichten Schneiden Fräsen Bohren 	<ul style="list-style-type: none"> Steuerungsbegriffe Schaltkreise Basics Steuerungsgrundlagen 	<ul style="list-style-type: none"> Technisches Deutsch Arbeitssicherheit Lösungsorientierung
F	Fachpersonal in der Produktion mit Berufsausbildung	<ul style="list-style-type: none"> ISO, ESG, TVG, VSG QM (Bezug zu DIN) Physikalische Grundlagen 	<ul style="list-style-type: none"> CNC & Lasertechnik Fügen & Beschichten Umformen & Trennen 	<ul style="list-style-type: none"> Schemaerstellung SPS Basics Funktionale Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> Lean Basics Energie und Umwelt Grundlagen Technisches Englisch
M	Personal mit Ingenieur-, Techniker-, Meistertitel	<ul style="list-style-type: none"> Glasanalytik Glaswerkstoffkunde Transferpotential Werkstoffwissenschaft 	<ul style="list-style-type: none"> Öfen & Autoklaven Digitale Fertigung Stoffeigenschaftliche Änderungen 	<ul style="list-style-type: none"> Programmerstellung Sensorik Datenbanken & IT 	<ul style="list-style-type: none"> Technisches Englisch Lean Management Personalführung
V	Vertriebspersonal	<ul style="list-style-type: none"> Was ist/kann Glas? Glaswerkstoff Basics Glas Vermarktung 	<ul style="list-style-type: none"> Überblick Abläufe Industrieexkursion Produktschulung 	<ul style="list-style-type: none"> Überblick Abläufe Industrieexkursion 	<ul style="list-style-type: none"> Glastechn. Englisch Wirtschaftsenglisch Transferpotentiale aus dem Markt

Abb. 1: Überblick zu den Themen und Zielgruppen der geplanten Weiterbildungskurse

Ausblick

Der GlasCampus Torgau soll mit der Glas-, Keramik- und Baustoffwirtschaft einen für den Strukturwandel und die wirtschaftliche Entwicklung der Region maßgeblichen Industriezweig in Mitteldeutschland unterstützen. Mit den im Rahmen der Initiative geplanten Maßnahmen soll einerseits dem Mangel an Fachkräften entgegengewirkt und andererseits die Innovationskraft der Branche in Bezug auf kommende technologische und marktseitige Herausforderungen gestärkt werden.

Für die TU Bergakademie Freiberg bietet die Initiative Potenziale für den Ausbau der Vernetzung mit Unternehmen und Institutionen in Nordsachsen und den angrenzenden Landkreisen, bspw. für Kooperationen im Bereich der Forschung und Entwicklung. Zudem sollen die Möglichkeiten des GlasCampus für eine verstärkte Studienwerbung in der Region und die Entwicklung attraktiver Bildungsangebote genutzt werden.

Der Freistaat Sachsen fördert die Umsetzung des GlasCampus Torgau auf Basis eines Vorschlags der Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (Kohlekommission) und eines Kabinettsbeschlusses der sächsischen Staatsregierung vom 3. Juli 2019 als Maßnahme zur Unterstützung des Strukturwandels



Abb. 2: Bei der Enthüllung des Eingangsschildes: Staatsminister Thomas Schmidt, Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, Schulleiterin Margit Müller und Landrat Kai Emanuel (v.l.)

im Mitteldeutschen Revier. Zentraler Projektträger ist der Landkreis Nordsachsen. An der TU Bergakademie Freiberg wird zur Umsetzung des GlasCampus die Stelle eines Transferassistenten aus Mitteln des ESF sowie des Freistaates Sachsen gefördert.

Perspektivisch wird der GlasCampus Torgau als Modellvorhaben für mögliche weitere Kooperationen zwischen

regionalen Einrichtungen der Wirtschaftsförderung, Hochschulen und beruflichen Bildungseinrichtungen betrachtet, dessen Erfahrungen ggf. auch für andere Regionen mit evtl. anderen Branchenschwerpunkten nützlich sein könnten.

Weitere Informationen sowie regelmäßige Neuigkeiten finden sich unter:

www.glascampus.de



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Professorinnenprogramm des BMBF

Die im März 2013 eingereichte Bewerbung der TU Bergakademie Freiberg für das Professorinnenprogramm II des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wurde mit einer überaus großen Verspätung im Jahr 2018 durch den Projektträger „Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)“ in Bonn als zuwendungswürdig anerkannt.

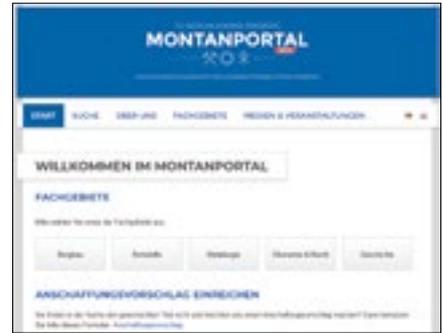
Grundlage der Bewerbung war das Gleichstellungskonzept der TU Bergakademie Freiberg für neue Professorinnen. Im Rahmen des genannten Programms erhalten Hochschulen für maximal drei neu besetzte Professorinnenstellen eine Anschubfinanzierung für die ersten fünf Jahre in Höhe von bis zu 150.000 Euro jährlich. Bei der ersten Ausschreibungsrunde zum Professorinnenprogramm II haben 96 von 131 Hochschulen aus allen 16 Bundesländern mit den von ihnen vorgelegten Konzepten überzeugt und erhalten nun eine Förderung von insgesamt 150 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie den jeweiligen Bundesländern.

Auf der Grundlage des Professorinnenprogramms I, das im Jahr 2008 erstmalig ausgeschrieben worden war, konnten an deutsche Hochschulen bereits

260 Professorinnen berufen werden. An der TU Bergakademie Freiberg sollten zwei Professorinnen im Professorinnenprogramm II gefördert werden. Am 1. Oktober 2015 übernahm Frau Prof. Dr.-Ing. O. Volkova die Professur Eisen- und Stahlmetallurgie und war somit die erste Professorin, die aus dem Programm Sach- und Personalmittel erhielt. Eine zweite Professur konnte leider trotz intensiver Bemühungen nicht mit einer Frau im beantragten MINT-Bereich besetzt werden.

Das Programm übt aber auch auf die allgemeine Gleichstellungsarbeit an der Bergakademie Freiberg einen positiven Effekt aus. Mit der Förderung werden Mittel auch für die Gleichstellungsarbeit allgemein bereitgestellt, wie bspw. für die Entwicklung von Maßnahmen zur Gewinnung von Frauen für den Bereich Technologietransfer/Unternehmensgründung oder auch zum Aufbau und zur Erprobung eines Förderprogramms für Studentinnen mit wissenschaftlicher Begabung mit dem Ziel der Heranführung begabter Studentinnen im Master- bzw. Hauptstudium an eine Promotionsarbeit zur Sicherung einer ausreichend großen Zahl von weiblichen Promotionsbewerberinnen.

■ Ellen Weißmantel



Screenshot der Eingangsseite des neuen Portals

Montanportal

Fachinformationsdienst für Bergbau und Hüttenwesen sowie angrenzende Gebiete

Die Universitätsbibliothek Freiberg bietet unter <https://montanportal.com> den neuen Fachinformationsdienst für Bergbau, Hüttenwesen, Lagerstättenkunde, Prospektion, Aufbereitung (einschließlich Recycling) sowie Rohstoffwirtschaft an.

Kernstück ist der Montankatalog für Informations- und Literaturrecherchen. Neben Spitzenliteratur renommierter Fachverlage wird schwer auffindbare und nur verstreut vorliegende Literatur wie Veröffentlichungen von Fachgesellschaften und Institutionen, Hochschulschriften, Konferenzbände, Statistiken und Forschungsergebnisse nachgewiesen. Dieser Spezialkatalog fasst Literaturbestände zahlreicher wissenschaftlicher Bibliotheken und Forschungseinrichtungen deutschlandweit zusammen.

Die Anschaffung von seltener und oft an deutschen Bibliotheken bislang nicht vorhandener Spezial-Fachliteratur garantiert die Aktualität des Fachinformationsdienstes. Anschaffungsvorschläge seitens der Fachwissenschaftler/-innen sind dafür ausdrücklich erwünscht.

Der Fachinformationsdienst Montan wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in der derzeit zweiten Projektphase gefördert.

Kontakt:

Bernhard Wagenbreth
 Fachref. Geotechnik/Bergbau/Markscheidekunde
 Universitätsbibliothek „Georgius Agricola“
 Agricolastraße 10 · 09599 Freiberg
 Bernhard.Wagenbreth@ub.tu-freiberg.de



Vorstellung des Forschungs- und Lehrbergwerks im europäischen Kontext

„From Saxony for Europe“ – so heißt eine Veranstaltungsserie des Sachsen-Verbindungsbüros Brüssel (SVB). Sachsen profitiert seit mehr als 25 Jahren von europäischen Fördermitteln für Wissenschaft, Forschung und Innovation. Mit der Veranstaltungsserie des SVB wird nicht nur gezeigt, was in Sachsen geleistet wurde, sondern auch ein Beitrag „Aus Sachsen für Europa“ geleistet. Auf der Veranstaltung am 10. Oktober 2019 stellte die TU Bergakademie Freiberg ihre Kompetenzen und die Möglichkeiten ihres Forschungs- und Lehrbergwerks vor.

Bergbau war bis vor kurzem ein Synonym für die Industriekrise im „alten“ Europa. Historische Schachtanlagen wurden ein Teil unseres industriellen Erbes und eine Erinnerung an eine verschwundene Tradition. Aber die Zeiten



haben sich geändert: Der europäische Bergbau spielt eine immer wichtigere Rolle für Europa bei der Sicherung des Zugangs zu wichtigen Rohstoffen auch in der Zukunft.

Aber wo sind die Experten für den Bergbau von morgen? Und was ist für die Forschung notwendig, um sicherzustellen, dass Europa wichtige Rohstoffpotenziale auf seinem eigenen Gebiet erschließen kann? Diese Fragen diskutierte das SVB gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg, den Generaldirektionen Wachstum, Wirtschaft und Kultur sowie Vertretern anderer Bergbauregionen Europas in Brüssel.

■ Ellen Weißmantel

Open Access für Kulturelles Erbe

Unser kulturelles Erbe in hoher Qualität und in möglichst großem Umfang über das Internet zugänglich zu machen, ist Aufgabe aller bestandshaltenden Einrichtungen. Deshalb war es für die UB im vergangenen Jahr selbstverständlich, sich wieder am sächsischen Landesdigitalisierungsprogramm (LDP) zu beteiligen und mit der Sammlung *Bergmännische Specimina* einen weiteren Bestand online zu stellen.

Das Angebot an neuen elektronischen Werkzeugen ermöglicht inzwischen auch eine deutlich bessere wissenschaftliche Bearbeitung der nun digital erschlossenen Quellen. So können jetzt u. a. die Downloads mit eigenen, recherchierbaren Anmerkungen versehen werden. Es wird eine praktikable Nutzung historisch wertvoller Dokumente erreicht, ohne das Original selbst heranziehen zu müssen.

Gemeinsam mit der SLUB Dresden und der französischen Firma Jouve konnten innerhalb von acht Monaten die fast 3.000 neuzeitlichen Buchhandschriften (ca. 210.000 Images) bearbeitet und zur Verfügung gestellt werden. Damit bietet die UB Freiberg neben dem wissenschaftlichen Nachlass Abraham Gottlob Werners eine weitere Kollektion wichtiger und unikaler Bestände als Open-Access-Ressource im Netz an – sowohl zum sächsischen als auch zum gesamt-europäischen Geo- und Montanwesen.

Dass diese neue Ressource gut angenommen und genutzt wird, belegen statistische Erhebungen der SLUB Dresden, die die Bestände hostet. Danach sind für Mai 2019 52 Nutzer nachgewiesen. Der handschriftliche Nachlass Werners wurde von 71 Personen genutzt. Das ist eine deutliche Verbesserung der Nutzungsquote, da bisher für beide Bestände nur eine Nutzung im Lesesaal des Wiss. Altbestandes

möglich war. Es ist davon auszugehen, dass die Benutzerzahlen künftig steigen.

Die Sammlung *Bergmännische Specimina* ist ein von Abraham Gottlob Werner gezielt angelegter Bestand, der über einen Zeitraum von 1770 bis 1907 die Entwicklung von ca. 1.000 Bergwerken, Lagerstätten und Hüttenbetrieben verschiedener europäischer Länder sowie ca. 400 technische Anlagen dokumentiert. In beeindruckender Weise lässt sich der europäische Technik- und Technologietransfer anhand dieser Zeitzeugenberichte nachvollziehen. Heute ist die Sammlung eine einzigartige Ressource für aktuelle geo- und montanwissenschaftliche Untersuchungen, für die Technik- und Wissenschaftsgeschichte und nicht zuletzt eine wichtige Informationsquelle für die Entwicklungsgeschichte der Bergakademie Freiberg selbst, denn die Arbeiten belegen, auf welchen Gebieten damals gearbeitet und geforscht wurde.

■ Angela Kugler-Kießling

Deutschlernen mit Familienanschluss

Die Initiative „Sprache ist Brücke“ unterstützt ausländische Studierende in Freiberg seit fast zehn Jahren. Für die erfolgreiche Arbeit erhielt die Initiative 2013 u. a. den Preis des Auswärtigen Amtes für exzellente Betreuung ausländischer Studierender an deutschen Hochschulen. Für Sprachpaten, -tutoren sowie -tandems werden Freiwillige immer gesucht!

Oft haben Studierende, die aus dem Ausland kommen, am Anfang nur geringe Deutschkenntnisse. Die Hürden eines Studiums sind für sie deshalb besonders hoch. Viele nehmen an Sprachkursen teil, dennoch fragten sich seinerzeit die Freiwilligenbörse im Lichtpunkt e.V., der Arbeitskreis Ausländische Studierende (AKAS) und das Internationale Universitätszentrum (IUZ), wie man ihnen noch zur Seite stehen könnte – die Geburtsstunde von „Sprache ist Brücke“. Die Idee: Es gibt viele Menschen, die offen sind für neue Kulturen und anderen gern helfen. Jeweils ein Freiwilliger, so das Konzept, wird mit einem Studierenden in Kontakt gebracht. Beide Partner treffen sich regelmäßig miteinander. Das kann drei unterschiedliche Formen annehmen: Deutsche Muttersprachler helfen als Sprachtutoren bei schriftlichen Arbeiten oder Bewerbungen durch Korrekturlesen. Sprachpaten üben mit den Studierenden im Gespräch oder anhand von Texten Deutsch. Bei einem Sprachtandem

vermitteln sich die Partner gegenseitig ihre jeweilige Landessprache. Im besten Fall halten die Sprachpartnerschaften für die gesamte Zeit des Studiums und gehen über das reine Lehren und Lernen weit hinaus. So wie bei Heike Hoffmann, die viele aus dem Sekretariat des Rektors kennen, und Pierre Carole Tsegouog Kue, mittlerweile Absolventin im Masterstudiengang Maschinenbau. Beide trafen sich drei Jahre lang regelmäßig einmal pro Woche. „Wir waren dann zuhause oder haben etwas unternommen. Ich habe viel über Caroles Heimat Kamerun gelernt und ihre Familie getroffen. Ich war auch dabei, als sie ihre Masterarbeit problemlos auf Deutsch verteidigt hat“, erzählt Heike Hoffmann stolz. Ihr Schützling ist dafür sehr dankbar: „Sie hat meine Arbeit zweimal gelesen, um alles zu verstehen. Für meinen Abschluss habe ich dann die Note 2,0 erhalten“, so die Ingenieurin. Aber auch in anderer Hinsicht ist ihre Patin für sie sehr wichtig: „Sie war vom ersten Tag an sehr offen und einladend. Es hat mir immer geholfen, mit ihr zu sprechen, ohne mich zu schämen. Ich habe ihr vom Ablauf meiner Woche erzählt und auch von Schwierigkeiten. Sie hat mir zugehört und Fehler verbessert, mich beraten und ermutigt. Ich habe das Gefühl, dass sie immer für mich da ist; eigentlich haben wir ein familiäres Verhältnis“.

Die Abschlussarbeit von Pierre Carole Tsegouog Kue ist eine von über 420 Arbeiten, die Tutoren seit Beginn von „Sprache ist Brücke“ im sprachlichen Hinblick

korrigiert haben. Die Texte stammen von Studierenden aus 48 Ländern, allen voran aus Russland, China, Polen, der Ukraine und der Mongolei. Zwanzig aktive Sprachtutoren gibt es aktuell. Ein Jahr nach der Gründung der Initiative, also 2011, kamen dann die Sprachpartnerschaften hinzu. Seitdem wurden 125 Studierende betreut. Derzeit sind sechzehn Paten im Einsatz.

Die Sprachtandems waren anfangs ein studentisches Programm. Aufgrund der starken Nachfrage wurde es im Jahr 2013 dann für Nicht-Studierende geöffnet. Die meisten Teilnehmer wollen Deutsch trainieren. Am leichtesten finden sie einen Tandempartner, wenn sie selbst Englisch, Spanisch, Russisch und Französisch sprechen. Die Nachfrage nach Hindi, Chinesisch, Arabisch und anderen außereuropäischen Sprachen ist dagegen geringer, obwohl gerade Studierende mit diesen Muttersprachen einen Sprachpartner suchen. Das dürfte mit ein Grund sein, warum jüngst weniger Tandems vermittelt werden konnten: Waren es im akademischen Jahr 2017/18 noch 24 Paare, sank die Zahl neuer Tandems im vergangenen Jahrgang auf acht. Die Sprachinitiative sucht daher nach Freiwilligen als Sprachpaten und -tutoren sowie für die Sprachtandems.

■ Anja Weigl

Kontakt: Tutoren- und Patenprogramm: manuela.junghans@iuz.tu-freiberg.de; Tandemprogramm: <https://tu-freiberg.de/international/sprachtandem>.
Mehr Infos: <https://tu-freiberg.de/international/sprache-ist-bruecke>

Das Collegium Musicum der TU Bergakademie Freiberg e. V.

Vor über 70 Jahren, im November 1948, fanden sich Freiburger Musiker zusammen, um ein Sinfonieorchester zu gründen. Das Collegium Musicum spielte sich in den ersten Jahren quer durch die Musikstile und interpretierte sowohl klassische Werke als auch Unterhaltungsmusik. Das klassische Sinfonieorchester hatte sich unter der Leitung des Dirigenten Günter Hertel herausgebildet. Er war über 26 Jahre lang die prägende Persönlichkeit in der Entwicklung des Ensembles. Nach Hertels Tod 1980 übernahm Andreas Schwinger, heute Sachgebietsleiter Kultur der Stadt Freiberg, das Orchester. Bereits ein Jahr zuvor hatte er an der Bergakademie einen Chor gegründet, der heute ebenfalls Bestandteil des Collegium Musicum ist und von Franz Fehse geleitet wird.

Die Nachwuchsjahre waren auch für das Collegium Musicum eine turbulente Zeit, die durch einige Dirigentenwechsel begleitet wurde. Im Jahr 1998 gründeten beide Ensembles schließlich gemeinsam den Verein »Collegium Musicum der TU Bergakademie Freiberg e. V.« und bekräftigten mit ihrem offiziellen Namen ihre Verbundenheit mit unserer Universität.

Dirk Brandenburger, als Bratscher und Geiger selbst langjähriges Ensemblemitglied, gründete 2012 unter dem

Vereinsdach ein Kinder- und Jugendorchester (KJO). In Freiberg füllte er damit eine Lücke, denn bis dahin hatte es in der Stadt für junge Streicher kein Ensemble mehr gegeben.

Dirigent des Sinfonieorchesters ist seit 2009 Jacobus Gladziwa. Seit Anfang 2016 ist er als Dekanatskirchenmusiker im Dekanat Torgau mit Dienstsitz in Delitzsch tätig. Im August 2017 wurde er zusätzlich zum bischöflichen Beauftragten für Kirchenmusik im Bistum Magdeburg ernannt.

breit gefächerte Programme kamen zur Aufführung. Ein Höhepunkt im vergangenen Jahr war das Jubiläumskonzert „70 Jahre Collegium Musicum der TU Bergakademie Freiberg“ in der Nikolaikirche Freiberg.

Aus dem universitären Leben ist das Collegium Musicum längst nicht mehr wegzudenken. Bei zahlreichen Veranstaltungen und Konzerten engagieren sich die Mitglieder des Orchesters und Chores und stellen unter Beweis, was

ambitionierte Laien in der Lage sind zu leisten. Die Studierenden, Beschäftigten und die Professorenschaft der Universität sowie viele andere Musikfreunde proben wöchentlich trotz zahlreicher weiterer Verpflichtungen miteinander und finden in der Musik auch Kraft und Entspannung.

Das Collegium Musicum beteiligt sich im September 2019 an der Veranstaltung „Macht

Musik!“ anlässlich der Silbermann-Tage unter der künstlerischen Leitung von Albrecht Koch. Auch im kommenden Jahr sind wieder interessante Konzerte geplant.

Kontaktadresse: Dr. Claudia Dommaschk, Claudia. Dommaschk@gi.tu-freiberg.de

■ Claudia Dommaschk, Ulrich Pöschmann, Claudia Kallmeier



Chor, Orchester sowie Kinder- und Jugendorchester

Foto: Detlev Müller

Im Jahr 2015 sorgte das Collegium Musicum für einen würdigen musikalischen Rahmen bei der 250-Jahrfeier der TU Bergakademie Freiberg. Seit nunmehr 15 Jahren gestalten Chor, Orchester und seit seiner Gründung auch das Kinder- und Jugendorchester des Collegium Musicum ein gemeinsames Hochschuladventskonzert;



Chor und Orchester beim Jubiläumskonzert 2018

Foto: Detlev Müller

Der Fassathlon – eine von Freiburger Studenten entwickelte Traditionssportveranstaltung

Jens Grigoleit¹

Am 31. August 2019 fand bereits zum 16. Mal eine Fassathlon-Weltmeisterschaft in Freiberg statt. Ein Anlass, um auf die Ursprünge und die Entwicklung dieser von Freiburger Studierenden begründeten Sporttradition zurückzublicken.

Ursprung und Beginn des Freiburger Fassathlon

Entstanden ist die Idee für den Fassathlon an einem langen Freiburger Februarabend im Jahr 2003 als ambrosische Eingeubung in einer bierseligen Runde Freiburger Studenten, die zugleich Mitglieder des Vereins Deutscher Studenten (VDSt) waren. Man beschloss, gemeinsam etwas gegen zwei der schlimmsten Geißeln der mitteleuropäischen Menschheit – Nüchternheit und Unsportlichkeit – zu unternehmen, wozu diverse Vorschläge diskutiert wurden.

Die erste Idee war, einen Freiburger Bierathlon zu veranstalten. Da es solche Veranstaltungen andernorts schon gab, wurde dies mangels hinreichender Originalität wieder verworfen. Nach weiterer Schärfung des Bierverstandes kam schließlich die Idee auf, einen Triathlon mit dem Genuss von Bier zu veredeln und statt des Mitschleppens von Bierkästen auf die nächstgrößere Einheit in der Bierskala, also Fässer, zurückzugreifen. Diese sollten auf Rucksack-Tragegestellen, sogenannten Kraxen, als Transporthilfen befestigt werden, um hinreichend Bewegungsvermögen für den auszuübenden Sport zuzulassen.

Anders als viele andere verrückte Ideen, die in derartigen Runden entstanden, hat die Begeisterung über die gemeinsame Idee für den Fassathlon den darauffolgenden Ausnüchterungsprozess überstanden und schien auch am nächsten Morgen noch hinreichend attraktiv und überzeugend. Nun bestand die große Herausforderung darin, geeignete Fässer und Kraxen zu organisieren, Strecken auszuwählen und Regeln zu formulieren. Insbesondere die Organisation der Fässer gestaltete sich aufwändiger als erwartet, hatte doch kaum jemand bedacht, wie teuer diese sind. Möglich wurde der Fassathlon erst durch die Firma Blefa in Kreuzthal, dem europäischen Marktführer für die Herstellung von Getränkefässern, die eine Auswahl leicht defekter Fässer zum gerade noch erschwinglichen Schrottpreis abzugeben bereit war.

Mit viel studentischem Einfallsreichtum konnten auch alle anderen Herausforderungen bewältigt werden, so dass schließlich am 1. Juli 2003 der weltweit erste Fassathlon in der bis heute nahezu unveränderten Form durchgeführt werden konnte. Teilnehmer waren damals fast ausschließlich Studierende, die unmittelbar an der Entstehung der neuen Sportart mitgewirkt hatten. 16 Starter nahmen die Herausforderung an und hatten so viel Spaß an der Sache, dass eine Fortsetzung zwangsläufig wurde. An der zweiten Fassathlon-Weltmeisterschaft im Jahr 2004, die erstmals offen ausgeschrieben war, nahmen bereits 41 Sportler teil, darunter acht Frauen. Wenige Jahre später war das Interesse so groß, dass jeweils in mehreren Gruppen hintereinander gestartet und die Teilnehmerzahl insgesamt auf ein Maximum von 100 begrenzt werden musste.



Sportlicher Aufbau des Fassathlon

Seit der ersten Durchführung besteht der Fassathlon aus vier unmittelbar nacheinander zu bewältigenden Disziplinen: Laufen, Schwimmen, Radfahren und Trinken (vulgo: Saufen). Bei der Ausübung aller vier Disziplinen ist auf einem Tragegestell ein 25 Liter fassendes Edelstahlfass mitzuführen. Dieses schnellstmöglich ins Ziel zu tragen, ist das oberste Gebot der als Fassathlotten bezeichneten Teilnehmer.

Die klassische Laufstrecke beträgt 5 km. Sie führte ursprünglich vom Haus des VDSt in der Merbachstraße, dem sogenannten Hauptquartier, über den Campus, vorbei an der Mensa über den Messeplatz in die Freiburger Altstadt. Von dort ging es über den Bebel-Platz, über die Annaberger und die Olbernhauer Straße auf den Forstweg und diesem folgend zum Freiburger Waldbad bzw. Soldatenteich. Dort stand nach einer 15-minütigen Akklimatisierungspause die zweite Disziplin an. Es galt, den Teich einmal schwimmend zu durchqueren (ca. 200 m), was sich mit einem Fass auf dem Rücken als technisch recht anspruchsvoll gestaltet. Nach Verlassen des Wassers war die Radfahrstrecke zu bewältigen, die über 10 km und durch die Dörfer Kleinschirma und Kleinwaltersdorf (mit dem berühmten, steilen Anstieg auf dem Herrenweg dazwischen) zurück nach Freiberg zur Merbachstraße führte. Nahtlos schließt sich dann die vierte Disziplin an, die darin besteht, den während der ersten Disziplinen durch Transpiration erlittenen Flüssigkeits- und Elektrolytverlust durch das Trinken von einem Liter Bier wieder zu kompensieren. Um unerwünschten Ausartungen bei dieser Disziplin vorzubeugen, wurde die Regel eingeführt, dass das genossene Getränk wenigstens 15 Minuten im Körper bleiben muss und Exkulationen (vulgo: Austritt von Bier aus dem Kopf) zur Disqualifikation führen.

Die Festlegung der Platzierungen erfolgt in einer Einzel- und einer Gruppenwertung, wobei alle in der Gruppenwertung antretenden Teilnehmer alle Disziplinen des Fassathlon zu bewältigen haben und auch in der Einzelwertung erfasst werden. Gruppen können aus bis zu vier Teilnehmern bestehen, die vorab festlegen, wessen Zeiten in den einzelnen Disziplinen in die Gruppenwertung eingehen sollen.

Eine Erweiterung des Reglements stellte die 2006 erfolgte Einführung von Bonuszeiten für die sogenannte Sprintwertung dar. Die Teilnehmer erhalten dazu während jeder der ersten drei Disziplinen die Gelegenheit, sich an einem von allen Teilnehmern zu passierenden Kontrollpunkt mit je 0,4 Liter alkoholfreiem Freiburger Pils zu stärken, wofür es je 3 Minuten Zeitgutschrift gibt (bzw. 10 Minuten für den Fall, dass alle drei Sprintwertungen gemeistert werden). Davon abgesehen gab es bis 2017 nur

¹ Fassathlon e. V., Kontakt: rennleitung@fassathlon.de



Foto: Fassathlon e.V.

Das Teilnehmerfeld unmittelbar nach dem Start in der Lessingstraße

marginale Anpassungen der Regeln sowie kleinere Änderungen der Streckenführung. So wurde bspw. das Hauptquartier 2016 an die Neue Mensa zum Erdalchimistenclub verlegt. Anlässlich der 10. Fassathlon-WM im Jahr 2012 wurde neben dem klassischen Fassathlon zusätzlich ein Eisenfassathlon mit doppelter Länge der Lauf-, Schwimm- und Radelstrecke durchgeführt, an dem sieben Sportler teilnahmen.

Eine größere Neuausrichtung wurde erst durch die Sperrung des Soldatenteichs in den Jahren 2018 und 2019 erforderlich. So musste die Fassathlon-Weltmeisterschaft im Jahr 2018 erstmalig komplett entfallen (zuvor gab es nur in einem Jahr, 2013, aufgrund des damaligen Hochwassers, eine Verschiebung und 2015 einen

Rennabbruch aufgrund eines anhaltenden Unwetters und der Verletzung mehrerer Teilnehmer durch einen Blitzschlag am Soldatenteich). Für 2019 gelang es in Zusammenarbeit mit der Freiburger Bäderbetriebsgesellschaft mbH eine Lösung zu finden, mit der das Hauptquartier und die Disziplin Schwimmen zum Johannisbad verlegt wurden. Dadurch wurde zwar eine Verlegung des Termins in den Spätsommer erforderlich, immerhin aber konnte die Durchführung des Fassathlon in diesem Jahr gesichert werden. Die Anpassungen der Laufstrecke (komplett neuer Verlauf) und der Radfahrstrecke (überwiegend dem alten Streckenverlauf folgend) fanden bei den Teilnehmern guten Zuspruch.



Foto: Fassathlon e.V.

Das technisch anspruchsvolle Schwimmen mit dem Sportgerät



Foto: Fassathlon e.V.

Siegerehrung 2019: die drei Erstplatzierten (Frederik Wewetzer, Karsten Zybell, Martin Sobanski, v.l.) mit dem Siegerpokal „Else“

Erfolge und Rekorde

Bei den bisher 16 Fassathlon-Weltmeisterschaften konnte 15-mal ein Weltmeistertitel vergeben werden (2015 gab es aufgrund des Rennabbruchs keine Wertung). Insgesamt konnten 10 Sportler den Titel erringen, darunter mit Frederik Wewetzer ein Dreifachweltmeister (2013, 2014 und 2017) und mit Michel Wetzler (2007, 2008), Marcus Lehmann (2009, 2011) und Karsten Zybell (2016 und 2019) drei Doppelweltmeister.

Jeweils die drei Erstplatzierten der Einzelwertung erhalten neben den Teilnahmeurkunden eine Medaille (gegossen am Gießerei-Institut der TU Bergakademie Freiberg). Der Fassathlon-Weltmeister erhält zusätzlich ein gefülltes 30-Liter-Fass Freiberger Pils. Die Sieger der Gruppenwertung, die schnellste Teilnehmerin sowie die Besten der einzelnen Disziplinen werden mit Sachpreisen ausgezeichnet. Ein wesentliches Element der Siegerehrung bildet der aus einem geköpften Fass hergestellte Siegerpokal „Else“, der – gefüllt mit Bier (ca. 10 bis 15 Liter) – dem frisch gekürten Weltmeister gereicht wird.

Das hohe sportliche Niveau des Fassathlon spiegelt sich in den beeindruckenden Zeiten wider, die in den einzelnen Disziplinen erreicht werden. Die aktuelle Weltrekordzeit für den gesamten Fassathlon liegt bei 45:30 min (ohne Zeitbonus) und wurde 2006 von Sven Weyer aufgestellt. In den Einzeldisziplinen liegen die Rekordzeiten für das Laufen bei 18:02 min (Sven Weyer, 2006), für das Schwimmen bei 2:45 min (Albrecht Matthes, 2011), für das Radeln bei 15:47 min (Torsten Fischer, 2005) und für das Trinken bei sagenhaften 8 Sekunden (Felix Wiebicke, 2016).

Im Gegensatz zu dem bei den Wettkämpfen nach wie vor im Mittelpunkt stehenden studentischen Publikum ist das Teilnehmerfeld recht heterogen zusammengesetzt. Neben Freizeit- und Vereinssportlern aus Freiberg und Umgebung reisen einige Teilnehmer über weite Strecken an, um beim Fassathlon dabei



Foto: Fassathlon e.V.

Die aktuelle Rennleitung mit Helfern

zu sein. Mehr als die Hälfte der Teilnehmer ist regelmäßig dabei; einige bringen es inzwischen auf mehr als 10 Starts. So ist der Fassathlon jedes Mal auch ein Wiedersehen mit Bekannten und Freunden, was einen Teil seiner Atmosphäre ausmacht. Der Frauenanteil unter den Startern liegt im Mittel bei 10 Prozent. Die Altersverteilung der Teilnehmer reicht von 18 bis über 60 Jahren (mit einem Mittelwert von ca. 30).

Neben der Fassathlon-WM wurden die namensgebenden Sportgeräte auch bei anderen Sportveranstaltungen erfolgreich eingesetzt, so bspw. beim Dresden-Marathon, beim Rennsteiglauf (über Halbmarathon-Distanz), beim Freiberger Stadtmauerlauf, beim Freiberger Adventslauf, beim Freiberger Herbstlauf, beim Brockenlauf im Harz, beim Freiberger Nepal-Lauf, beim Freiberger Fahrrad-Zickzack und beim Muldental-Triathlon.

Ausblick

Nach der erfolgreichen ersten Bewährung des neuen Hauptquartiers im Jahr 2019 soll die Fassathlon-Weltmeisterschaft möglichst auch in den nächsten Jahren ihr Zentrum am neuen Standort Johannisbad haben. Dabei wird eine Rückkehr zum traditionellen Juni-Termin angestrebt, der besonders im Hinblick auf die Beteiligung von Studierenden günstiger ist.

Die gegenwärtige Rennleitung arbeitet auf das 2023 anstehende zwanzigste Jubiläum des Fassathlon hin. Danach scheint es an der Zeit, die Leitung der Veranstaltung an die nächste Generation weiterzureichen. Immerhin sind die zentralen Organisatoren weit überwiegend seit der ersten Veranstaltung dabei und nur noch zum Teil in Freiberg beheimatet, was die Vor- und Nachbereitung zunehmend erschwert.

Interessenten und Freiwillige sind deshalb sehr willkommen und eingeladen, Teil der Fassathlon-Familie zu werden. Informationen zum Fassathlon und zum organisierenden Verein sowie Kontaktdaten finden sich unter www.fassathlon.de.

Danksagung:

Die Rennleitung dankt allen Freunden, Helfern und Unterstützern des Fassathlon. Beispielhaft zu nennen sind: Die Freiberger Brauhaus GmbH (Sponsoring und Ausstattung), die Freiberger Bäderbetriebsgesellschaft mbH, die GfE Fremat GmbH (Bereitstellung von Transportern), das Gießereiinstitut der TU Bergakademie Freiberg (Guss der Medaillen), das Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg sowie der AK Repro.

Neue Studiengänge an der TU Bergakademie Freiberg

Silvia Rogler¹

Das breite Spektrum an Studiengängen an unserer Universität wurde 2019 durch einen neuen englischsprachigen und zwei deutschsprachige Studiengänge ergänzt, die aktuelle Entwicklungen aufgreifen. Dies sind der Masterstudiengang „Geomatics for Mineral Resource Management“ von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, der Diplomstudiengang „Robotik“ von der Fakultät für Mathematik und Informatik sowie der Bachelorstudiengang „Additive Fertigung (Technologie, Material, Design)“ von der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik. Neben diesen klassischen Studiengängen bietet die TU Bergakademie Freiberg ab Wintersemester 2019/2020 ein zweisemestriges Orientierungsstudium an. Damit wollen wir Abiturientinnen und Abiturienten erreichen, die noch nicht sicher sind, was sie studieren wollen bzw. ob sie den Anforderungen eines Universitätsstudiums gerecht werden.

Masterstudiengang „Geomatics for Mineral Resource Management“

Zur Deckung des globalen Bedarfs an mineralischen Rohstoffen müssen schwer zugängliche Gebiete von hoher bergbaugeologischer Komplexität sowie einer komplizierten Wechselwirkung mit der Umwelt und dem sozialem Umfeld erschlossen werden. Gleichzeitig muss ein Höchstmaß an Sicherheit für die Öffentlichkeit und für den Gewinnungsbetrieb selbst gewährleistet bleiben, ökologisch und sozial verantwortlich gehandelt und die natürlichen Ressourcen bestmöglich genutzt werden. Eine wesentliche Notwendigkeit dafür ist die Integration aller Prozessschritte in eine „End-to-End“-Perspektive. Die Grundlage hierfür bilden modernste, elektronisch basierte Aufschlussverfahren, Datenverarbeitung und Modellierung. Detaillierte 3D-Modelle und Vorhersagemodelle liefern durch ständige Anpassung genaue Informationen über den Untergrund. Das Geomonitoring erweitert das klassische Aufgabenfeld des Markscheidewesens (Geodatenerfassung und -datenmanagement, 3D-Modellierung und Vorhersage) um die permanente Erfassung und Auswertung aller raumbezogener Daten im Umfeld des Bergbaus sowie den Vergleich mit Vorhersagemodellen (perspektivisch) oder früheren Messwerten (retrospektiv). Das Geomonitoring ist eine Voraussetzung für „Industrie 4.0 im Bergbau“, das heißt für eine durchgängig digital unterstützte bzw. gesteuerte Entscheidungsfindung. Ziel der neuen Technologien ist es, den Abbau und die mit ihm verbundenen Auswirkungen quasi in Echtzeit abzubilden und zu überwachen. So kann geeignet auf unerwartete Ereignisse reagiert und transparent kommuniziert werden.

Der Masterstudiengang greift diese Technologien in drei Ausbildungsschwerpunkten auf: Vermessungstechnik und Sensortechnologien für das betriebliche Monitoring, Geodatenmanagement und Visualisierung sowie Geodatenanalyse und Modellierung. Mit innovativen Lehransätzen, z. B. im Rahmen des Moduls „Innovation Project Geomatics“, werden die Studierenden mit den neuesten Forschungsergebnissen konfrontiert und müssen ihr Wissen vor internationalem Publikum im Rahmen eines projektbasierten Innovationswettbewerb zwischen Studierendengruppen der Partneruniversitäten beweisen und

weiterentwickeln. Auch die Interaktion mit mehreren lokalen Industriepartnern ermöglicht es den Studierenden, an realen Projekten mitzuwirken, die Bedürfnisse der Industrie zu verstehen und sich in unternehmerischen Fähigkeiten zu schulen.

Diplomstudiengang „Robotik“

Autonom operierende Roboter verkörpern gegenwärtig den technologischen Wandel und drängen in das alltägliche Leben. Sie übernehmen Transport- oder Überwachungsaufgaben, mähen den Rasen oder steuern uns durch den Verkehr. Immer kompliziertere Aufgaben, die bisher Menschen vorbehalten waren, lassen sich durch leistungsfähigere Sensoren, Methoden der künstlichen Intelligenz, ausgefeilte Mechaniken und verteilte Algorithmen meistern. In der Fakultät für Mathematik und Informatik gibt es langjährige, anerkannte Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Robotik. Durch die Neuausrichtung und passende Besetzung der Professur „Softwareentwicklung und Robotik“ konnte nun nach mehrjähriger Diskussion ein Robotik-Studiengang eingeführt werden.

Robotik ist geprägt durch eine starke Interdisziplinarität von Informatik, Mathematik, Naturwissenschaften und Technik. Ingenieurmathematik, ergänzt um mathematische Verfahren für die Datenanalyse, ist die Grundlage für eine umfangreiche Ausbildung in der Sensordatenauswertung, im maschinellen Lernen und in weiteren Verfahren, wie in denen der Steuerungs-, Regelungs- und Optimierungsalgorithmen. Methoden der Angewandten Informatik, ergänzt um wesentliche Inhalte der praktischen, theoretischen und technischen Informatik bilden einen Schwerpunkt im Hinblick auf die Entwicklung von Softwaresystemen für die Robotik. Grundlegende natur- und ingenieurwissenschaftliche Module aus den Bereichen Physik, Chemie, Elektrotechnik, Sensorik und Automatisierungstechnik ergänzen das für die Realisierung von Robotik-Systemen notwendige Fachwissen. Um allen relevanten Themen den ihnen gebührenden Raum zu geben, entschied sich die Fakultät für einen zehensemestrigen Diplomstudiengang. Gleichzeitig wird durch angemessene Praxisanteile, wie etwa ein einsemestriges Fachpraktikum, und durch die Integration eines Anwendungsfachs die anwendungsorientierte, praktische Ausbildung unterstützt. In den Studiengang sind die Fächer Bergbau, Geomonitoring sowie Technik und Umwelt integriert, um die Robotik speziell in diesen Bereichen voranzutreiben.

Bachelorstudiengang „Additive Fertigung (Technologie, Material, Design)“

Die Additive Fertigung (3D-Druck, Additive Manufacturing, Generative Fertigung, Rapid Technologien) ist ein modernes urformendes Fertigungsverfahren, bei dem Material Schicht für Schicht aufgetragen und so dreidimensionale Gegenstände (Werkstücke) erzeugt werden. Für die Additive Fertigung sind verschiedene Werkstoffe wie Metalle, Kunststoffe, nachwachsende Rohstoffe oder Keramik geeignet, für die an den Fakultäten Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik sowie Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie hervorragende

¹ Univ.-Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg, Prorektorin Bildung, prorektor-bildung@zuv.tu-freiberg.de



Kompetenzen vorhanden sind. Die Additive Fertigung erlaubt – über die Grenzen der konventionellen Fertigung hinaus – einen Herstellungsprozess, bei dem die Konstruktion die Fertigung bestimmt und nicht umgekehrt.

Der Studiengang unterstützt insbesondere die thematischen Profillinien Material und Umwelt, da die technologischen Beispiele der Additiven Fertigung von Werkstücken aus verschiedensten Materialien – im Gegensatz zur abtragenden Fertigung – einen effizienten Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen und einen energiesparenden Leichtbau erlauben. Die Absolventen des Bachelorstudienganges sind einerseits für den direkten Einstieg in die Berufspraxis vorbereitet oder können andererseits je nach gewählter Vertiefungsrichtung ihr Studium fortsetzen – entweder direkt im Masterstudiengang Maschinenbau (Vertiefung Konstruktion), im Masterstudiengang Verfahrenstechnik (Vertiefung Mechanische Verfahrenstechnik), im Masterstudiengang Keramik, Glas- und Baustofftechnik, im Masterstudiengang Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten oder in einem adäquaten englischsprachigen Masterstudiengang. Durch das Aufgreifen des modernen und kreativen Fertigungsverfahrens im Namen des Studiengangs, „Additive Fertigung (Technologie, Material, Design)“, sollen mehr Jugendliche, insbesondere Frauen, für ein Ingenieurstudium begeistert werden. Die vorgefertigte, oft unzutreffende Vorstellung über ein Ingenieurstudium wird hier bewusst aufgebrochen. Der hochkreative und kommunikative Anteil soll bereits durch den Namen des Studiengangs betont werden.

Inhalt des Studiums ist es, Werkstoffe, Produkte, Fertigungsprozesse und Methoden auf systemtechnischer Basis zu durchdringen, zu analysieren und zu bewerten. Die Absolventen sollen in der Lage sein, passende Analyse-, Modellierungs-, Simulations- und Optimierungsmethoden auszuwählen, anzuwenden und weiterzuentwickeln. Sie können Entwürfe für Bauteile, Maschinen und Prozesse entsprechend dem Stand des Wissens und nach spezifizierten Anforderungen erarbeiten.

WIN Orientierungsstudium

Das WIN Orientierungsstudium bietet die Chance, in die Bereiche Wirtschafts- (W), Ingenieur- (I) und Naturwissenschaften (N) gleichzeitig reinzuschneppern. Je nach Interesse können die Kurse aus Inhalten dieser Bereiche frei zusammengestellt werden. Es kann konkret ein Bereich probestudiert oder in alles ein bisschen hineinstudiert werden, um so die passende Studienrichtung zu finden. Auf dem Weg zur richtigen Entscheidung können bereits Klausuren geschrieben werden, die auf Antrag in einem dann letztlich gewählten Studium angerechnet werden. Das WIN Orientierungsstudium soll größtmögliche Einblicke in die an der TU Bergakademie Freiberg studierbaren Fächer ermöglichen. Deshalb setzt sich das Programm zum Großteil aus fachspezifischen Modulen zusammen, welche um ein ausgewähltes Angebot an mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen und Sprachkompetenzen ergänzt werden. Nach Absolvierung des Orientierungsstudiums wird ein Teilnahmezertifikat ausgestellt, welches die bestandenen Prüfungsleistungen (mit Note und ECTS-Punkten) enthält.

Der fachbezogene Programmbereich umfasst reguläre Module bestehender Bachelor- und Diplomstudiengänge, wobei sowohl Grundlagen- als auch Vertiefungsveranstaltungen enthalten sind. Die Studierenden können entweder Module aus einem Schwerpunktbereich (Wirtschafts- und Rechtswissenschaften, Ingenieurwissenschaften oder Geo- und Geoingenieurwissenschaften) oder Module aus verschiedenen Schwerpunktbereichen auswählen. Des Weiteren stehen mathematische und naturwissenschaftliche Grundlagenmodule zur Wahl, die für den fachbezogenen Programmbereich notwendig sind. Zudem sind Module wählbar, in denen fachbezogene Sprachkompetenzen vermittelt werden. Ergänzend haben die Studierenden die Möglichkeit, zur Studiums- und Berufsvorbereitung fachübergreifende methodische, soziale sowie personale Schlüsselkompetenzen zu erwerben. Die entsprechenden Veranstaltungen sind vor allem dem Kursangebot unter „proWissen“ entnommen.

Spitzenförderung für Spitzenschüler: Das Leistungsstipendium der TU Bergakademie Freiberg

Die TU Bergakademie Freiberg hat sich im Jahr 2018 dazu entschieden, besonders leistungsstarke und engagierte Studienanfängerinnen und -anfänger zu fördern. Unterstützt wird die Idee vom Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., durch den das Leistungsstipendium vergeben wird.

Für das Wintersemester 2018/19 konnte die TU Bergakademie Freiberg insgesamt drei Fördermittelgeber für das neue Stipendium akquirieren. Dazu gehörten unter anderem Frau Dr. Erika Krüger und die GASCADE Gastransport GmbH.

Gefördert wurden zwei Studienanfängerinnen in den Studiengängen *Diplom Wirtschaftsingenieurwesen* und *Bachelor*

Wirtschaftsingenieurwesen sowie ein Studienanfänger im Studiengang *Diplom Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie*. Sie erhielten zur Akademischen Feier am 16. Oktober 2018 persönlich ihre Stipendienurkunden aus den Händen der jeweiligen Fördermittelgeber.

Die Leistungsstipendien richten sich an Abiturienten vorrangig sächsischer Schulen mit einer Abiturnote von mindestens 1,8, die in Freiberg studieren wollen. Mit dem Programm fördert die TU Bergakademie Freiberg aber nicht nur Studienanfängerinnen und Studienanfänger, sondern unterstützt zugleich die Bindung junger Nachwuchswissenschaftlerinnen sowie -wissenschaftler, die eine akademische Laufbahn oder eine eher berufspraktische Tätigkeit anstreben.

Finanziert werden Sachleistungen im Gegenwert von bis zu 500 Euro monatlich. Dazu gehören das Wohnen in einer WG im Studentenwohnheim Freiberg, das Essen in der Mensa und ggf. eine Krankenversicherung (falls nicht familienversichert).

Die Förderung erfolgt für maximal den Zeitraum der Regelstudienzeit, wobei eine jährliche Leistungsüberprüfung stattfindet. Zudem erhalten die Stipendiaten einen Mentor, der sie in Fragen rund um das Studium berät. Für die seit dem Wintersemester 2018/19 geförderten Stipendiaten hat der Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht persönlich das Mentoring übernommen. Aber auch ein direkter Kontakt zwischen den Stipendiaten und ihren Förderern ist möglich.

Das Leistungsstipendium wird einmal im Jahr für Studierende ausgewählter Studiengänge neu ausgeschrieben. Für die Förderperiode ab dem Wintersemester 2019/20 können sich besonders leistungsstarke und engagierte Abiturienten in den Studiengängen *Bachelor Internet der Energie: Data Science und Internet of Things für die Energiewirtschaft*, *Diplom Keramik, Glas- und Baustofftechnik* sowie *Diplom Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie* bewerben.

■ Christin Grunenberg

Leistungsstipendiatin Clarissa Werner

Mein Name ist Clarissa Werner, und ich studiere seit dem Wintersemester 2018/2019 *Diplom Wirtschaftsingenieurwesen* an der TU Bergakademie Freiberg. Es freut mich ganz besonders, dass ich zu einer Gruppe von drei Studenten gehöre, die ein Leistungsstipendium erhalten.

Da ich in Thüringen zur Schule gegangen bin, stand für mich nicht von Anfang an fest, an der TU Bergakademie in Freiberg zu studieren. Ich besichtigte in der Oberstufe mehrere Universitäten in Deutschland und konnte dabei meinen Studienrichtungswunsch in der zwölften Klasse näher eingrenzen. Ich besuchte nun gezielt Universitäten, die den Studiengang *Wirtschaftsingenieurwesen* anboten. Schließlich überzeugte mich aber die kleine und familiäre Universität in Freiberg und auch die schöne Stadt.

Schon in meiner Schulzeit sammelte ich praktische Erfahrungen, um zu wissen, welche Möglichkeiten ich nach meinem Abschluss in der Berufswelt hätte. Ich nahm unter anderem an der Sommeruniversität für Mädchen der Technischen Universität in Ilmenau teil und konnte dort viele Eindrücke und Erfahrungen sammeln. Außerdem absolvierte ich auch einige Praktika, wodurch sich meine Entscheidung zur Studienrichtung weiter festigte. Noch vor dem ersten Semester bewarb ich mich für das Leistungsstipendium der TU Bergakademie Freiberg, welches im Wintersemester 2018/2019 zum ersten Mal vergeben wurde. Diese Förderung umfasst einen kostenlosen Wohnheimplatz und kostenloses Essen in der Mensa. Außerdem bietet sich die Möglichkeit, wichtige Kontakte zu Firmen aufzubauen, bei denen man später ein Praktikum absolvieren oder anderweitig praktische Erfahrungen sammeln kann. Ich konnte die Auswahlkommission durch meine Abiturleistungen und mein ehrenamtliches Engagement überzeugen und somit



das Stipendium zuerkannt bekommen.

Durch die Förderung der Universität habe ich die Möglichkeit, in meiner Freizeit meinen Interessen nachzugehen oder sogar neue Hobbys zu entdecken. Dazu zählt mein Engagement beim Racetech Racing Team der TU Bergakademie Freiberg. Als Formula Student-Team konzipieren, konstruieren und bauen wir jährlich ein neues Rennauto. Mit diesem nehmen wir dann an Wettbewerben teil und waren dort in den letzten Jahren sehr erfolgreich. Ich war in dieser Saison im Modul Management tätig und half mit, unser Rollout zu organisieren. Diese Veranstaltung ist

sehr wichtig für das Team, da dort das neue Rennauto für die Saison präsentiert wird. Des Weiteren konnten wir uns für Wettbewerbe in Ungarn, Österreich und Deutschland qualifizieren und hoffen auch dieses Jahr auf gute Ergebnisse. Bei Racetech konnte ich innerhalb von zwei Semestern diverse Fähigkeiten erlangen und mir neues Wissen durch das Arbeiten in der Gemeinschaft, aber auch durch die Unterstützung seitens älterer Studenten aneignen, die dem Team immer noch als Teammitglieder oder Alumni zur Seite stehen. Neben diesem Hobby nutze ich meine Freizeit auch gern für Sport und konnte mich beim Schwimmen oder beim Kraftsport verausgaben.

Ich stehe noch fast am Anfang meines zehensemestriigen Studiums, doch habe ich schon viel an Erfahrung und Wissen sammeln dürfen – und freue mich auf alles, was noch kommt. Ich möchte mich für die bisherige Förderung durch den Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. und besonders auch durch den Rektor Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht herzlich bedanken.

■ Clarissa Werner

Deutschlandstipendiatin Elena Holler

Mein Name ist Elena Holler, ich studiere seit vier Jahren an der TU Bergakademie Freiberg im Studiengang „Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten“.

Die Entscheidung ein technisch orientiertes Studium zu beginnen, fiel bei mir bereits lange vor dem Abitur. Dass ich dieses Studium in Freiberg beginnen sollte, war zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht klar. Den Grundstein dafür legte die Teilnahme am „Girls Day“ des physikalischen Instituts der Universität Würzburg während der 9. Klasse der Realschule. Von da an war mein naturwissenschaftlich-technisches Interesse geweckt. Die Entscheidung für den Studiengang traf ich nach einem Besuch mit meiner Schule auf der Studiums- und Ausbildungsmesse „Vocatum“ in Würzburg. Die Kombination eines klassischen Maschinenbaustudiums mit dem der Grundlagen der Werkstoffwissenschaft begeisterte mich. Zusätzlich überzeugten mich die kleinen Studentenzahlen, die eine persönliche und individuelle Betreuung der Studenten ermöglichen. Die Option, in diesem Studiengang (wieder) einen Diplomabschluss zu erreichen, macht diesen einzigartig in Deutschland und ebnete meinen Weg nach Freiberg.



Rückblickend auf die letzten acht Semester und auch durch den Gedankenaustausch mit Freunden, die ihr Studium an anderen Universitäten begonnen haben, bestätigt, muss ich sagen, dass gerade die persönliche Betreuung ein großer Vorteil der Bergakademie ist. Nach einer Vorlesung den Professoren seine Fragen zu stellen oder über das vorgetragene Thema zu diskutieren – das sind Dinge, die den Uni-Alltag lehrreich und spannend gestalten. Durch die geringen Studentenzahlen in meinem Studiengang war es mir auch möglich, mein Interesse an der Simulation und an speziellen Berechnungsverfahren zu vertiefen. Anders als beispielsweise im reinen Maschinenbau- oder beim Werkstoffwissenschaftsstudium musste ich keine Vertiefungsrichtung in meinem Studiengang wählen. Nach dem Absolvieren des Grundstudiums gilt es stattdessen, seine Interessen durch das Belegen von Wahlpflichtmodulen zu erweitern. Auch Module, die nicht im Wahlpflichtkatalog aufgeführt sind, konnte ich belegen und mich dadurch beispielsweise mit Simulationsprogrammen wie Matlab vertraut machen. Diese Möglichkeit erleichterte mir den Einstieg in mein Ingenieurpraktikumsthema erheblich.

Im Allgemeinen achtet die Universität sehr stark auf einen Praxisbezug im Studium. Die zahlreichen Exkursionen zu Firmen im Umkreis von Freiberg – aber auch weiter weg – ermöglichten es mir, vielfältige Eindrücke zu sammeln. Besonders spannend empfand ich den Besuch des Stahlwerks in Freital. Das Verfolgen des Prozesses von Stahlschrott als Einsatzmaterial bis zum fertigen Halbzeug, das im Anschluss an andere Firmen verkauft wird, ist für mich auch rückblickend immer noch sehr beeindruckend.

Zudem helfen auch die Praktika, die in vielen Modulen vorgesehen sind, dabei, das theoretisch erarbeitete Wissen praktisch anzuwenden. Hierbei sind für mich besonders die gießerechnischen Module spannend. Gerade als Fahrzeugbauer hat man auch im späteren Berufsalltag mit diversen Gussteilen zu tun. Für die fertigungsgerechte Konstruktion eines Bauteils ist es unabdingbar, den Herstellungsprozess genau zu kennen. So darf

man in den Praktika beispielsweise selber mal eine Gussteilform herstellen, eine Schmelze chargieren oder verschiedene Prozessparameter beim Gießen verändern. Bei diesem selbstständigen Arbeiten werden die Konsequenzen aus den eigenen Handlungen besser verinnerlicht und somit auch in Zukunft sicherlich stärker bedacht.

Auch durch das Deutschlandstipendium und meine Förderin, Frau Dr. Erika Krüger, wird mir nun die Möglichkeit gegeben, zahlreiche für mich neue Firmen oder Personen kennenzulernen und mich weiterzubilden. Veranstaltungen wie Bewerbungstrainings oder Berufsinformationsmessen, die extra für Deutschlandstipendiaten angeboten werden, erleichtern es, ins spätere Berufsleben einzusteigen.

Dadurch, dass sich das Stipendium nicht auf den Bafög-Bezug auswirkt, kann ich auch meine Eltern finanziell entlasten. Zudem ermöglicht mir das Stipendium, mich meinen Hobbys und Interessen außerhalb des Studiums zu widmen. Die gewonnene Zeit investiere ich hauptsächlich ins Musizieren. Seit mittlerweile 13 Jahren spiele ich Oboe. Dies bereitet mir sehr viel Freude, vor allem wenn ich dies gemeinsam mit anderen Menschen ausüben kann. Deshalb spiele ich aktiv – seit meinem zweiten Unterrichtsjahr – in meinem Heimatverein im Orchester mit. Trotz

des Umzuges zum Ort meiner Studienwahl ist mir eine regelmäßige Teilnahme an den Proben in den Semesterferien immer noch möglich. Um auch während des Semesters die Möglichkeit zu haben, mit anderen zu musizieren, spiele ich seit meinem zweiten Semester im Collegium Musicum der TU Bergakademie Freiberg mit. Dort habe ich zudem ein Quintett mit vier anderen Studenten gegründet. Seit anderthalb Jahren umrahmen wir in dieser Besetzung zahlreiche Veranstaltungen der Universität, wie beispielsweise die alljährliche Doktorandenverabschiedung, die Eröffnung des Chile-Hauses oder die Universitätsgottesdienste. Es macht mich jedes Mal aufs Neue stolz, durch mein Hobby anderen Menschen eine Freude zu bereiten und so etwas zum Gemeinwohl beizutragen.

Seit kurzem bin ich auch Mitglied des Gremiums „Lehrpraxis im Transfer“. Bei diesem haben Studenten die Aufgabe, für die Zukunft angedachte Projekte der sächsischen Hochschulen zu bewerten und dadurch fundierte Entscheidungen vorzubereiten zu der Frage, für welche Projekte Gelder vergeben werden sollten. Dies ermöglicht es mir, Einfluss auf Vorhaben der Universität zu nehmen und die Lehre aktiv mitzugestalten. Gerade als Student ist man meiner Meinung nach sehr gut in der Lage, zu beurteilen, welche Maßnahmen zur Verbesserung der Lehre beitragen und daher sinnvoll sind.

Rückblickend auf die letzten vier Jahre meiner Zeit in Freiberg kann ich sagen, dass die Entscheidung, an dieser Universität zu studieren, die richtige war. Ich durfte neben meinem eigentlichen Studium Einblicke in die Traditionen des Bergbaus erhalten, die die Universität ursprünglich geprägt haben. All diese Erfahrungen und auch die Menschen, die mich auf meinem bisherigen Weg begleitet haben, möchte ich nicht mehr missen. Ich bin sehr froh, genau diesen Weg gegangen zu sein und es macht mich stolz, mich in voraussichtlich einem Jahr Absolventin der TU Bergakademie Freiberg nennen zu dürfen.

■ Elena Holler

Deutschlandstipendiat Richard Neubert

Bin ich zufrieden mit meiner Wahl, in Freiberg zu studieren? Darauf ist nur mit „Ja“ zu antworten, da ich bisher keinen einzigen Tag bereue.

Dass ich ein Chemiestudium aufnehmen würde, war für mich von vornherein sicher; allerdings wusste ich nicht so richtig, wo ich das Studium aufnehmen sollte. Nachdem ich mir die Unis in Dresden und Leipzig angeschaut hatte, wusste ich, dass das familiäre Umfeld, das die TU Bergakademie bietet, die Art zu studieren möglich macht, die ich suchte. So konnte ich bereits frühzeitig an der Fakultät für Chemie und Physik durch Arbeiten als studentische Hilfskraft Einblicke in die Forschung erlangen. Auch die Wahl des Diplomstudiengangs war für mich rückblickend richtig. Durch die engen Kontakte zu den Lehrenden an der Fakultät war es mir möglich, bereits auch in der Lehre mitzuwirken. Diese Arbeit würde ich gern weiterverfolgen, um mehr Fähigkeiten auf diesem Gebiet erwerben zu können. Außerdem ist es eine Tätigkeit, die mir selbst sehr viel Freude bereitet.

Im zweiten Semester habe ich begonnen, im Fachschaftsrat mitzuarbeiten und bin im vierten Semester dann auch zum offiziellen Vertreter gewählt worden. Nun habe ich im Mai bereits meine dritte Legislatur in diesem Gremium angetreten. Darüber hinaus konnte ich dank der Kontakte des Fachschaftsrats ein Seminar zur Gremienarbeit in Leipzig besuchen, welches mich letztlich zur Arbeit in der Studienkommission gebracht hat. In diesem Gremium merkte ich beizeiten, was alles hinter einem Studiengang steckt und wie viel Arbeit es braucht, einen solchen gut am Laufen zu halten und stetig zu verbessern. Mit meinen dabei gesammelten Erfahrungen möchte ich jetzt und in Zukunft

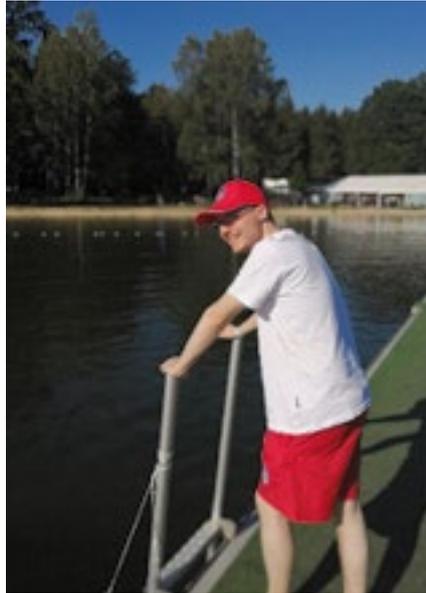


Foto: Richard Klemm

Studierende jüngerer Jahrgänge schulen, um jenen ein ähnlich solides Rüstzeug zu geben, wie ich es einst erhalten habe. Ich bin der Meinung, dass ein reibungsloser Studienablauf am besten möglich ist, wenn Dozenten und Studierende bei dessen Gestaltung zusammenarbeiten.

In meiner ersten Legislatur versuchte ich auf Anraten eines Kommilitonen, mich für ein Deutschlandstipendium zu bewerben. Ich war äußerst glücklich, als ich dieses für ein halbes Jahr zugesprochen bekam. Diese Freude konnte ich nun noch zwei weitere Male erleben. Dank des Stipendiums ist es mir möglich, die umfassende Gremienarbeit fortzuführen.

Neben dieser habe ich nun auch noch Zeit für Hobbys, die ich lange vor meinem Studium schon begann und bis heute fortsetze. Zum einen ist dies die stellvertretende Leitung einer Musikgruppe in meinem Heimatort Chemnitz, mit der ich an Wochenenden probe oder zu Auftritten in ganz Sachsen spiele. Zum anderen ist es mein Engagement in der DRK-Wasserwacht als Rettungsschwimmer und – dank des Deutschlandstipendiums – seit kurzem auch als Schwimmausbilder. Ich unterstütze damit aktiv Personen dabei, Schwimmen zu lernen, damit sie nicht in Notsituationen geraten. Weiter helfe ich, andere das Retten zu lehren, damit in Not Geratenen geholfen werden kann. In Zukunft möchte ich diesen Weg mit einer Ausbildung zum Sanitäter und später zum Ausbilder im Rettungsschwimmen und Erster Hilfe fortsetzen. Dank des Stipendiums habe ich dazu die nötigen Freiräume, wofür ich sehr dankbar bin.

■ Richard Neubert

Das Deutschlandstipendium

Investieren Sie in die Zukunft – werden Sie Förderer eines Deutschlandstipendiums!

Das Deutschlandstipendium wurde im Jahr 2011 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiiert. Bei der Auswahl werden neben sehr guten Noten auch Erfolge, Auszeichnungen, Berufs- oder Praktikumserfahrungen sowie außeruniversitäres Engagement berücksichtigt. Inzwischen kommen jährlich bis zu 100 Studierende in den Genuss der finanziellen Unterstützung durch das Deutschlandstipendium und erhalten so zusätzliche Möglichkeiten, die sie für ihr Studium wie auch für ihre außerfachliche Bildung nutzen können. Grundlage hierfür ist das Engagement zahlreicher Förderer, denen wir außerordentlich dankbar sind.

Ansprechpartner:

Sylvie Preiss · Sylvie.Preiss@zuv.tu-freiberg.de

Diana Giersch · Diana.Giersch@zuv.tu-freiberg.de

<https://tu-freiberg.de/wirtschaft/deutschlandstipendium>

Selbstverständlich ist uns jeder Förderbetrag herzlich willkommen und fließt in unseren Deutschlandstipendien-Topf:

Hauptkasse des Freistaates Sachsen

IBAN: DE06 8600 0000 0086 0015 19

BIC: MARKDEF1860

Verwendungszweck:

7040 00227-6 Spende

Deutschlandstipendium ALUMNI

Sind 1.800 € im Spendentopf, können wir eine Stipendiatin/einen Stipendiaten für ein ganzes Jahr mit monatlich 300 € unterstützen. Die Gegenfinanzierung von 1.800 € übernimmt das BMBF.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Einsatz der Sessile-Drop-Methode in Lehre und Forschung

Beate Fankhänel¹, Michael Stelter¹

In vielen Bereichen der NE-Metallurgie sind Kenntnisse über die Benetzungseigenschaften von Metall- und Schlackenschmelzen auf keramischen Feuerfestmaterialien unerlässlich. So bestimmt beispielsweise die Wechselwirkung zwischen diesen Materialien die Haltbarkeit von Ofenauskleidungen und Schmelztiegeln. Benetzungseigenschaften spielen aber auch bei der Einkristallzüchtung [1], bei der Metallschmelzefiltration [2] und bei der Herstellung von Verbundwerkstoffen [3] eine wichtige Rolle.

Eine gängige Methode zur Ermittlung der Benetzungseigenschaften ist die Sessile-Drop-Methode, welche seit vielen Jahren am Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe angewandt wird und mit der bereits die Studenten im Rahmen von Praktika und studentischen Arbeiten vertraut gemacht werden. Die Methode beruht auf der Auswertung der Form von Flüssigkeitstropfen auf Festkörperoberflächen. Die Form des Tropfens wird im Wesentlichen aus dem Gleichgewicht zwischen Oberflächenspannung und Gewicht bestimmt. Ausgehend von der Tropfenkontur können bei bekannter Dichte des Tropfenmaterials sowohl die Oberflächenspannung der Flüssigkeit als auch der Kontaktwinkel am Tripelpunkt des Systems berechnet werden. Grundlage für die Berechnungen ist die Young-Laplace-Gleichung (Gl. 1), die den Zusammenhang zwischen der Tropfenform (r = Kugelradius), der Oberflächenspannung (γ_{lg}) und der Druckdifferenz (Δp) an der Phasengrenze beschreibt.

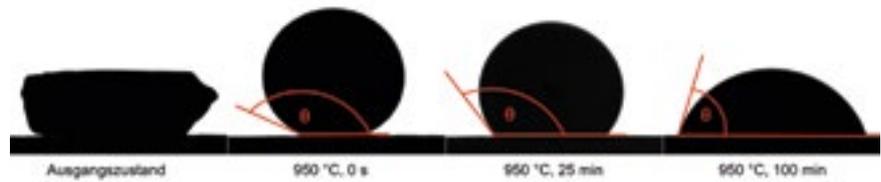


Abb. 1: Ausbildung eines Schmelzetropfens und zeitliche Änderung des Kontaktwinkels θ bei 950 °C am Beispiel einer AlSi7Fe1.5-Legierung auf SiC

$$\Delta p = \frac{2\gamma_{lg}}{r} \quad (1)$$

Für kleine Tropfen ($m < 100$ mg) kann der Einfluss der Gravitation auf die Tropfenform vernachlässigt werden, sodass von einem Kugelsegment als Tropfenform ausgegangen werden kann [4]. In diesem Fall ist es auch möglich, den Kontaktwinkel (θ) mithilfe der Tropfenhöhe (h) und des Durchmessers an der Tropfenbasis (d) zu berechnen (Gl. 2):

$$\theta(\text{in rad}) = 2 \tan^{-1} \frac{2h}{d} \quad (2)$$

Abb. 1 zeigt beispielhaft die Ausbildung eines Tropfens und die zeitliche Änderung des Kontaktwinkels.

Die Sessile-Drop-Anlage des Instituts für NE-Metallurgie und Reinstoffe (Abb. 2) besteht aus einem 3-Zonen-Schmelzofen mit einer maximalen Arbeitstemperatur von 1550 °C, einem Vakuum- und Inertgassystem und einer optischen Auswerteinheit mit CCD-Kamera zur rechnergestützten Aufnahme des Schmelzetropfens und zur Berechnung des Kontaktwinkels. Mit der Anlage können

Messungen sowohl unter Hochvakuum als auch unter definierten Gasatmosphären realisiert werden, was den Einsatz für ein breites Anwendungsfeld ermöglicht.

- 1 Cröll, A., Lantzsch, R., Kitanov, S., Salk, N., Szofran, F.R., Tegetmeier, A.: Melt-crucible wetting behavior in semiconductor melt growth systems. In: *Crystal Research and Technology* 38 (7–8), S. 669–675, 2003
- 2 Fankhänel, B.; Stelter, M.; Voigt, C.; Aneziris, C. G.: Interaction of AlSi7Mg with Oxide Ceramics. In: *Advanced Engineering Materials* 19(9), S. 1700084 (1–8), 2017
- 3 Naikade, M.; Fankhänel, B.; Weber, L.; Ortona, A.; Stelter, M.; Graule, T.: Studying the wettability of Si and eutectic Si-Zr alloy on carbon and silicon carbide by sessile drop experiments. In: *Journal of the European Ceramic Society* 39(4), S. 735–742, 2019
- 4 Eustathopoulos, N.; Nicholas, M. G.; Drevet, B.: *Wettability at high temperatures*. Pergamon Press: Amsterdam, New York 1999, ISBN: 0-080-54378-2

¹ Dr.-Ing. Beate Fankhänel, Prof. Dr.-Ing. Michael Stelter, TU Bergakademie Freiberg, Institut für NE-Metallurgie und Reinstoffe, Leipziger Str. 34, 09599 Freiberg

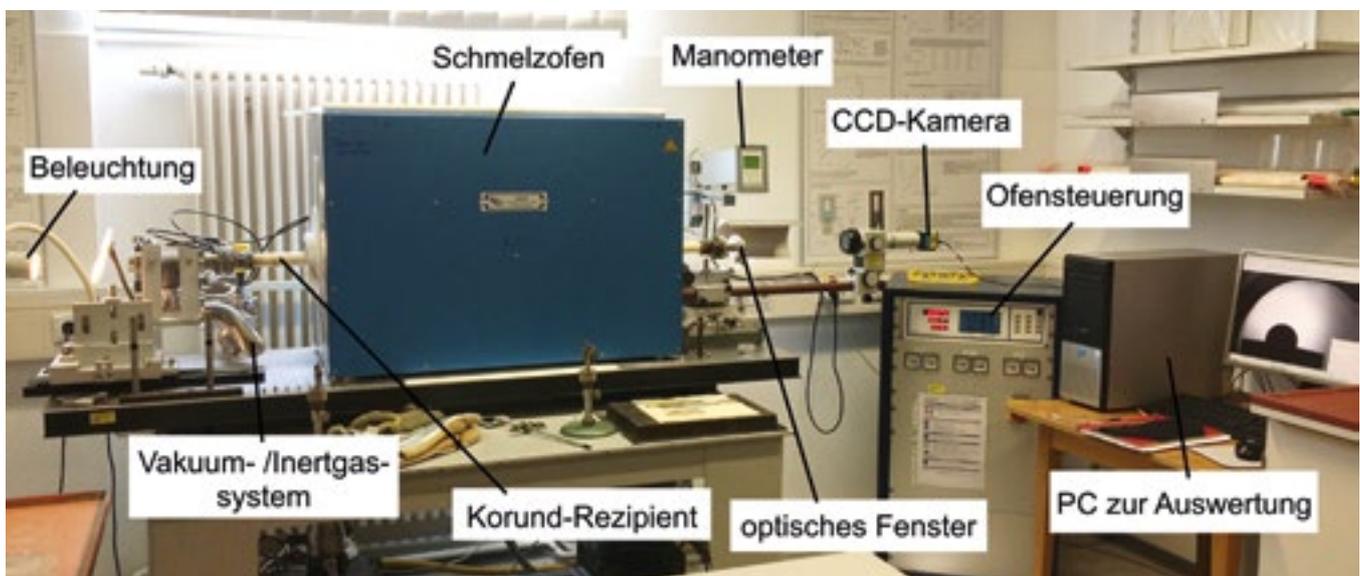


Abb. 2: Sessile-Drop-Anlage des Instituts für NE-Metallurgie und Reinstoffe

Gas geben in der Energiewende

mit einer praxisorientierten gasfachlichen Ausbildung am Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen und im An-Institut DBI-Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Saskia Wesolowski¹, Hartmut Krause¹, Steffen Franke²

Praxisnähe hat Tradition an der TU Bergakademie Freiberg. Genauso wie die Gas-technik, deren Geschichte auf dem europäischen Kontinent hier vor mehr als 200 Jahren ihren Anfang nahm. Im Jahr 1812 betrieb der Freiburger Professor für Chemie und Hüttenkunde Wilhelm August Eberhardt Lampadius eine sogenannte Thermolampe mit Gas, das er zuerst aus Holz, später aus Steinkohle erzeugte. Damit beleuchtete er zunächst die Straße vor seinem Wohnhaus in der Fischergasse 6 und nur wenig später für kurze Zeit einen Teil des Freiburger Obermarkts. Ihm zu Ehren trägt das Gebäude in der Gustav-Zeuner-Straße 7 seit 1994 den Namen Lampadiusbau. In den 1950er und 1960er Jahren war dieses Gebäude die Heimstatt der ehemaligen „Gasinstitute“ unter den Professoren Becher und Gruson. Erster Absolvent im Gasfach war 1958 Adolf Kochs, der später in die Fußstapfen seiner Lehrer trat und seinerseits zunächst als Dozent für Gas- und Öltechnik am Institut tätig war. Nach der Wendezeit wurde an dieser Stelle das Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik gegründet und Adolf Kochs im Jahr 1993 zum Professor für Gas- und Ölanwendungstechnik berufen. Bis zum Eintritt in den Ruhestand war er außerdem der Direktor des Instituts für Wärmetechnik und Thermodynamik. Heute werden in diesem Institut weiterhin junge Gasingenieure ausgebildet.

Doch wer junge Menschen für die Gasbranche begeistern möchte, muss dicke Bretter bohren. Die Erdgasvorräte schwinden und „war da nicht was mit Klimawandel und so?“ Doch genau deshalb lohnt es sich, genauer hinzuschauen. Das

taten im September 2018 die Teilnehmer der MINT-EC-Akademie „Zukunft Energie“. Der Verein MINT-EC ist das nationale Excellence-Netzwerk von Schulen mit ausgeprägtem Profil in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT). Das Netzwerk mit derzeit 325 zertifizierten Schulen mit rund 344.000 Schülerinnen und Schülern sowie 28.000 Lehrkräften steht seit 2009 unter der Schirmherrschaft der Kultusministerkonferenz der Länder (KMK). Ziel ist es, in Zusammenarbeit mit den entsprechend ausgerichteten Hochschulen und Universitäten eine qualitativ hochwertige Förderung der naturwissenschaftlichen Fächer zu betreiben. Fünf Tage lang waren deshalb 17 Elft- und Zwölftklässler an der TU Bergakademie Freiberg zu Gast. Vormittags besuchten sie Vorlesungen, nachmittags setzten sie Erlerntes praktisch um. Dabei und bei den Exkursionen zu Partnerfirmen der TU haben sie gelernt: Ohne die Gaswirtschaft ist die Energie-



Teilnehmer der MINT-EC-Akademie „Zukunft Energie“ 2018 beim Praktikum Biogas am An-Institut DBI-GTI

wende in Deutschland nicht zu schaffen. Mit der geplanten Abschaltung des letzten Kernkraftwerks im Jahr 2022 und dem beschlossenen Kohleausstieg fallen gleich zwei wichtige Säulen der traditionellen Energiewirtschaft weg. Die resultierende Lücke in der Energieversorgung ist mittelfristig nicht allein durch Energieeffizienzmaßnahmen und Nutzung erneuerbarer Energien zu schließen, ohne dabei die Wirtschaftskraft und den Wohlstand in Deutschland zu gefährden. Der Energieträger Gas hat das Potenzial, diese Lücke zu schließen.

Gas ist nicht nur fossiles Erdgas, sondern bereits jetzt schon auch regenerativ erzeugtes Biogas und in zunehmendem Maße Wasserstoff. Schon im Jahr 1870 hat der Visionär Jules Verne in seinem Buch „Die geheimnisvolle Insel“ die künftige

Wasserstoffwirtschaft vorweggenommen: „Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“

Wind und Sonne sind die wichtigsten erneuerbaren Energieträger in Deutschland und werden weiter ausgebaut. Doch beide Energieträger sind wetterabhängig und regional begrenzt verfügbar. Ein Weg, die so erzeugte Energie zu speichern und zu transportieren, ist die Umwandlung in einen chemischen Energieträger, z. B. in Wasserstoff oder Methan. Während das Stromnetz aus allen Nähten platzt, ist im Erdgasnetz ausreichend Platz. 500.000 Kilometer Gasleitungen allein in Deutschland transportieren jedes Jahr doppelt so viel Energie wie das Stromnetz. In rund 47 Erdgasspeichern ist Platz für 23,5 Milliarden Kubikmeter Gas. Bis 2025

sollen durch Erweiterungen und Neubauten noch einmal neun Milliarden Kubikmeter Speichervolumen hinzukommen. Um Ökostrom im Erdgasnetz zu speichern, muss aber aus Strom erst einmal Gas werden. Dieses Gas – Wasserstoff und/oder Biomethan – in die vorhandenen Strukturen zu integrieren, ist die Herausforderung der nächsten Jahre.

Dafür braucht es gut ausgebildete Fachleute. Die TU Bergakademie Freiberg ist die einzige Hochschule in Deutschland, an der Interessierte direkt die Ver-

tiefungsrichtung Gastechnik im Studium wählen können. Die Ausbildung erstreckt sich über 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 und ist damit einzigartig in Deutschland. Von Anfang an werden die Studierenden dabei mit den Aufgaben in der Praxis vertraut gemacht. Wichtigster Partner ist das An-Institut DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg (DBI-GTI). Als eine gemeinnützige, private Forschungseinrichtung partizipiert das Institut von dem starken Netzwerk zur Energiewirtschaft über die Engineering-Mutter DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH (DBI GUT) sowie den Gesellschafter DVGW – Deutscher

¹ TU Bergakademie Freiberg, Professur Gas- und Wärmetechnische Anlagen

² DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg

Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW). Die Studierenden können hier Praktika absolvieren und sowohl grundlagenorientierte als auch anwendungsnahe Themen aus der Gaswirtschaft im Rahmen von Studien-, Projekt- und Abschlussarbeiten bearbeiten. Wissenschaftliche Mitarbeiter unterstützen die Lehre an der Hochschule. Neben regelmäßigen Fachvorlesungen werden auch Praxisseminare im DVGW Demonstrationszentrum Gastechologie der DBI-GTI unter anderem zu Themen der Gerätetechniken wie Stirling-, Gasmotoren oder Brennstoffzellen durchgeführt. In der Lehrveranstaltung „Praktikum Gastechnik“ lernen die Freiburger Gastechnik-Studenten u. a. im DVGW-Trainingszentrum Erdgas des DBI-GTI, wie man einen Gasbrand löscht und in Havarie-Situationen reagiert.



Ausbildung der Freiburger Gastechnik-Studenten im DVGW-Trainingszentrum Erdgas des DBI-GTI

Die enge Zusammenarbeit mit dem DVGW trägt darüber hinaus noch weitere Früchte. Seit 2010 können die Studierenden zusätzlich zum Diplom- oder Masterabschluss das Zertifikat „Ingenieur für Gas-, Wärme- und Energietechnik“ erwerben. Die Lehrinhalte berücksichtigen die von wichtigen Vertretern der Energiebranche benannten Anforderungen. Sie wurden im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung mit dem DVGW abgestimmt und werden spätestens alle fünf Jahre gemeinsam mit den Kooperationspartnern überprüft und bei Bedarf aktualisiert. In den mehr als 3.300 Mitgliedsfirmen des DVGW und weiteren Unternehmen der Energie- und Gasbranche genießt dieses Zertifikat inzwischen hohe Anerkennung und ist für

den jeweiligen Inhaber ein „Türöffner“ für den Berufseinstieg in die Branche.

Im November 2017 wurde die DVGW-Hochschulgruppe Freiberg gegründet. Die Hochschulgruppe versteht sich als das Bindeglied zwischen Studium und Praxis und richtet sich gezielt an angehende Ingenieure in den Bereichen Energie und Gastechnik. In der DVGW-Hochschulgruppe organisierte Studenten erhalten als Vereinsmitglieder die Möglichkeit, an DVGW-Veranstaltungen teilzunehmen. Exkursionen und Praktika in der Industrie werden organisatorisch und finanziell unterstützt. Die DVGW-Hochschulgruppe ist eine ideale Plattform für den Aufbau beruflicher Netzwerke und den Gedankenaustausch mit erfahrenen Vereinsmitgliedern aus der Energie-, Gas- und Wasserbranche. In Stammtischrunden geben ehemalige Studenten des Gasfachs einen Einblick in ihre Berufswelt. Die Mitglieder haben Zugang zu exklusiven Fachinformationen und dem gesamten DVGW-Netzwerk. Höhepunkt ist jedes Jahr der Besuch der Gasfachlichen Aussprachetagung (gat). Die gat ist das größte und wichtigste gasfachliche Branchentreffen in Deutschland und bildet einmal im Jahr das zentrale Diskussionsforum für die Fach- und Führungskräfte der Gaswirtschaft. Branchenvertreter nutzen die gat, um sich über neueste technologische Entwicklungen und die jüngsten energiepolitischen Zielvorgaben zu informieren. Im Rahmen der DVGW-Nachwuchsförderung prämiert der DVGW jedes Jahr mehrere Abschlussarbeiten, die einen Bezug zur Energie-/Wasserwirtschaft aufweisen, und zeichnet die Studenten so für besondere Leistungen aus. Fünfmal ging der „Studienpreis Gas“ bereits nach Freiberg, so auch im letzten Jahr an den Freiburger Studenten Thaddäus Weniger für seine



Studienpreisträger Thaddäus Weniger und Prof. Krause von der Professur für Gas- und Wärmetechnische Anlagen bei der Preisübergabe auf der gat 2018 in Berlin

Arbeit über die netzdienliche Regelung von Blockheizkraftwerken.

Für den Bereich der Gasversorgung, Tief- und Bergbau, wirtschaftlicher Netzbetrieb und Ressourcenmanagement wurde ein Kooperationsvertrag zwischen der TU Bergakademie Freiberg und dem Fernleitungsnetzbetreiber GASCADE geschlossen. GASCADE realisiert mit dem Bau der Europäischen Gas-Anbindungsleitung (EUGAL), die in unmittelbarer Nähe an Freiberg vorbeiführt, ein bedeutendes Projekt für die europäische Gasversorgung. Mehrere Exkursionen führen Freiburger Studenten an die allein schon durch ihre Größenordnung beeindruckenden Baustellen.

Nicht zuletzt engagieren sich ehemalige Studierende und Partnerfirmen im Förderkreis Gastechnik unter dem Dach des Vereins der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. für den gasfachlichen Nachwuchs aus Freiberg. Allen Förderern und Kooperationspartnern an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön!

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause
Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen
Lampadiusbau, Gustav-Zeuner-Straße 7,
09599 Freiberg



Besichtigung der EUGAL-Baustelle an der Elbe mit Studenten der TU Bergakademie (im Hintergrund das Gasrohr für den Düker)

Veranschaulichung komplexer Lehrinhalte durch Modellversuche

Matthias Kröger¹

Für viele Studierende sind Zusammenhänge leichter zu erfassen, wenn diese veranschaulicht werden. Je nach Komplexität der Lehrinhalte sind hierfür Bilder, technische Zeichnungen, reale Bauteile, Schnitt- oder Funktionsmodelle, z.B. Getriebemodelle, hervorragend geeignet. Allerdings bleiben bestimmte zentrale Inhalte der Konstruktionslehre trotz dieser Modelle vielen Studenten verschlossen. Hierzu zählen z.B. die Umlaufbiegung von Wellen, die Presspassung zwischen Welle und Nabe und deren thermisches Fügen, die Kerbwirkung von Absätzen und Nuten sowie alle Kontaktfragestellungen. Für diese Lehrinhalte konnten dank Mitteln des Hochschulpakts Modellversuche beschafft bzw. selbst entwickelt werden.

Ein einprägsamer Versuch ermöglicht das Aufbringen einer vertikalen Kraft auf das Ende einer fliegend gelagerten Welle. In der Mechanik würde von Kragbalken gesprochen werden. Statisch unkritische Kräfte führen allerdings beim Drehen der Welle zur Umlaufbiegung und zu wechselnden Spannungen oberhalb des Bereichs der Dauerfestigkeit, was durch das Abbrechen der Welle an einem Absatz den Studierenden binnen weniger Minuten eindrucksvoll demonstriert werden kann.

Auch Presspassungen sind in punkto Anschaulichkeit für Studierende schwer zugänglich, da das Übermaß solcher Passungen im Mikrometerbereich liegt und damit schwer vorstellbar zu großen Normalkräften führt. Auch die Dehnung durch die Erwärmung von Naben oder Lagern für das thermische Fügen ist nicht unmittelbar wahrnehmbar, da auch Wärmedehnungen Durchmesseränderungen nur im Mikrometerbereich verursachen. Daher ist es hilfreich, den Studierenden vorzuführen, wie schwer mit einem Montagewerkzeug ein fester Sitz eines

Lagers zu montieren ist und wie dies nach Erwärmung mit einer Induktionsheizung leicht und kraftfrei erfolgen kann.

Kerben in Bauteilen führen zu Spannungsspitzen und sind in den meisten Fällen die Ausgangspunkte von Ermüdungsrissen. Daher ist die Gestaltung von Kerben für die Auslegung zyklisch beanspruchter Bauteile wie Wellen von zentraler Bedeutung. Visuell lassen sich die Spannungsüberhöhungen an den Kerben sehr gut durch eine Spannungsoptik mit polarisiertem Licht verdeutlichen. Hierfür ist besonders die Belastung durch eine Vierpunktbiegung mit einem konstanten Biegemoment im mittleren Bereich geeignet.

Bei vielen Maschinenelementen sind Kontakte ausschlaggebend für deren Funktion. Dies gilt z. B. für Wälz- und Gleitlager, Dichtungen und Reifen, aber auch für Schraubenverbindungen, Presspassungen und Reibungskupplungen. Für Dichtungen und Reifen ist es bereits gelungen, eine Visualisierung der Kontaktfläche durch transparente Gegenbauteile zu erreichen. Durch geschickte Beleuchtung leuchtet die wahre Kontaktfläche bei Berührung mit dem Gegenkörper hell auf. Ist die Kontaktfläche sehr klein, wie etwa bei den Dichtlippen eines Radialwellendichtrings, kann die Kontaktfläche durch ein Digitalmikroskop beobachtet und vermessen und dies über einen Beamer visualisiert werden.

Ein Projekt des Hochschulpakts hat es ermöglicht, für die Grundlagenvorlesungen „Konstruktionslehre“ sowie „Maschinen- und Apparatelemente“ Versuchsgeräte zu beschaffen. Insbesondere die Anschaffung eines Umlaufbiege-Demonstrationsversuchs, von Montagewerkzeug und insbesondere einer Induktionsheizung für Lager, ferner ein Vierpunktbiege-Demonstrationsversuch mit Spannungsoptik sowie ein Digitalmikroskop ermöglichen nun Modellversuche zur Veranschaulichung der komplexesten und zugleich auch wichtigsten Lehrinhalte. Aufbauend auf den genannten Versuchsgeräten sind bereits erste Modellversuche entwickelt worden und fließen zur Verbesserung der Lehre in die entsprechenden Vorlesungen ein.

¹ Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung, Professur für Maschinenelemente

Mixed-Reality-Technologien unterstützen Aus- und Weiterbildung

Taras Shepel, Carsten Drebenstedt, Bernhard Jung, Daniel Eger-Passos

Moderne digitale Technologien, die mit Handys, Smartphones, Tablets, Laptops, VR-Brillen usw. realisierbar sind, werden von Jahr zu Jahr erschwinglicher und gehören für viele Menschen schon zum Alltag. Jüngere Generationen lernen diese Technologien von klein auf kennen. In den meisten Fällen wird die erste Bekanntschaft mit virtueller Realität (VR) oder erweiterter Realität (AR = *augmented reality*) durch von der Spieleindustrie angebotene Produkte gemacht. Deswegen sind VR- und AR-Technologien oft nur mit Spaß und Unterhaltung assoziiert. In der Tat sind die eigentlichen Einsatzmöglichkeiten für diese Technologien aber viel breiter und deren volles Potenzial wird derzeit kaum ausgeschöpft.

Seit 2018 arbeiten im Rahmen des EIT RawMaterials-Projekts führende

europäische Universitäten zusammen mit Partnern aus Industrie, Forschung und Wirtschaft am Projekt MiReBooks. Der Hauptfokus liegt auf der Implementierung von Mixed Reality (MR)-Technologien in die Ausbildung, speziell im Rohstoffsektor. Mixed Reality umfasst in diesem Kontext sowohl VR- als auch AR-Technologien. Das Projektkonsortium vereint acht Universitätspartner (TU Bergakademie Freiberg, Montanuniversität Leoben, RWTH Aachen, TU Luleå, TU Tallinn, TU Graz, Universität Trient und Universität New South Wales) sowie sechs weitere Partner (Epiroc Rock Drills AB, KGHM Cuprum Ltd., LTU Business AB, Luossavaara-Kiirunavaara AB, Technical Research Centre of Finland Ltd. und Voest Alpine Erzberg). Im Ergebnis

des Projekts sollen MR-Lehrbücher für die Bergbauausbildung auf Graduiertenebene erstellt und als neuer Lehr- und Lernstandard eingeführt werden. Dafür müssen bestehende Lehrinhalte im Hinblick auf die Anwendung von MR-Technologien entsprechend angepasst werden. Im Projekt ist vorgesehen, traditionelle Lehrmittel, wie z. B. Bilder/Fotos, Schemata oder physische Modelle mit virtuellen 3D-Modellen, Animationen und 360°-Videos zu ergänzen bzw. zu ersetzen.

Die Herausforderung besteht dabei im Transfer von klassischen Lehrmethoden in die neuen Formate. Dafür sind die folgenden Fragen zu beantworten:

- Welcher 2D-Content sollte durch 3D-Content ersetzt werden, um das Verständ-



Interaktion 3D-Modelle in VR und am Simulator (Hintergrund)

nis von Prozessen (hier im Bergbau) zu erleichtern und dadurch die Lernziele am effektivsten zu erreichen?

- Welche VR- oder AR-Technologien, Apps und andere Hardware sind am besten für die jeweiligen Einsatzzwecke geeignet?
- Wie kann das Wissen mithilfe der MR-Technologien am effektivsten übermittelt werden (Akzeptanz bei Lernenden, didaktische Effektivität)?
- Wie sind die MR-Technologien seitens der Lehrenden effektiv in die Wissensvermittlung zu integrieren (Akzeptanz bei Hochschulen)?

Um diese Fragen zu beantworten, wird im Rahmen des MiReBooks-Projekts an acht Teilprojekten gearbeitet, in denen die entsprechenden Inhalte und MR-Technologien entwickelt und evaluiert, die technische Basis für deren Funktion gesichert sowie die didaktischen Aspekte der neuen Lehr-/Lernkonzepte analysiert und integriert werden. Gleichzeitig wird passende Software zur Implementierung der Ergebnisse entwickelt.

Als erster Schritt wurde 2018 begonnen, Testvorlesungen unter Verwendung von MR-Technologien an den Partnerhochschulen zu entwickeln, zu erstellen und zu testen. Die TU Bergakademie Freiberg bereitete eine Testvorlesung über kontinuierliche Gewinnungstechnologien im Tagebau vor. Zu Beginn wurde ein Drehbuch (*story book*) erarbeitet, in dem die Inhalte, Lernziele, Zeitanteile und verwendeten Technologien der Wissensvermittlung strukturiert wurden.

Für die 360°-Videos wurden Dreharbeiten im Tagebau Nochten organisiert. Dort wurden verschiedene Arbeitsschritte bei der Abraumgewinnung mit einem Schaufelradbagger, Förderbändern und einem Absetzer mit 360°-Kameras aus der Perspektive des Baggerleitstandes und von Außenpositionen zeitsynchronisiert



Testvorlesung „Schaufelradbagger“: Aufnahmen mit der 360°-Kamera im Tagebau Nochten



Testvorlesung „Sprengtechnik im Tagebau“: Einsatz von VR-Brillen für das Kennenlernen der Technologieschritte in AR

gefilmt. Die erhaltenen 360°-Videos wurden in die Testvorlesung eingebettet und über VR-Brillen abgespielt; auch konnte zeitsynchron zwischen den Aufnahmeperspektiven gewechselt werden (später kommt auch eine Drohne für Luftaufnahmen hinzu). Nach jeder Testvorlesung füllten die Vorlesungsteilnehmer Fragebögen zu ihren Eindrücken aus. Darüber hinaus wurden nach jeder Vorlesung die verwendeten MR-Technologien und deren Wert für die Wissensübertragung mit den Teilnehmern im Rahmen einer Diskussion analysiert.

Die Kollegen von der Montanuniversität Leoben, der TU Luleå und der TU Tallinn erarbeiteten ebenfalls Testvorlesungen zu den Themen Mobile Tagebautechnik, Sprengtechnik im Tagebau und Mobile Technik unter Tage. Das Ziel der



Testvorlesung zur mobilen Technik unter Tage: An den Bildschirmen im Vordergrund können die Studenten den VR-Animationen folgen und diese später selbst erkunden

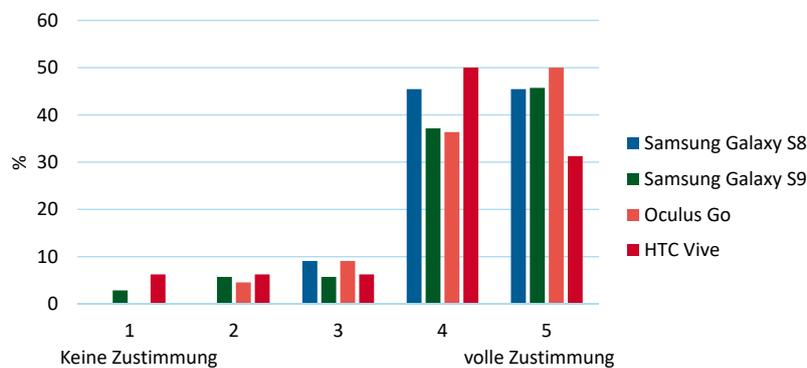
Testvorlesungen war es, verschiedene VR- und AR-Technologien und Ansätze der Wissensvermittlung zu testen und deren Akzeptanz bei Lernenden und Lehrenden zu evaluieren.

Die Diagramme geben ausgewählte Ergebnisse der Umfrage bei den an den Testvorlesungen teilnehmenden Studenten wieder. Dabei besteht große Zustimmung, dass die digitalen Technologien einfach zu nutzen sind und das Lernen unterstützen. Die meisten Teilnehmer würden die Technologie häufiger nutzen. Einige Teilnehmer verspürten bei der Nutzung ein Unwohlsein. Leichte Unterschiede gibt es bei den verwendeten Geräten und den Vorlesungsinhalten, die weiter untersucht werden.

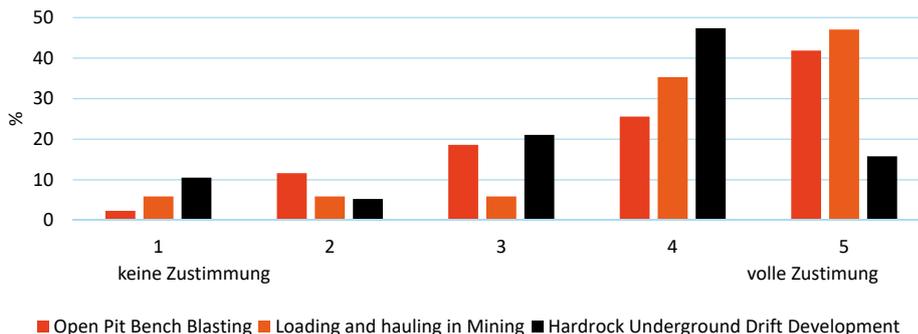
Diese ersten Ergebnisse zeigten, dass sowohl Lernende als auch Lehrende die Implementierung der MR-Technologien in die Bergbauausbildung sehr positiv einschätzen. Mithilfe von AR-Technologien, die in diesem Fall auf Smartphones oder Tablets laufen, werden Konstruktion, Arbeitsprinzip und Einsatzmöglichkeiten von z. B. Gewinnungs- und Transportgeräten durch entsprechende 3D-Modelle viel deutlicher als durch 2D-Bilder dargestellt. Technologien wie die durch VR-Brillen realisierten ermöglichen es, gefilmte bzw. modellierte Objekte aus erster Hand direkt zu erfahren. Moderne VR-Brillen mit Controllern bieten zahlreiche Interaktionsmöglichkeiten an. Lernende können mit den modellierten Objekten interagieren – z. B. die Objekte bewegen, rund um die Objekte laufen, Informationsschilder aufrufen usw. Es ist jedoch noch nicht klar, wie ein Dozent mehrere Studenten während einer Vorlesung mit VR-Technologien in VR betreuen soll, um Lernziele am effektivsten zu erreichen. Zu viel Freiheit in der VR kann Studenten von den eigentlichen Lernobjekten ablenken, eine zu begrenzte VR beschränkt jedoch ein vollständiges VR-„Eintauchen“. Darüber hinaus können verschiedene Studenten das VR-Eintauchen unterschiedlich empfinden; deswegen muss die Dauer des VR-Erlebnisses entsprechend angepasst und über die Zeit einer Vorlesung verteilt werden.

Im Fokus der MR-Handbücher liegt die AR, die mithilfe von Smartphones und Tablets erlebt werden kann. Ein MR-Handbuch ist als E-Book sowie als Ausdruck möglich. Im ersteren Fall können entsprechende 3D-Modelle oder multimediale Inhalte (Fotos, Videos, Animationen, usw.) mithilfe eines Smartphones oder Tablets aufgerufen werden (z. B. durch Scannen eines QR-Codes).

Die neuen Standards der Wissensvermittlung haben die Verbesserung des Lernerfolgs zum Ziel. Die traditionellen Elemente, wie Vorlesung/Seminar/Übung (hören, fragen, selbst formulieren), Texte



Bewertung der eingesetzten Technologien („Das System war einfach zu nutzen“)



Bewertung des Lerneffekts („Durch die AV/VR-Technologie habe ich den Inhalt besser verstanden“)



Über einen QR-Code lassen sich 3D-Darstellungen von Geräten aus beliebigen Positionen über ein Handy betrachten

in Büchern/Zeitschriften/Skripten (lesen), technische Zeichnungen (analysieren), Laborarbeiten/Modellversuche (eigene Erfahrung), Praktikum (komplexe Zusammenhänge verstehen, fühlen, Kommunikation) werden damit effektiv ergänzt.

Wie aus den dargestellten Ansätzen ersichtlich, werden mit dem MiReBooks-Projekt neue Wege beschritten. Viele neue und innovative Aufgaben stehen vor den Projektpartnern. In erster Linie betrifft dies didaktische und technologische Aspekte sowie die Akzeptanz neuer Technologien bei Lernenden und Lehrenden. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass die Hochschulen die nötige Infrastruktur (Verarbeitung großer Datenmengen/

Rechenleistung, stabile Netzverfügbarkeit, Plattformen ...) zur Anwendung der Technologien bereitstellen sowie Schulungen und didaktische Unterstützung anbieten. Von den Hochschullehrern ist Offenheit für die Nutzung solcher Technologien und zur Adaption der Inhalte für ihr jeweiliges Fach erforderlich. Die Erkenntnisse des MiReBooks-Projekts lassen sich auf andere Fachgebiete übertragen.

Angesichts der nicht unerheblichen technischen Voraussetzungen bei kurzer Halbwertszeit dieser Technik, des hohen Zeitaufwands und der Voraussetzung spezieller Kenntnisse zur Erstellung von Videos und Animationen, des Vorhaltens der Infrastruktur und der didaktischen Begleitung sollte über die Bündelung der Kompetenzen an der TU Bergakademie Freiberg in einem speziellen Zentrum für digitale Lehr- und Lernumgebung sowie für die Forschung nachgedacht werden. Erste Schritte wurden mit der Findung eines Interessenskreises „Digitalisierung“ bereits gegangen.



Tag der Lehre an der TU Bergakademie Freiberg Silvia Rogler

Im heutigen Wissenschaftssystem spielt Forschung eine herausragende Rolle, so dass leicht in den Hintergrund tritt, wie wichtig gute Lehre ist. Als Wissenschaftler ist es unsere Aufgabe, den Studierenden nicht nur Fachinhalte zu vermitteln, sondern es muss auch unser Ziel sein, in Einheit von Forschung und Lehre Lernenden zu helfen, sich zu gebildeten, aufgeklärten und wissbegierigen Menschen zu entwickeln. Wer sonst soll die Probleme der Zukunft lösen? Um auch der Lehre das passende Podium zu geben, wird es jährlich einen Tag der Lehre an der TU Bergakademie Freiberg geben. 2019 im April stand dieser unter dem Motto „Motiviert zum Studienerfolg“.

Den Einführungsvortrag hielt Prof. Dr. Lech Józwiak, Associate Professor in der Forschungsgruppe „Electronic Systems“ der Fakultät für Elektrotechnik der TU Eindhoven, über sein Modell der „Design Oriented Education“. Bei diesem speziellen Ansatz des „problemorientierten Lernens“ erarbeiten Studierende in den ersten Semestern in Kleingruppen bereits technische Konzepte. Designorientierte Bildung, wie sie an der TU Eindhoven von Prof. Dr. Józwiak und seinem Team seit 1997 entwickelt wurde, ist ergänzend zur klassischen Wissensvermittlung in den einzelnen Disziplinen auf die frühzeitige systematische Entwicklung von typischen beruflichen Denkweisen, kommunikativen Kompetenzen, Führungskompetenzen und Teamfähigkeit ausgerichtet.

Mit drei Workshops wurde ein Diskurs zu verschiedenen zeitgemäßen didaktischen Formen der Vermittlung zwischen Lehrenden und Lernenden eröffnet. Hierbei waren Prof. Dr. Jutta Stumpf-Wollersheim von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften („Flipped Classroom“), Prof. Dr. Gero Frisch von der Fakultät für Chemie und Physik („Problemorientiertes Lernen“) sowie Prof. Dr. Thomas Wotte und Prof. Dr. Gerhard Heide von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau („Sprache der Objekte“) federführend.

Flipped Classroom ermöglicht Lehr-Lern-Szenarien, bei denen der eigentliche Wissenserwerb in ein Selbststudium vorverlagert und die Präsenzzeit in der Universität zur Vertiefung, Anwendung und Diskussion der Lehrinhalte verwendet wird. Damit bietet es den Studierenden mehr zeitliche Flexibilität bei der Stoffaneignung sowie bessere Möglichkeiten der



Die Preisträger des Weisbach-Preises 2019: Dr. Manuel Stapf, Anne Haufe und Prof. Dr. Rüdiger Schwarze (v.l.)

Interaktion mit anderen Studierenden und Lehrenden und steigert somit grundsätzlich die Motivation der Studierenden. Das Konzept stellt aber hohe Anforderungen an die Studierenden und an die Lehrenden. Die Studierenden müssen die Vorbereitungsphase ernst nehmen und sich den Stoff tatsächlich erarbeiten. Die Lehrenden müssen nicht nur E-Learning-Instrumente für das Selbststudium entwickeln, sondern auch interessante Anwendungen für die Präsenzveranstaltung vorbereiten.

Ausgangspunkt des **Problemorientierten Lernens** ist eine möglichst realistische und komplexe Problemstellung aus der Berufspraxis, die arbeitsteilig angegangen werden muss. Die Studierenden sollen dadurch transferfähiges Wissen sowie fachspezifische Lern- und Denkstrategien erwerben. Das notwendige Wissen wird hier während des Problemfindungsprozesses erworben, wobei die Studierenden selbst abzuleiten haben, welches Hintergrundwissen sie sich aneignen müssen. Die klassische Abfolge, Fachwissen zunächst ohne konkreten Kontext zu erlernen und erst später anzuwenden, wird aufgebrochen. Das Selbststudium erhält eine konkrete Motivation und einen Kontext, der zum Denken in Zusammenhängen anregt. Diese Lernmethode stellt an die Studierenden große Herausforderungen hinsichtlich der Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit, der Präsentation von Ergebnissen, der kritischen Betrachtung von Literatur oder der Selbstdisziplin. Auch der Lehrende muss zunächst mit höherem Aufwand rechnen. Die Umsetzung bzw. die Schritte zur Lösung der komplexen Aufgabe werden von ihm mit unterschiedlichen Formaten, wie Gruppenpuzzle oder Planspielen, koordiniert.

Lernen am Objekt ermöglicht es den Studierenden, theoretische Erkenntnisse in der Realität erfahrbar und nachvollziehbar zu machen. In den Geowissenschaften wird dieser Ansatz in Übungen und Feldexkursionen verfolgt, er eignet sich aber auch für andere Wissensbereiche. Die Studierenden sollen lernen, Informationen zu interpretieren und in ihren natürlichen Kontext in Raum und Zeit zu bringen. Dieses „Lesen“ von Informationen bspw. aus geologischen, mineralogischen und paläontologischen Fundstücken ist die grundlegende Voraussetzung eines erfolgreichen Geowissenschaftlers und bedarf eines intensiven Trainings und Studiums. Für die Vermittlung dieser Fähigkeiten stehen unter anderem Gesteins-, Erz-, Fossil-, Mineral- und Kristallsammlungen zur Verfügung, die eigens für Lehr- und Ausbildungszwecke konzipiert wurden.

Anlässlich des Tages der Lehre verlieh zudem Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht zusammen mit dem Geschäftsführer des Vereins Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar, die Weisbach-Preise 2019 für besondere Leistungen in der Lehre. Sie erinnern an einen der herausragenden bergakademischen Dozenten: Julius Weisbach (1806–1871), Professor für Angewandte Mathematik, Bergmaschinenlehre und Allgemeine Markscheidkunde. Ausgezeichnet wurden Prof. Dr. Rüdiger Schwarze (Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen und Studiendekan der Studiengänge Computational Science and Engineering und Energietechnik), Anne Haufe (Professur für Internationales Management und Unternehmensstrategie) und Dr. Manuel Stapf (Institut für Organische Chemie).



© Sven Jachnik

Vorkurs Physik 2018 im Audimax der Bergakademie. (Kursleiter: Mateo de Vivanco. In der ersten Reihe sitzen Claudia Funke sowie die Tutoren des Vorkurses.)

Den eigenen Lehrerfolg quantifizieren – am Beispiel einer didaktischen Umstellung in der Physik

Mateo de Vivanco¹, Timon Umlauf², Thomas Hanauer², Claudia Funke¹ und Dirk C. Meyer¹

Die Experimentelle Physik modernisiert ihre Lehre

Seit Januar 2017 – bis voraussichtlich Dezember 2019 – läuft am Institut für Experimentelle Physik der TU Bergakademie Freiberg das durch den Europäischen Sozialfonds geförderte Projekt „Ausgleich unterschiedlicher fachlicher und nicht-fachlicher Qualifikationen in der Studieneingangsphase“ (Antragsnummer 100298803). Das Projekt knüpft an das vom BMBF geförderte Vorhaben „MESIOR – Maßnahmen für erfolgreiches Studieren an einer international orientierten Ressourcenuniversität“ (FKZ: 01PL11092) an. Es sieht die Implementierung didaktischer Maßnahmen vor, um die Zahl der Studienabbrecher im ersten Studienjahr wegen Nichtbestehens in den naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern zu reduzieren.

- 1 Dr. rer. nat. Mateo de Vivanco, Dr. rer. nat. Claudia Funke, Prof. Dr. rer. nat. Dirk C. Meyer, Institut für Experimentelle Physik, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg, mateo.devivanco@physik.tu-freiberg.de, claudia.funke@physik.tu-freiberg.de, dirk-carl.meyer@physik.tu-freiberg.de
- 2 Dipl.-Berufspäd. Timon Umlauf, M. Sc. Thomas Hanauer, Graduierten- und Forschungsakademie, Prüferstraße 2, 09599 Freiberg, Timon.Umlauf@grafa.tu-freiberg.de, Thomas.Hanauer@grafa.tu-freiberg.de

In diesem Rahmen wurde das Lehrangebot der Übungen „Physik für Naturwissenschaftler I/II“ deutlich erweitert. Zudem wurde in Zusammenarbeit mit den Kollegen der Hochschuldidaktik das Klausurplanungs- und Klausurevaluationstool „Klausurfix“ weiterentwickelt, mit dem die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Klausurerfolg genauer quantifiziert werden können.

Als erste Maßnahme wurde ein Vorkurs Physik etabliert, der in den Einführungswochen vor Semesterbeginn stattfindet. Dieser Kurs fängt Defizite auf, die Studienanfänger im Bereich der Physik mitbringen. Der Vorkurs erfreute sich gleich beim ersten Durchlauf eines großen Zuspruchs von ca. 200 Studenten aus naturwissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Studiengängen, so dass er im zweiten Durchlauf dem Wunsch der Studenten folgend auf zwei Tage erweitert wurde. Außerdem wurden die Vorträge aufgezeichnet, so dass sie in künftigen Durchläufen mittels didaktischer Software-Tools wie H5P Teil eines gemischten Onlineangebots mit Videos, Aufgaben, Fragen und Folien werden können.

Semesterbegleitend wurden sowohl

ein Tutorium zur Wiederholung der fachlichen Inhalte als auch eine Zusatzübung mit anspruchsvolleren Aufgaben auf freiwilliger Basis angeboten, um an beiden Enden des Kompetenzspektrums leistungsdifferenziert zu fördern. Es wurde ein Hausaufgabensystem (Onlinekurs) implementiert, das Erklärungen und Beispiele bietet, wichtigste Formeln auflistet und auf bestimmte Literaturstellen hinweist, so dass sich die Studenten im Vorfeld auf die Übung vorbereiten können. Das Hausaufgabensystem, zunächst nur für die Physik I geplant, wurde derart gut von der Zielgruppe angenommen, dass es auf die Physik II erweitert wurde. Die 23 Kapitel umfassenden Inhalte wurden über Antestate vor jeder Übung in das System eingebunden. Über die Testate konnten Zusatzpunkte für die Klausur gesammelt werden, was zur Nutzung des Onlineangebots motivierte.

Darüber hinaus wurden zur Wiederholung des Stoffs mehr aktivierende Methoden in den Übungsablauf implementiert, z. B. elektronische Abstimmungen mittels „Kahoot“ (<https://kahoot.com>). Die kontinuierliche didaktische Weiterbildung des Lehrpersonals spielte dabei eine große Rolle.

Quantifizierungsinstrument und aktive Teilnahme

Um den Lehrerfolg unter dem Einfluss der geschilderten Maßnahmen erkennen zu können, musste ein Instrument zur Quantifizierung der Prüfungsschwierigkeit sowie der Aktivität der Studenten entwickelt werden. Es entstand ein Konzept sowie eine Auswertungsvorlage, die es ermöglichten, Klausuren hinsichtlich ihres Schwierigkeitsgrades zu bewerten, um deren Vergleichbarkeit über die Jahre zu gewährleisten. Die Schwierigkeitsskala reicht von eins bis fünf: Die Eins steht für Aufgaben, die in der Übung in identischer Form bereits gerechnet wurden und somit am einfachsten sind. Die Zwei entspricht ähnlichen Aufgaben mit veränderten Zahlenwerten. Bei der Drei wird die Aufgabenstellung umgedreht, so dass gewöhnlich als Ausgangsgrößen vorgegebene Werte hier ermittelt werden müssen. Die Vier macht es notwendig, benötigte Ausgangsgrößen selbst zu bestimmen und herzuleiten. Bei Aufgaben der Schwierigkeitsstufe Fünf müssen bekannte Lösungsmuster auf völlig neue Kontexte übertragen werden, was kognitiv am anspruchsvollsten ist.

Anschließend wurden die Studenten in zwei Gruppen unterteilt: Diejenigen, die regelmäßig (> 75%) die Übung besuchten und Testate schrieben, sind aktive Teilnehmer (A) der Maßnahme. Andernfalls sind sie nichtaktive Teilnehmer (N) – weil sie die Übung nur selten oder gar nicht besuchten. Somit gab es eine Gruppe (A), die sich der Maßnahme unterzog, und eine Gruppe (N), die durch die Maßnahme nicht erreicht werden konnte. Letztere stellt nur eine Kontrollgruppe dar, denn der Dozent kann sich in punkto Lehrerfolg nur auf solche Studenten beziehen, die seine Lernangebote aktiv angenommen haben.

Veranschaulichung des Lehrerfolgs

Der Unterschied zwischen A und N zeigte sich sowohl in der Bestehensquote bei der Klausur als auch in der erreichten Punktzahl (Abb. 1).

Bei der Physik I erzielte A eine Erfolgsquote von $75/100 = 75\%$, dem steht N mit $10/25 = 40\%$ gegenüber. Darüber hinaus erzielten die Teilnehmer der A-Gruppe Klausurnoten, die im Durchschnitt um 1,0 über denen von N lagen. Zum Vergleich: 3,2 (A) vs. 4,2 (N). Dieser Notenunterschied entspricht 7,5 Klausurpunkten mehr für jeden aktiven Teilnehmer. Zum Vergleich: für die Testate wurden maximal zwei Zusatzpunkte vergeben. Die Differenz kann entweder dem positiven Effekt

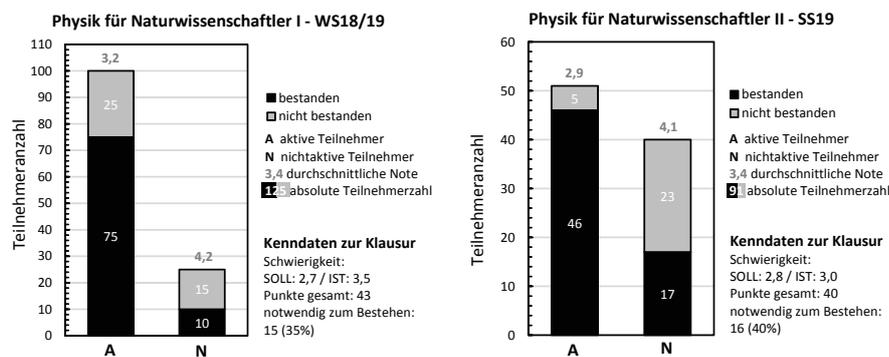


Abb. 1: Klausurerfolg, differenziert nach Testateilnahme

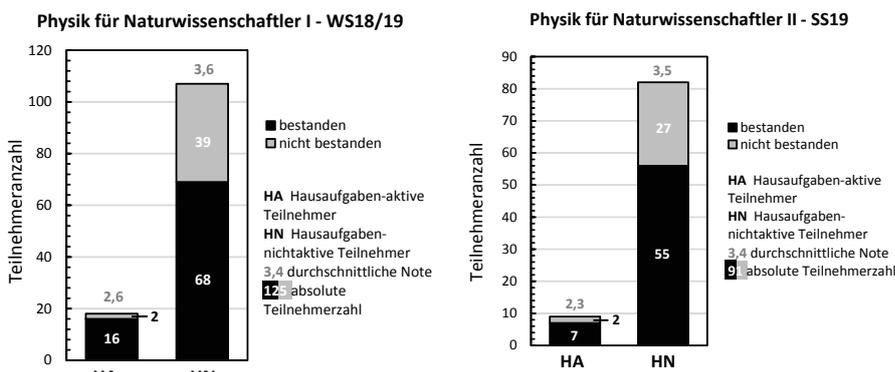


Abb. 2: Klausurerfolg, differenziert nach Nutzung des Onlinekurses

des kontinuierlichen Lernens oder, was nicht ausgeschlossen werden kann, den evtl. höheren Leistungsvoraussetzungen einzelner Studentengruppen zugeschrieben werden.

Ähnlich verhielt es sich bei der Physik II (Bestehensquote, Note: A $46/51 = 90\%$, 2,9; N $17/40 = 43\%$, 4,1). Die geringere Teilnehmerzahl ist der Tatsache geschuldet, dass die Physik II für manchen Studiengang ein Wahlpflichtfach ist.

Für die Testateilnahme mussten die Studenten nicht zwangsläufig das Hausaufgaben-system nutzen. Eine aktive Nutzung (> 80% aller Einheiten) konnte im Wintersemester 2018/19 (Physik I) lediglich bei 18 Personen (HA = Hausaufgaben-aktive Teilnehmer, Abb. 2) festgestellt werden. Für diese Gruppe hat sich die aktive Hausaufgaben-nutzung aber eindeutig gelohnt: $16/18 = 89\%$ Erfolgsquote gegenüber $68/107 = 64\%$ bei Hausaufgaben-nichtaktiven (HN) Teilnehmern. Auch hier verbesserten sich die Noten deutlich [vgl. 2,6 (HA) mit 3,6 (HN)].

Im Sommersemester 2019 zeigte sich dieselbe Tendenz, wenn auch nicht so ausgeprägt. Auffällig ist ebenso die Halbierung der HA-Zahl. Aber damit liegen erste

empirische Belege vor, die verdeutlichen, dass die aktive Nutzung der bereitgestellten Onlineangebote zu einer signifikanten Verbesserung der Klausurbestehensquote und der Klausurnote selber führen.

Resümee

Der didaktische Mehraufwand für die Erstellung, Nutzung und Pflege des bereitgestellten Onlinekurses hat sich in Form höherer Klausurbestehensquoten und deutlich verbesserter Klausurnoten der kursaktiven Studenten niedergeschlagen. Das rechtfertigt die dafür im Vorfeld eingesetzten Arbeitszeitressourcen. Darüber hinaus verlassen mehr Studenten das Grundlagenmodul Physik zufriedener, wie die zu Semesterende durchgeführte Evaluation bestätigte. Damit die so erzielte Lehrqualität weiter gehalten werden kann, wird neben dem erwähnten Onlinekurs weiterhin das an der TU Bergakademie Freiberg entwickelte Klausurplanungs- und -evaluationstool „Klausurfix“ eingesetzt. Das Tool mit zugehöriger Anleitung kann Interessenten durch die Graduierten- und Forschungsakademie kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Vorlesung Historische Strömungsmaschinen

Rüdiger Schwarze¹

Seit dem 6. Juli 2019 gehört die Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří zum UNESCO-Welterbe, da sie ein „Meisterwerk menschlicher Kreativität und technologischer Exzellenz“ darstellt, um einen Vertreter des Welterbekomitees zu zitieren. Zu den herausragenden kreativen Leistungen und wegweisenden technologischen Neuerungen zählen u. a. diverse durch Wasserkraft angetriebene Maschinen, die im Berg- und Hüttenwesen des Erzgebirges genutzt wurden. Beispielsweise dokumentierte Georgius Agricola im 16. Jahrhundert das durch Wasserkraft angetriebene Ehrenfriedersdorfer Kunstzeug – eine Maschine, mit der weltweit über Jahrhunderte hinweg Grubenwasser aus Bergwerken gepumpt wurde. Im 18. und 19. Jahrhundert gaben Mende, Brendel und Schwamkrug – allesamt Absolventen der Bergakademie – mit der Weiterentwicklung der Wassersäulenmaschine und der Erfindung der Schwamkrug-Turbine wesentliche Impulse für den Übergang von der antiken Hydraulik zu modernen Methoden der Nutzung von Wasserkraft.

In der Vorlesung Historische Strömungsmaschinen werden diese Entwicklungen, die ihnen zugrundeliegende Motivation und ihre Voraussetzungen sowie die noch heute erkennbaren Nachwirkungen auf moderne Technologien erläutert. In den einzelnen Kapiteln werden unter anderem die bei Agricola dokumentierten Strömungsmaschinen – das Freiburger Wasserwirtschaftssystem, die Wassersäulenmaschinen und Wasserturbinen, aber auch die durch Wasserkraft angetriebenen Fördermaschinen und Hüttengebläse – vorgestellt. Die Studierenden erfahren, welche Beschleunigung die technologische Entwicklung der im Berg- und Hüttenwesen eingesetzten Strömungsmaschinen durch die Gründung der Bergakademie erfahren hat. In diesem Zusammenhang werden bedeutende Absolventen der Bergakademie vorgestellt, die diese Entwicklungen maßgeblich beeinflusst haben. Begleitend zur Vorlesung besuchen und besichtigen die Studierenden verschiedene

¹ Prof. Rüdiger Schwarze, Institut für Mechanik und Fluidodynamik



Vorlesung Historische Strömungsmaschinen im Wintersemester 2018/2019, Screenshot aus der Vorlesungsaufzeichnung im Online-Portal OPAL

(R. Schwarze, 12.07.2019)

relevante Sammlungen der Bergakademie und andere historische Stätten des Freiburger Bergbaus, um die noch heute sichtbaren Spuren der Strömungsmaschinen von einst kennen zu lernen.

Die Vorlesung Historische Strömungsmaschinen wurde erstmalig im Wintersemester 2014/15 im Rahmen des Studium Generale angeboten. Damals absolvierten sieben von zunächst zehn Hörern die abschließende Prüfung. Zwischenzeitlich ist die Vorlesung auch als Wahlpflichtmodul im Studiengang Industriearchäologie und als freies Wahlmodul im Studiengang Maschinenbau verankert. Bei den Studierenden ist sie offensichtlich sehr beliebt; an der Prüfung und der Wiederholungsprüfung des Wintersemesters 2018/19 haben insgesamt über 80 Studierende und Gäste teilgenommen.

Bedanken möchte sich der Autor an dieser Stelle beim Kustos Dr. Benz, bei Dr. Pohl und Dr. Chaves für die vielfältige Unterstützung bei der Durchführung von Sammlungsbesichtigungen sowie bei Herrn Reuter, dem Leiter des Grubenbetriebs Reiche Zeche, für die Unterstützung bei den Objektbesichtigungen auf der Alten Elisabeth.

Universität zum Kennenlernen – Die Gewinnung von Studierenden beginnt in der Schule

Silvia Rogler

Die TU Bergakademie Freiberg bietet viele Möglichkeiten für Schülerinnen und Schüler, um eigene Wünsche, Fähigkeiten, Neigungen und Interessen auszutesten – ob nun allein, mit der Klasse oder mit dem Kurs. Hinzu kommen spezielle Angebote für Abiturienten und Lehrer.

Kooperationen mit Schulen

Vorträge an und für Schulen bieten die Möglichkeit, ausgewählte Fachgebiete kennenzulernen. Über die Forschungsbörse des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (<https://forschungsboerse.de>), können die Schulen kostenfrei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler direkt in den Unterricht einladen. Auch Forscher von uns sind dort registriert. Darüber können Lehrer Kontakt aufnehmen und Termine für Vorträge direkt mit uns vereinbaren.

Im Rahmen von Projekttagen an der TU Bergakademie Freiberg können Klassen eine Wissensreise unternehmen. Alle Fakultäten stellen dazu Themen bereit. Diese decken sehr unterschiedliche Fachgebiete ab: Mathematik, Informatik, Chemie, Physik, Mineralogie, Petrologie und Geoökologie, Geophysik und Geologie,

Geo-Ingenieurwesen, Werkstoffe, Werkstofftechnologien und Recycling, Maschinenbau und Technik, Verfahrenstechnik, Keramik, Glas und Baustoffe, Umweltmanagement, Wirtschaftsingenieurwesen und Wirtschaftswissenschaften. Die Themen sind für Schulkassen hinsichtlich des Lehrplans und der Interessenlage der Jugendlichen ausgewählt und aufbereitet, z. B. „Atome in Reih’ und Glied – vom Kochsalz bis zur DVD“, „Satelliten und Mathematik“, „Kein GPS ohne Einstein“. In verschiedenen Lernformaten, wie Experimenten, Exkursionen oder Workshops, werden die Vorträge der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit den Schülerinnen und Schülern auch praktisch reflektiert.

Auch das lang bewährte Format der „AG“ wird gepflegt. Derzeit gibt es an unserer Universität zwei Arbeitsgemeinschaften

Mathematik, an denen interessierte Schüler vom Geschwister-Scholl-Gymnasium in Freiberg und vom Cotta-Gymnasium in Brand-Erbisdorf teilnehmen. Sie sind für die Klassenstufen 9/10 und 11/12 konzipiert. In den AGs werden mathematische Inhalte und Methoden vermittelt, die über den Schulstoff hinausgehen, trotzdem aber von den Schülern mit ihrem Schulwissen nachvollzogen werden können.

Einen guten Einblick in ein Studienfach erhalten einzelne Schülerinnen und Schüler über Schülerpraktika und die Anfertigung von „Besonderen Lernleistungen“. Diese werden einerseits auf Initiative unserer Universität bereitgestellt, andererseits fragen Schüler und Schülerinnen mit eigenen Themenwünschen an.

Projektwochen, Schülerunis und mehr

Die Frühjahrsakademie Mathematik ist eine Projektwoche für Schülerinnen und Schüler, die an Mathematik interessiert sind. Neben Vorlesungen und Übungen zu spannenden mathematischen Themen, die zeigen, wie interessant und nützlich Mathematik sein kann, bietet diese Art des Schnupperstudiums auch die Gelegenheit, sich ein konkretes Bild von den Anforderungen eines Mathematikstudiums sowie vom studentischen Leben in Freiberg zu verschaffen.

Studieninteressenten ab der 9. Klasse können in den Schülerunis verschiedene Wissenschaftsgebiete erkunden, Wissenschaftlern bei ihrer Arbeit über die Schulter schauen, ausprobieren, wie es sich „anfühlt“, Student/in zu sein, in die Rolle als Wissenschaftler/in schlüpfen, Kontakte knüpfen, interessante berufliche Perspektiven entdecken, erlebnis- und abwechslungsreiche, spannende, unterhaltsame und fröhliche Tage mit Gleichaltrigen an der TU Bergakademie Freiberg verbringen. Alle Fakultäten beteiligen sich mit attraktiven Angeboten, die die Studienfächer spielerisch mit konkreten Inhalten und Problemstellungen den Schülerinnen und Schülern zeigen. Im Sommersemester 2019 gab es z. B. die BioNano-Tec-Woche für den Studiengang Angewandte Naturwissenschaft, das Wi-Ing Camp für den Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen, die Geo-Woche „Raumschiff Erde“ für die Studiengänge: Geologie und Mineralogie, Geoökologie sowie Geophysik und Geoinformatik, die Geo-Woche „Faszination Geotechnik“ für die Studiengänge Geotechnik und Bergbau, Markscheidewesen und Angewandte Geodäsie, die



© Deliev Müller/TU Bergakademie Freiberg

30 Schülerinnen und Schülern der 10. bis 12. Klasse aus Sachsen, Thüringen, Brandenburg und Nordrhein-Westfalen nahmen an der Frühjahrsakademie Mathematik vom 4. bis 8. März teil. Erstmals wurde dabei eine Veranstaltung zur Programmierung von Mikrocontrollern angeboten. Eine Schülergruppe besichtigte auch den virtuellen Projektionsraum CAVE, in dem technische Prozesse visualisiert werden.

Technik-Woche für den Studiengang Verfahrenstechnik (Energieverfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen, Mechanische Verfahrenstechnik, Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik), die Informatik-Tage für den Studiengang Angewandte Informatik sowie die Werkstoff-Woche „Werkstoffe für das Auto mit Zukunft“ für den Studiengang Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten.

Eine Besonderheit ist das Nachtlabor Glas, das in der „dunklen“ Jahreszeit (Oktober bis März) jeweils freitags stattfindet. Nach einer einführenden Vorlesung „Was Glas alles kann ...“ absolvieren die Teilnehmer in Kleingruppen vier verschiedene Praktika, z. B. zum Schmelzen und Formen von Glas, zur Bestimmung optischer Eigenschaften oder zur Herstellung eines Verbundwerkstoffs.

Das Schülerlabor „Science meets School – Werkstoffe und Technologien in Freiberg“ bietet eine Reihe von Versuchen an, die thematisch von modernen Werkstoffen über neue, zukunftsstrahlende Herstellungsmethoden bis hin zu klassischen Prüfverfahren für Werkstoffe reichen. In der Regel verbringen die Lerngruppen zusammen mit ihren Lehrern einen kompletten Schultag in den Räumlichkeiten des Schülerlabors und erleben ein für sie individuell zusammengestelltes Programm. Dieses Angebot wird nicht nur von den sächsischen Gymnasien (Brand-Erbisdorf, Frankenberg, Freiberg, Heidenau, Pirna, Altenberg, Delitzsch,

Radeberg, Hoyerswerda, Riesa) genutzt, sondern auch Gymnasien in Brandenburg (Eisenhüttenstadt) oder in Sachsen-Anhalt (Landesschule Pforta, Naumburg) greifen sehr gern darauf zurück.

Mint-EC

Die TU Bergakademie Freiberg beteiligt sich bereits seit vielen Jahren am Excellence-Netzwerk von Schulen mit Sekundarstufe II und ausgeprägtem Profil in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT). MINT-EC bietet ein breites Veranstaltungs- und Förderangebot für Schülerinnen und Schüler sowie Fortbildungen und fachlichen Austausch für Lehrkräfte und Schulleitungen. Im Jahr 2019 wurden von der Technischen Universität Bergakademie Freiberg folgende Themen angeboten: „Zukunft Werkstoffe“ (Weiterbildung für Lehrer/innen zum Thema Glas), MINT-EC-Camp „Zukunft Werkstoffe: Werkstoffwunder Automobil“, MINT-EC-Camp „Additive Fertigung“ sowie MINT-EC-Camp „Zukunft Werkstoffe: Werkstoffe aus einem Guss“.

Dieses sehr umfangreiche und ambitionierte Programm aufrechtzuerhalten, beansprucht sehr viele Ressourcen und ist ohne das außerordentliche freiwillige Engagement der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen nicht zu realisieren. Dafür sage ich als Prorektorin für Bildung herzlichen Dank. Für alle Beteiligten ist es immer wieder faszinierend zu erleben, wie die Jugendlichen in die Welt der Wissenschaft eintauchen und sich dafür begeistern.

Ein Volltreffer: Internationaler Masterstudiengang Mechanical and Process Engineering

Karin Sichone¹

Anlässlich einer Klausurtagung im November 2016 befasste sich die Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik ausführlich mit der Internationalisierung ihres Studienangebots. Der bis dahin einzige internationale Studiengang „Computational Materials Science“ zur Modellierung und Simulation des Verhaltens moderner Werkstoffe ist gekennzeichnet durch einen interdisziplinären Ausbildungsansatz und richtet sich an Interessenten aus den Bereichen Maschinenbau, Werkstoffwissenschaft und Physik. Die deutschsprachigen Bachelor-, Master- bzw. Diplomstudiengänge sind den traditionellen Fachgebieten Maschinenbau sowie Verfahrens-, Energie- und Umwelttechnik der Fakultät zugeordnet.

Es bestand der Wunsch, diese scharfe Trennung aufzuheben und ein Maschinenbau und Verfahrenstechnik miteinander verbindendes attraktives Studienangebot zu entwickeln, das sich vorrangig an ausländische Bachelorabsolventen richtet und auch zur Einbindung in länderübergreifende Studienangebote geeignet ist.

Die Professoren der Fakultät unterbreiteten Lehrangebote in englischer Sprache und es entstand ein Modulpool, der für die Konzipierung eines Masterprogramms „Mechanical and Process Engineering“ genutzt werden konnte.

Das Studienprogramm

Mit dem Masterstudiengang sollen Absolventen in die Lage versetzt werden, komplexe Probleme aus den Themenfeldern Maschinenbau und Verfahrenstechnik wissenschaftlich zu analysieren und technologische Lösungen entwickeln zu können. Das Programm richtet sich an Bachelorabsolventen aus den Bereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik oder vergleichbaren Studiengängen. Die Studierenden sollen in vier Schritten an das Ausbildungsziel herangeführt werden:

- Heranführung an einheitliche Grundlagenkenntnisse
- Schaffung eines theoretisch fundierten Rahmens mit fortgeschrittenen ingenieurwissenschaftlichen Kenntnissen, Training von Teamarbeit

- Modellierung und Simulation, Konstruktionsmethoden – sowie
- erste Forschungserfahrung (Master Thesis)

Da die Studienanfänger aus verschiedenen Hochschulen und Studiengängen kommen, sollen zunächst Grundlagenkenntnisse in Technischer Thermodynamik, Fluidmechanik, Mechanischer Verfahrenstechnik und Konstruktion so gefestigt werden, dass die Studierenden hinsichtlich der fachsprachlichen Gepflogenheiten und des einschlägigen Formelwerks sowie der Heranführung an die hier üblichen Leistungsanforderungen auf einen einheitlichen Stand gebracht werden.

Im Rahmen einer studienbegleitenden Projektarbeit (22 Wochen), lernen die Studierenden in kleinen Gruppen zu arbeiten, die Arbeitsaufgaben zu strukturieren, zu koordinieren und Teilergebnisse zu einem Gesamtergebnis zusammenzuführen. Ein weiteres Projekt ist der Auslegung einer Aufbereitungs- bzw. Recyclinganlage gewidmet. Mit diesen Projekten werden die Studierenden an selbstständiges wissenschaftliches Arbeiten herangeführt. Mit der Abschlussarbeit (Master Thesis) müssen sie nachweisen, dass sie in der Lage sind, weitgehend eigenverantwortlich ingenieurwissenschaftliche Aufgaben zu lösen, zu dokumentieren und zu präsentieren.

Bewerber und Studierende

Die Studiendokumente wurden im März 2018 bestätigt und auf den Internetseiten der Universität veröffentlicht. Nach nur zwei Wochen waren Bewerbungen aus 15 Ländern eingegangen. Später bewarben sich noch Interessenten, die kein Visum für einen Studienaufenthalt benötigten sowie Hochschulwechsler, die bereits an anderen Universitäten in Deutschland studierten.

Aus einem Pool von 95 Bewerbern wurden im Ergebnis eines Qualifikationsfeststellungsverfahrens 36 Zulassungen ausgesprochen. Diese Bewerber hatten vollständige Dokumente vorgelegt und erfüllten die Leistungsanforderungen in den oben genannten Fachgebieten und bezüglich der englischen Sprache. Im Oktober 2018 haben schließlich 19 Studierende ihr Studium im Masterstudiengang „Mechanical and Process Engineering“ aufgenommen.

In Vorbereitung auf die Bewerberauswahl für das Studienjahr 2019/20 und in Erwartung eines Bewerberansturms wurde entschieden, dem eigentlichen Bewerbungsverfahren zunächst eine Online-Registrierung für die Interessenten vorzuschalten.

Bis zum Stichtag wurde aus 1.306 Online-Einträgen anhand bestimmter Leistungsangaben (Gesamtnote, ausgewählte Fächernoten, Englischabschluss) eine Vorauswahl von 326 Bewerbern getroffen, die zur Einreichung ihrer Bewerbungsunterlagen aufgefordert wurden. Von diesen haben sich dann

Tab. 1: Curriculum

Semester 1	Semester 2	Semester 3	Semester 4
<i>Goal</i> → Bring all the students to the same background	<i>Goal</i> → Theoretical framework → Working in Teams	<i>Goal</i> → Learn 1 numerical tool → Get familiar with design methods	<i>Goal</i> → Research Experience
Thermodynamics and Heat Transfer Training in Fluid Dynamics Training in Particle Technology Training in Endurance and Design Conception of Process Equipment	Introduction into Fluid Dynamics Nonlinear Finite Element Methods Applied Thermodynamics Project Work	Discret Element Method Plant Design Process Design – Project Maintenance Engineering Sustainable Engineering	Master Thesis
<i>Electives</i> Management Skills	<i>Electives</i> German as a second language Marketing, Investment, Finance	<i>Electives</i> Computational Process Engineering Metallurgy Machinery	

¹ Dipl.-Ing. Karin Sichone, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik

225 Studierende² (ca. 70 Prozent) beworben. Aus diesem Bewerberfeld wurden 92 Studierende aus zwölf Ländern ausgewählt, denen eine Zulassung für 2019 erteilt wurde. Ohne die Vorauswahl im Zuge der Online-Registrierung hätten über eintausend Bewerbungsunterlagen mehr erfasst, ausgewertet und beschieden werden müssen. Der Arbeitsaufwand wäre besonders auch im Hinblick auf die insgesamt angewachsenen Bewerberzahlen in weiteren internationalen Studiengängen weder in der Universitätsverwaltung noch in der Fakultät beherrschbar gewesen.

Der überwiegende Teil der Bewerber verfügt über einen Bachelorabschluss in Maschinenbau. Weitere Herkunftstudiengänge sind Chemieingenieurwesen, Produktionstechnik sowie Energie- und Umwelttechnik.

² Zusätzlich gingen noch weitere Bewerbungen von Interessenten ein, die sich nicht registriert hatten bzw. die nicht in die Vorauswahl gekommen waren. Dem Zulassungsbüro lagen damit insgesamt 499 Bewerbungen vor.

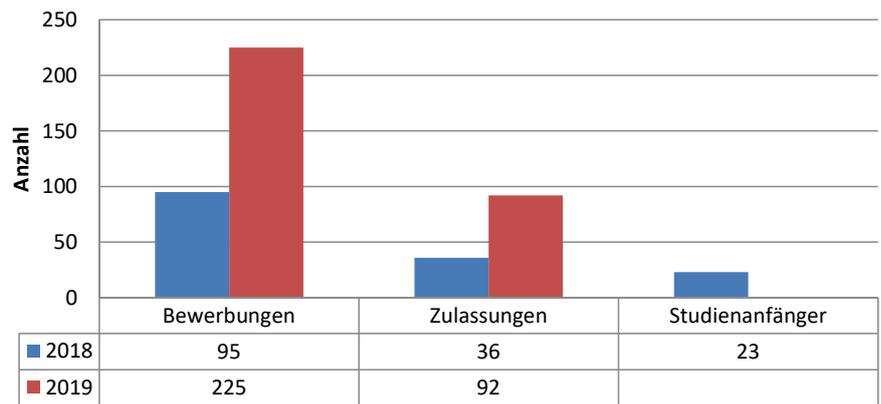


Abb. 1: Von der Bewerbung zur Einschreibung

In ihren Motivationsschreiben bringen viele Bewerber zum Ausdruck, dass sie sich von der fächerübergreifenden Masterausbildung besonders angezogen fühlen. Von der Vertiefung ihrer bisher erworbenen Kompetenzen und insbesondere der Erweiterung ihrer Kenntnisse auf benachbarte Fachgebiete versprechen sie sich exzellente

Chancen für ihre beruflichen Karrieren. In den Herkunftsländern hat sich herumgesprochen, dass die TU Bergakademie Freiberg den Studierenden von Beginn an beispielhafte Studienbedingungen bietet. Auch dies dürfte ein Grund für das große Interesse an den Internationalen Studiengängen unserer Universität sein.

Internationaler Masterstudiengang **Advanced Mineral Resource Development** – weltweit größtes Ausbildungsnetzwerk im Rohstoffsektor Carsten Drebenstedt

Am 19. November 2007 gründeten die in Europa führenden Rohstoffländer Russland, Ukraine, Polen, Österreich und Deutschland in Freiberg die International University of Resources (IUR). Die Idee des Verbundes bestand darin, die Stärken der zunächst in Europa noch verbliebenen Universitäten mit Rohstoffprofil in diesen Ländern gegenseitig nutzbar zu machen, um die Qualität der Ausbildung und der Forschung zu verbessern und sich gemeinsam für bessere Rahmenbedingungen in der Gesellschaft einzusetzen, das Rohstoffbewusstsein zu stärken, gemeinsame Tagungen anzubieten, gemeinsame Projekte zu akquirieren und zu bearbeiten, gemeinsam zu veröffentlichen.

Initiiert durch die TU Bergakademie Freiberg begannen die IUR-Partner im Jahr 2010 mit den Planungen für einen gemeinsamen Studiengang als weiteres einander verbindendes Element, nachdem bereits eine Tagungsreihe (Protodyakonov-Kolloquium zur Gesteinsmechanik) und das Freiberg-St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler (ab 2006) eingeführt sowie Bände mit gemeinsamen Publikationen erschienen sind. Drei Partner

– die Nationale Bergbau-Universität Dnepropetrovsk (Ukraine), die Montan-Universität Leoben (Österreich) und die TU Bergakademie Freiberg – unterzeichneten 2012 die Vereinbarung zur Durchführung eines gemeinsamen, viersemestrigen Masters of Science „Advanced Mineral Resource Development“. In jedem Semester sind ca. 30 Kreditpunkte (credits) auf der Grundlage des Europäischen Kredit Transfersystems (ECTS) zu erwerben (gesamt 120 credits).

An der TU Bergakademie Freiberg und damit im deutschsprachigen Raum war dies der erste zusammen mit anderen Hochschulen organisierte gemeinsame Studiengang. Dementsprechend beschränkten alle Beteiligten Neuland. An der TU Bergakademie Freiberg fand der Studiengang schnell die notwendige Unterstützung der Gremien, sodass die Studien- und Prüfungsordnungen bereits 2012 verabschiedet werden konnten. Im Jahr 2012 begannen die ersten Studenten (vier aus Dnepropetrovsk und eine Studentin aus Kasachstan) mit der Ausbildung. Im Zeitraum 2015 bis 2018 haben 25 Studenten aus neun Ländern (Afghanistan, Ägypten, China, Großbritannien, Indonesien,

Kasachstan, Kolumbien, Türkei, Ukraine) ihre AMRD-Masterarbeiten erfolgreich abgeschlossen.

Die Studenten werden mit Studienbeginn an den Partnerhochschulen eingeschrieben. Das Programm sieht vor, dass das erste Semester an der Montan-Universität Leoben zu absolvieren ist – mit den inhaltlichen Schwerpunkten Bergbauplanung und Bergwirtschaft. Beginn ist im Wintersemester. Das zweite Semester wird an der TU Bergakademie Freiberg mit dem Schwerpunkt Rohstoffabbau und Umweltschutz durchgeführt. Im dritten und vierten Semester kehren die Studenten der Partneruniversitäten an ihre Heimatuniversitäten zurück. Im dritten Semester werden weitere Fachangebote studiert, z. B. Gebirgsmechanik und Aufbereitung. Das vierte Semester ist der Masterarbeit vorbehalten. Die Themen der Masterarbeiten sind mit den Partnern in Leoben und Freiberg abzustimmen, die jeweils einen oder einen gemeinsamen Betreuer stellen. Die Verteidigung der Masterarbeit erfolgt vorzugsweise in einer gemeinsamen Prüfung vor einer Kommission aus den drei Partneruniversitäten, auch per

Präsenz über Videoschaltung oder Skype. Der Abschluss ist ein *Joint Degree*, d. h., die Absolventen erhalten in der Regel die Zertifikate aller drei Partner-Universitäten. Ein *Bridging Document* bestätigt die Gemeinsamkeit der Ausbildung.

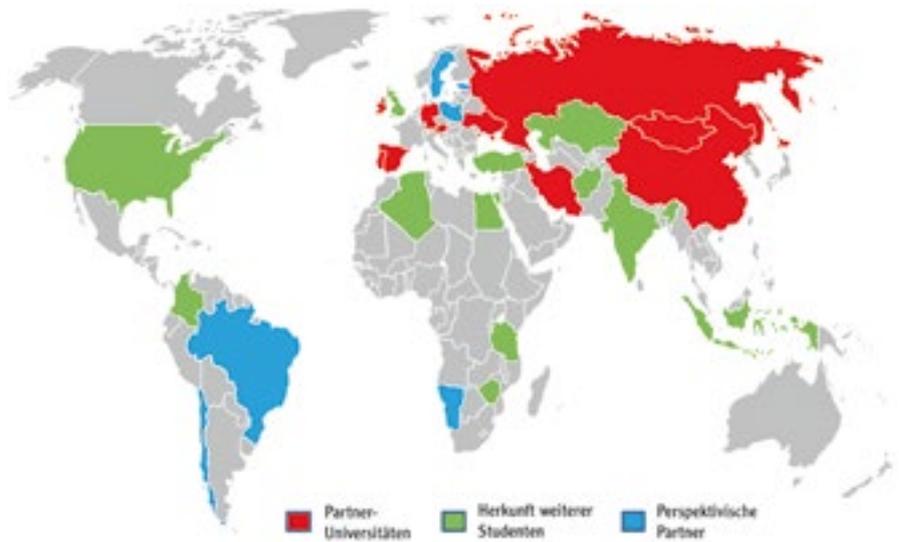
Der AMRD-Masterstudiengang ist für 20 bis 30 Studierende pro Jahr konzipiert. Jede Partneruniversität kann bis zu fünf Bewerber nominieren. Da in den ersten Jahren nicht alle Studienplätze von aus den Partneruniversitäten selbst stammenden Bewerbern besetzt werden konnten, wurden auch Studenten aus anderen Hochschulen und Ländern zugelassen. Diese haben dann die Möglichkeit, nach den Studienorten Leoben und Freiberg den Studienort für das dritte und vierte Semester aus den Standorten der Partner-Universitäten zu wählen. Einige dieser Studenten verbleiben auch in Leoben oder Freiberg und erhalten dann einen Doppelabschluss. So haben z. B. im Rahmen des Programms „Academic Mining Education Afghanistan“ (AMEA) im Jahr 2015 vier Afghanen das AMRD-Masterstudium begonnen und in Leoben bzw. Freiberg abgeschlossen.

Voraussetzung für die Zulassung zum Studium sind ein rohstoffrelevanter Bachelorabschluss mit einer Regel-Studienzeit von mindestens sieben Semestern (im Ausnahmefall auch in einem Diplomstudiengang) und gute Englischkenntnisse mit einem Niveau von IELTS 6,0 oder besser. Die Partneruniversitäten bemühen sich, die Studenten finanziell zu unterstützen, z. B. über das ERASMUS-Programm.

Im Jahr 2014 wurde eine Vereinbarung mit der China University of Mining and Geology Beijing (CUMTB) als viertem Partner geschlossen. Seit 2015 nehmen nun auch Studenten der CUMTB an der Ausbildung teil. Weitere Partneruniversitäten des Programms sind (in chronologischer Reihenfolge der bereits geschlossenen Vereinbarungen):

- Amirkabir University of Technology Teheran (AUT), Iran, 2016
- Instituto Superior Técnico der Universidade de Lisboa (IST), Portugal, Oktober 2017
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Spanien, 2018
- German-Mongolian Institute for Resources and Technology (GMIT), Mongolei, Dezember 2018
- Bergbau-Universität St. Petersburg (SPMI), Russland, 19.02.2019

Eine Ausweitung des Netzwerks hin nach Afrika und Lateinamerika ist geplant,



Geografie der AMRD-Partneruniversitäten und der Herkunft weiterer AMRD-Studenten

wozu auch bereits Vorbereitungen mit potenziellen Partnern angelaufen sind.

Im Zeitraum 2016 bis 2018 wurde eine Erweiterung des AMRD-Programms in Freiberg vorgenommen. Neben der Vertiefung „Mining Engineering“ wurde die Vertiefung „Mineral Economics“ etabliert. Hintergrund war das EIT Raw Material-Project „ADMIRE lab“. Neben Leoben und Freiberg war das Trinity College Dublin Partner. Der Ausbau der Vertiefung wird gemeinsam mit Partnern aus Wroclaw (Polen), Tallin (Estland) und Lulea (Schweden) angestrebt.

Zur Auswahl der Studienbewerber treffen sich Vertreter der Partneruniversitäten einmal jährlich zum Selection Committee Meeting, zuletzt in Lissabon (2019) und zuvor in Leoben (2018). 2020 wird das Treffen beim IUR-Partner in St. Petersburg stattfinden. Die Treffen der inzwischen neun Partnern sind gute Gelegenheiten,

auch weitere Themen der bi- und multilateralen Zusammenarbeit miteinander abzustimmen.

Die Vorbereitung des gemeinsamen Studienganges induzierte vielfältige Effekte für die Beteiligten. Das antizyklische Vorgehen, nämlich gerade in Zeiten hoher Studentenzahlen weiter an der Verbesserung und Diversifizierung des Studienangebots zu arbeiten, zahlt sich aktuell aus: 2018 wurden 17 Studenten immatrikuliert, 2019 stieg die Zahl auf 24.

Das AMRD-Masterprogramm befindet sich, wie für neue Studiengänge typisch, in ständiger Anpassung und Verbesserung. Zukünftige Aufgaben sind insbesondere der Ausbau und die Stabilisierung des Studienganges, die Qualitätssicherung, die Verbesserung der Abläufe und die Unterstützung der Studenten. Für 2020 beginnend ist beim DAAD ein Alumni-Projekt beantragt.



Treffen der AMRD-Partneruniversitäten 2019 an der IST in Lissabon



Foto: Detlev Müller

Abb. 1: Die Teilnehmer des Projektseminars im Industriemuseum Chemnitz



Foto: Helmuth Albrecht

Abb. 2: Präsentation der Ergebnisse der Projektwochen im IWTG

Zusammenarbeit mit der Universidad Camilo José Cela in Madrid

Franz Dietzmann

Vom 17. bis zum 30. März fanden am Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) der TU Bergakademie Freiberg zwei Projektseminarwochen zur Industriekultur – gemeinsam mit Studierenden der spanischen Universidad Camilo José Cela (Madrid) – statt.

Ziel des Projektseminars war es, den spanischen Studierenden am Beispiel Freibergs die Entwicklung einer aus dem Mittelalter heraus gewachsenen Stadt über die Phase der Industrialisierung hinweg bis zur Gegenwart sowie die anstehenden Probleme der Stadtentwicklung Freibergs für die Zukunft zu vermitteln. Dabei spielten sowohl die aktuellen Probleme und Herausforderungen im Umgang mit den historischen Gebäuden und Strukturen als auch Fragen der sinnvollen Um- und Weiternutzung gewachsener, historischer Infrastruktur eine zentrale Rolle.

Nach einem Tag der Einführung in die Themenbereiche der Industriekultur und Industriearchäologie besuchten die Studierenden des „Urban Management“ sowie „Transport and Logistics“ der Madrider Universität in der ersten Projektwoche Einrichtungen und Unternehmen der Stadt Freiberg. Hierbei wurde eine möglichst vollumfängliche Abdeckung der für die Stadt zentralen Themen angestrebt. Neben dem Stadtentwicklungsamt, den Stadtwerken und dem Wasserzweckverband Freiberg waren auch die Saxonia Standortentwicklungs- und -verwaltungs GmbH, der Verkehrsverbund Mittelsachsen, die Landestalsperrenverwaltung und das Oberbergamt eingebunden. Eine Exkursion zu ausgewählten Stätten des Welterbeprojekts Montanregion Erzgebirge rundete am Samstag das Programm der ersten Woche ab.

Diese Exkursion, ebenso wie die nachfolgenden Fahrten nach Dresden und

Chemnitz, sollten neben einem Kennenlernen der geografischen und kulturellen Umgebung der Stadt auch einen Vergleich des ländlichen mit dem urbanen Raum in Sachsen ermöglichen. Darüber hinaus erhielten die Seminarteilnehmer in Chemnitz und Dresden einen Eindruck von den Chancen und Problemen des Erhalts und der Umnutzung historischer Industriebauten in Sachsen. So wurden auf der Fahrt nach Chemnitz die Weberei Tannenhauer sowie die Alte Baumwolle in Flöha besichtigt, während in Chemnitz selbst der umgestaltete Bahnhof mitsamt dem Konzept des „Chemnitzer Modells“ und das Sächsische Industriemuseum im Fokus standen. In Dresden führte die Exkursion von der Gläsernen Manufaktur über die Standseilbahn und das Blaue Wunder zur Yenidze und zum Kraftwerk Mitte.

Natürlich kam auch der Gedankenaustausch zwischen den Studierenden (und den Dozenten) nicht zu kurz. Durch die freundlicherweise vom PI-Haus ermöglichte zentrale Unterbringung der spanischen Gäste konnten bei gemeinsamen Nachmittags- und Abendveranstaltungen die fachlichen Gespräche ruhen und ein vielfältiger Interessenaustausch stattfinden.

Die zahlreichen Eindrücke der anderthalb Wochen wurden zum Abschluss in kurzen Präsentationen zu ausgewählten Industriedenkmalen zusammengefasst. Dabei wurden in zehn Gruppen, jeweils aus spanischen und deutschen Studierenden gemischt, einzelne Industriedenkmale in ihrer Entwicklung vorgestellt. Die interkulturelle und interdisziplinäre Zusammenarbeit zeigte dabei Perspektiven für die Stadtentwicklung und die Industriedenkmalpflege auf, die über den rein industriearchäologischen Betrachtungsrahmen hinausreichten. Mit einem Abschlussabend endete der erste

Teil dieses Kooperationsprojekts. Vom 29. September bis zum 12. Oktober 2019 wurde dieser Gedankenaustausch im Rahmen eines zweiten Projektteils in Madrid fortgeführt. Dort wurden die Freiburger Studierenden zunächst in die Grundlagen des „Urban Management“ und „Transport and Logistic“ eingeführt. Neben Exkursionen zu kulturhistorisch bedeutsamen Orten, wie z. B. dem Palacio Real mit seinen unterschiedlichen Gebäudeteilen oder dem Haus von El Greco wurden in La Granja und Segovia auch einige technikhistorisch und industriearchäologisch wichtige Objekte – wie ein römischer Aquädukt, weitere Anlagen des Wassermanagements sowie rekonstruierte Webereien und Glasmanufakturen – besichtigt.

Der Schwerpunkt der Forschungen an der gastgebenden Universität in Madrid liegt – den Studiengängen der UCJC zugeordnet – auf dem Management großstädtischer Infrastruktur und der städtischen Entwicklung. Hierzu bekamen die Freiburger Studierenden zusammen mit zehn spanischen Kommilitonen in der zweiten Woche die Gelegenheit, die reichhaltig ausgestatteten Medienlabors der UCJC kennenzulernen und zu nutzen. Neben Videoarbeiten wurden in einem Projektseminar Lärmkarten eines Gebäudes aufgenommen und auf ihrer Basis entsprechende Umnutzungskonzepte erarbeitet.

Das IWTG hofft, durch diesen ersten Austausch mit den spanischen Kollegen die Grundlage für weitere Beziehungen zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der UCJC Madrid gelegt zu haben. Eine Ausweitung des Programms für zukünftige Austausche auch auf andere Institute der Bergakademie bietet sich an, um ein ganzheitlicheres Programm gestalten zu können.

„Freiberg hat viele Vorteile!“ Was internationale Studierende in die Bergstadt zieht

Anja Weigl¹

Rund jeder vierte Studierende an der TU Bergakademie Freiberg kommt aus dem Ausland. Und jeder von ihnen hat mit dem Internationalen Universitätszentrum (IUZ) zu tun – ob bei der Zulassung zum und Beratung vor dem Studium oder durch die Betreuung und Teilnahme an einem Sprachkurs während der Ausbildung. Das IUZ stellt ein paar von ihnen vor.

Ausgezeichnetes Engagement

Shubham Sharma, Indien



Shubham Sharma war im Fachschaftsrat der Fakultät 4 und engagiert sich jetzt im Arbeitskreis ausländischer Studierender (AKAS). Der Deutsche Akademische Austauschdienst bedachte ihn dafür mit dem „Preis für hervorragende Leistungen ausländischer Studierender“ 2019. Pro Hochschule und Jahr wird diese Ehrung nur einmal vergeben.

Wie Shubham Sharma aus Indien erzählt, ist eine Großstadt nichts für ihn – und so kam er bei der Suche nach einem Studienplatz in Umwelt-Engineering schnell auf Freiberg. Hier lebt er nun gern, schon seit drei Jahren. Was bieten die Stadt und die Universität in seinen Augen? „Freiberg hat viele Vorteile! Als Student lernt man sehr schnell Leute kennen und mit dem Fahrrad kommt man überall hin. Man kann hier preiswert leben und von hier aus viel unternehmen. Und wer wohnt nicht gern in einer Weltkulturerbe-Stadt?“, fragt er.

Außerdem ist das Verhältnis von Lehrenden und Studierenden gut.

Damit die Eingewöhnung leichtfällt, rät er, die vielen Angebote an der Uni zu nutzen: die Ersti-Woche, die der Stura gemeinsam mit den FSren und den AGs veranstaltet, sowie die Orientierungstage vom IUZ. „Für internationale Studierende sind sie ein Muss.“ Eine gute WG ist ebenfalls sehr wichtig. Neben dem Studium – demnächst steht die Bachelorarbeit an – engagiert sich Shubham Sharma für seine Kommilitonen. Er arbeitete beim FSR4 mit, das hieß: Beratung zu Fragen rund um das Studium, Hilfe bei der Klausurvorbereitung oder Mitarbeit bei Veranstaltungen an der Fakultät. Jetzt macht er beim Arbeitskreis ausländischer Studierender (AKAS) mit und verrät: „Für das Wintersemester haben wir einen vollen Terminplan!“

Karrierestation Freiberg

Rosie Blannin, Großbritannien



Will nach ihrer Promotion gern in den USA, Kanada oder Australien forschen: Rosie Blannin

Zum ersten Mal nach Freiberg kam Rosie Blannin Anfang 2018 für eine „Winter Business School“ als Teil ihres Masterstudiums im europäischen Erasmus-Mundus-Programm „Resources Engineering“. Nach ihrem Abschluss an den vier beteiligten Universitäten in Liège, Nancy, Luleå und Freiberg bot zufällig das hiesige Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie (HIF) eine passende Promotionsstelle an. Die Geologin überlegte nicht lange und

Info: Das IUZ

- betreut internationale Studierende vor und während des Studiums, z. B. bei der Bewerbung, der Studienvorbereitung, mit Orientierungstagen
 - bietet eine große Auswahl an Sprachkursen an: fachbezogener und allgemeiner Fremdsprachenunterricht sowie Deutsch als Fremdsprache in Intensiv- und studienbegleitenden Kursen
 - unterstützt Wissenschaftler und Mitarbeiter bei Hochschulkooperationen sowie beim internationalen Personal- und Studierendenaustausch via Förderprojekte, z. B. Erasmus, DAAD
 - berät Studierende bezüglich Organisation und Finanzierung von Auslandsaufenthalten, z. B. Erasmus, DAAD, PROMOS
- tu-freiberg.de/international

erzählt: „Ich wollte immer schon wissenschaftlich arbeiten. Hier kann ich mein geologisches Wissen mit dem über den Bergbau und zur Aufbereitung von Rohstoffen verknüpfen. Ich untersuche und modelliere Bergbauhalden in der Region mit dem Ziel, die in diesen noch enthaltenen Wertstoffe wiederzugewinnen, zum Beispiel für die Bauindustrie.“

In Freiberg fühlte sie sich gleich wohl. Wenn es die Zeit erlaubt, macht sie Ausflüge nach Dresden, Meißen oder in die Sächsische Schweiz. Nur kulturell würde sie gern mehr unternehmen. Dafür fehlen ihr die Sprachkenntnisse – noch: An der Universität lernt sie Deutsch. Am HIF ist es in dieser Hinsicht einfach, es gibt viele internationale Mitarbeiter, daher ist Englisch Umgangssprache. Obwohl es für Rosie Blannin klar war, nach ihrem Bachelor-Studium an der traditionsreichen Royal School of Mines am Imperial College London Erfahrungen im Ausland zu sammeln – gewonnen hat sie ein höchst spannendes Promotionsprojekt und viele neue Freunde aus der ganzen Welt.

Reinsehen:

IUZ-Kurzfilm über Humboldt

Was Alexander von Humboldt in Freiberg erlebt, als er sich nach 456 Urlaubssemestern wieder an der Bergakademie immatrikuliert, zeigt mit viel Humor der Film „Alex is back“. Das IUZ produzierte diesen Film für die Otto-Nacht 2019, bei der er dreimal ausgezeichnet wurde, darunter mit dem Publikumspreis.

→ <https://www.youtube.com> unter dem Kanal „TU Bergakademie classics“

¹ Kontakt: Anja.Weigl@iuz.tu-freiberg.de

Neuanfang in Deutschland

Andrés Verdugo Albornoz, Chile



Während seines Auslandssemesters an der japanischen Akita University warb Andrés Verdugo Albornoz für ein Studium in Freiberg

Als Andrés Verdugo Albornoz vor sieben Jahren aus Chile nach Deutschland kam, wollte er noch einmal neu anfangen. Der studierte Jurist entdeckte seine Leidenschaft für die Geologie. Um in Freiberg studieren zu können, lernte er zunächst an der Uni in einem Intensivkurs Deutsch. Seine Ausbildung finanziert er sich mit seiner Arbeit als wissenschaftliche Hilfskraft. „Ich habe Übersetzungen gemacht und dann viel im Labor gearbeitet. Gerade für ausländische Studierende ist dieser Job optimal. Es hat mir sehr geholfen, in einem quasi geschützten Rahmen, den die Universität bietet, meine Sprachkenntnisse weiter zu verbessern. Nur könnte es mehr Hiwi-Stellen geben“, räumt er ein.

Derzeit ist der Student für die Paläontologische Sammlung und den Übungsraum im Humboldt-Bau verantwortlich. Daneben schreibt er seine Master-Arbeit, die er bei einem neunmonatigen Aufenthalt an der japanischen Akita University vorbereitet hat. Dafür erhielt er vom IUZ ein PROMOS-Stipendium. In Japan kann er sich auch eine Promotion vorstellen. Da passt es gut, dass seine Partnerin, mit der er in Freiberg lebt, genauso reisefreudig und interkulturell interessiert ist, wie er selbst. In jedem Fall habe ihm Freiberg viel gegeben.

Nicht allein

Nicol Hillebrandova, Tschechien

Mit einem tschechischen und einem deutschen Abitur in der Tasche war es für Nicol Hillebrandova aus Liberec schnell klar, in Deutschland zu studieren. Obwohl der Anfang nicht ganz einfach war: „Während



Nicol Hillebrandova macht mit bei AKAS und der Uni-Theater-AG

einige meiner Freunde nach Dresden zogen, ging ich allein nach Freiberg. Aber das war eine bewusste Entscheidung, denn so war ich immer gezwungen, Deutsch zu sprechen“, erzählt sie. Besonders an die Fachbegriffe musste sie sich erst einmal gewöhnen; viel Hilfe fand sie bei ihren Kommilitonen. Und schließlich lernte sie den Arbeitskreis ausländischer Studierender (AKAS) kennen, dem sie sich prompt anschloss. „Da habe ich gemerkt, dass ich gar nicht allein bin. Ich denke aber auch, dass es vielen Studienanfängern so geht, egal woher sie kommen“, so die Studentin.

Heute möchte sie von hier nicht mehr weg, sagt sie. Alles ist zu Fuß erreichbar und als Studentin schätzt sie es, auch mal kurzfristig einen Termin bei der Professorin oder dem Professor zu bekommen. Sie spielt in der Theater-AG an der Uni mit und unterstützt seit mehr als drei Jahren das International Office auf vielfältige Weise: bei einer Bildungsmesse in Prag, bei der Redaktion der Willkommensmappe für internationale Studierende, bei den Orientierungstagen oder dem Sprachtandemprogramm. „Wir könnten noch mehr ausländische Studierende gerade aus dem arabischen oder indischen Raum vermitteln. Dazu suchen wir Deutsche, die deren Sprachen lernen möchten“, erklärt sie.

Reinhören: Englischer Podcast von TU-Sprachlehrer

In der Reihe „Last Week in English“ plaudert IUZ-Englischlehrer Mark Jacob regelmäßig in seiner Muttersprache mit interessanten Gästen aus der ganzen Welt. Auch Rosie Blannin und Sean Shenton kann man hier zuhören.

→ OPAL / TU Bergakademie / IUZ / Fremdsprachen / Englisch / Englisch UNIcert III

Verschiedene Welten

Sean Shenton, USA



Masterstudent Sean Shenton ist überrascht von den vielen Unterschieden zwischen den USA und Deutschland

Nach zwei Bachelor-Abschlüssen in Chemie und chemischer Verfahrenstechnik hatte Sean Shenton aus Virginia, USA, den Wunsch, sich beruflich weiterzuqualifizieren. Die Möglichkeit, kostenlos zu studieren, gab den Ausschlag für Deutschland. Seit drei Semestern ist er im Masterstudiengang „Mechanical and Process Engineering“ eingeschrieben; mittlerweile lebt er auch in Freiberg. Seine Frau studiert in Dresden. Die starke Internationalisierung in seinem Fach kommt ihm sehr gelegen, sagt er, da er wenig Deutsch spricht – auch wenn er das noch ändern möchte. Die Studierenden helfen sich gegenseitig, und auch privat gibt es viel Kontakt. Nur deutsche Studierende zu treffen, ist schwierig.

Der Umzug aus den USA war wie ein Sprung ins kalte Wasser. Der größte Unterschied: In einer deutschen Stadt sind die Wege viel kürzer und man kommt auch ohne Auto aus – in den USA unvorstellbar. Das Studium ist weniger strukturiert, dadurch haben die Studierenden mehr Freiraum, brauchen aber auch mehr Selbstdisziplin. In Freiberg begeistert ihn die historische Bibliothek des Geschwister-Scholl-Gymnasiums. Und auch eine Besichtigung der Brauerei findet er empfehlenswert. Der Braumeister spricht sogar etwas Englisch. In seiner Heimat dagegen haben Fremdsprachen leider keinen hohen Stellenwert. Aus Nordamerika kommen bisher wenige Studierende. Deshalb arbeitet er mit dem IUZ zusammen. In den nächsten Jahren soll das Studierendenmarketing im Hinblick auf die USA ausgebaut werden.

Kooperation mit der Silesian University of Technology in Gliwice mündet in erste deutsch-polnische Doppelpromotion an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Claudia Kawalla

Am 14. Dezember 2018 verteidigte ich erfolgreich meine an der TU Bergakademie Freiberg und der Silesian University of Technology angefertigte Dissertation. Dies ist die erste deutsch-polnische Doppelpromotion an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der TU Bergakademie Freiberg und stellt einen wichtigen Meilenstein im Rahmen der Internationalisierung der Fakultät dar. Mit dem Abschluss wurde die partnerschaftliche Zusammenarbeit verfestigt und das Fundament für zukünftige Arbeiten im Bereich von Forschung und Lehre gelegt.

Initiierung des ersten binationalen Promotionsverfahrens

Im Jahr 2007 wurden die Weichen für binationale Promotionen durch die Unterzeichnung eines hochschulübergreifenden Abkommens zur wissenschaftlichen Kooperation zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Silesian University of Technology gestellt. Mit der vertraglichen Initiierung meines Promotionsvorhabens im Rahmen der Kooperation zwischen der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und der Faculty of Organization and Management wurde aus einer Zusammenarbeit eine beispielhafte Partnerschaft im Bereich der Forschung aufgebaut.

Die Anfertigung meiner binationalen Promotion bot mir die Möglichkeit des Erwerbs eines von beiden Universitäten gemeinsam verliehenen deutschen und zugleich polnischen Doktorgrads. Hierzu wurden die Promotionsverfahren an beiden Fakultäten eröffnet. Die Besonderheit der Verfahrenseröffnung an der polnischen Fakultät besteht im Profil der Anforderungen an die wissenschaftlichen Leistungen, welche eine Mindestanzahl von drei internationalen Publikationen sowie die Präsentation des Forschungsthemas vor dem Fakultätsrat voraussetzt. Ein solches Vorgehen schärft das Profil und die Ausrichtung der Promovenden, was meiner weiteren Forschungsarbeit zugutekam.

Nach Eröffnung der Verfahren an beiden Fakultäten erstellte ich meine Promotion unter Betreuung der Professoren Michael Höck (Lehrstuhl für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft & Logistik, TU Bergakademie Freiberg) und Mariusz Ligarski (Institute of Production Engineering, Silesian University of



(v.l.) Dekan Prof. Krzysztof Wodarski, Dr. Claudia Kawalla, Betreuer Prof. Mariusz Ligarski

Technology) zur Thematik „Development of a supply chain quality management model for innovative construction materials“. Die Erarbeitung der Forschungsergebnisse erfolgte im Rahmen der ESF-Nachwuchsforschergruppe zum Thema „Ganzheitliche Implementierung ressourceneffizienter Formgebungsverfahren“, welche durch den Freistaat Sachsen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert wird.

Die Anfertigung einer binationalen Promotion geht mit zahlreichen Vorteilen, aber auch gesteigerten Anforderungen einher. Durch einen im Programm inbegriffenen sechsmonatigen Forschungsaufenthalt an der Partnerfakultät konnte ich mich mit dem polnischen Wissenschaftssystem auseinandersetzen. Der intensive Dialog mit meinem Betreuer wie auch weiteren Wissenschaftlern der Faculty of Organization and Management ermöglichte mir die Aneignung unterschiedlicher Lösungskompetenzen, was mit einer Sensibilisierung im Umgang mit einem interkulturellen Umfeld einhergeht. Des Weiteren war es mir – über die im ausländischen Wissenschaftsbetrieb gesammelten Erfahrungen hinausgehend – möglich, berufliche Netzwerke mit bilateral agierenden Unternehmen in der oberschlesischen Region aufzubauen. Neben den genannten Vorteilen ist eine binationale Promotion aber auch mit einem erheblichen Mehraufwand verbunden. Zur Erfüllung sowohl der deutschen als auch der polnischen

Promotionsordnung sind u. a. Rigorumsleistungen an beiden Universitäten zu erbringen. Auf polnischer Seite richtet sich die Wahl der Hauptfächer nach der Vertiefungsrichtung der Doktorarbeit; in meinem Fall betraf das die Fächer Production Engineering und Projektmanagement. Als Nebenfach wurde Englisch belegt. Die gesteigerte Belastung, wie die durch das Rigorosum zieht sich bis zur Verteidigung hin durch, da die Vorschriften der jeweiligen Promotionsordnung zu beachten sind. Für die gemeinsame Verteidigung an der TU Bergakademie Freiberg wurden bspw. zwei Prüfungskommissionen vonseiten der Hochschulen bestellt. Diese setzten sich aus acht polnischen und sechs deutschen Professoren zusammen. Aufgrund des polnischen Promotionsrechts darf keine gutachterliche Tätigkeit vom Betreuer ausgeführt werden. Daher wurden neben den deutschen Gutachtern zwei externe Gutachter der University of Technology in Danzig und der AGH University of Technology in Krakau hinzugezogen. Zusammenfassend lässt sich jedoch resümieren, dass die Vorteile für die berufliche und persönliche Entwicklung, die mit dem Erwerb eines binationalen Dokortitels einhergehen, den Mehraufwand deutlich übersteigen.

Mit der Doppelpromotion zur Qualitätsverbesserung

Im Rahmen meines binationalen Promotionsverfahrens forschte ich auf dem Gebiet des wertschöpfungsübergreifenden Qualitätsmanagements für innovative Konstruktionswerkstoffe. Am Beispiel der gesamten Prozesskette der Gießwalzbänderzeugung der Magnesiumlegierung AZ31 wurde ein Modell zur Qualitätssicherung unter Einbeziehung der speziellen Interessen der Automobilindustrie entwickelt. Kernstück bildet die Form des Dickenquerprofils des Gießwalzbandes, dessen Ausbildung als ein ausschlaggebender Faktor für die Entwicklung weiterer Qualitätsfaktoren identifiziert wurde. Die Analyse der zum Teil noch unbekanntem Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern und den Qualitätskennzahlen erfolgte mit dem Partial Least Square Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Ansatz. Bei

dem PLS-SEM Ansatz handelt es sich um eine multivariate Analysemethode, welche gegenüber kleineren Stichprobengrößen weniger empfindlich ist. Dies ist insbesondere bei komplexen Modellen von Vorteil. Das entwickelte Modell ist darüber hinaus in Teilaspekten auf andere, vergleichbare Herstellungstechnologien von neuen Konstruktionswerkstoffen übertragbar. Neben dem wissenschaftlichen Stellenwert der Forschungsergebnisse konnte eine positive Resonanz aus dem industriellen Umfeld verzeichnet werden. Die Ergebnisse der Arbeit wurden der AUDI AG in Ingolstadt

vorge stellt, um die beschriebene Methodik auf weitere Problematiken zu übertragen.

Aktuelle Aktivitäten

Auf der Grundlage der positiven Erfahrungen aus der erfolgreichen Zusammenarbeit im Rahmen der binationalen Promotion soll die Partnerschaft zwischen der Freiburger Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und der polnischen Faculty of Organization and Management weiter ausgebaut werden. Zur Festlegung der weiteren Vorgehensweise war Professor Izabela Jonek-Kowalska, Prodekanin der

Faculty of Organization and Management, im Mai zu Gast am Lehrstuhl für Industriebetriebslehre/Produktionswirtschaft & Logistik. Hauptziel des nächsten Schrittes ist die Erstellung von Äquivalenzprotokollen für einen Doppelabschluss für Studenten beider Fakultäten. Zum Ausbau der Zusammenarbeit in der Lehre hielt ich zusätzlich im Juni Vorlesungen zu den Grundlagen des Qualitätsmanagements an der Faculty of Organization and Management.

Kontakt: Dr. Claudia Kawalla
claudia.kawalla@bwl.tu-freiberg.de

Reisetagebuch: Auf den Spuren Alexander von Humboldts durch Westsibirien, den Altai und Ostkasachstan

190 Jahre Humboldts Sibirien- und 150 Jahre Cottas Altai-Reise

Andrea Docekal, Ferdinand Damaschun, Carsten Eckert, Gerhard Heide



Foto: Marian Röder und Jonas Eder vom asymmetry collective, Chemnitz

Westsibirische Steppe zwischen Tobolsk und Omsk

Zwei Edelmetalle, Gold und Platin, gaben den Anlass für die zweite große Forschungsreise, die Alexander von Humboldt (1769–1859) in seinem Leben unternahm. Der russische Zar Nikolaus I. (1796–1855) und sein Finanzminister Georg von Cancrin (1774–1845) hatten den berühmten Naturforscher und Bergsachverständigen eingeladen, um die Vorkommen der beiden Metalle im Ural zu untersuchen und zu bewerten. Insbesondere ging es um die Frage, ob es sich lohne, auf Platin als Münzmetall längerfristig zu setzen. Humboldt startete am 12. April 1829 in Berlin und reiste über St. Petersburg und Moskau entlang der Wolga bis Kasan, dann durch den Ural, durch Westsibirien in den Altai und über das Kaspische Meer wieder zurück. Auf der 260-tägigen Reise legte er zu diesem Zeitpunkt schon 60-jährige Naturforscher ca. 19.000 Kilometer zurück.

Seine Begleiter waren der Mediziner, Zoologe und Botaniker Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876) und der Mineraloge Gustav Rose (1798–1873). Humboldt widmete sich auf der Reise vorwiegend geomagnetischen und astronomischen Beobachtungen sowie der physischen Geographie. Auf seine Anregung hin ließ die russische Regierung anschließend ein Netz von Messstationen anlegen, die unter anderem Luftdruck, Temperatur, Windrichtung und Niederschlagsmengen erfassten. Die so ermittelten Daten dienten Humboldt dann wiederum als empirische Grundlage für das 1843 erschienene Werk über Zentralasien. Die Reise Humboldts durch Russland war auch der Anlass für eine binationale Forschungs- und Studienreise vom 22. Mai bis zum 10. Juni 2019

auf seinen Spuren, die von Petersburger Kollegen der Russischen Akademie der Wissenschaften angeregt und vorbereitet wurde. Maßgeblich organisiert und finanziert wurde sie von der Freiburger Partneruniversität St. Petersburg Mining University (Gorny). Von deutscher Seite leitete, organisierte und finanzierte sie Prof. Gerhard Heide, Professor für Mineralogie und Direktor der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg.

Die 18-köpfige Teilnehmergruppe setzte sich aus Mineralogen und Geologen, Historikern, einem Zoologen, einer Limnologin und einer Ökologin zusammen. Das Alter der Teilnehmer umfasste eine Spanne von 19 bis 69 Jahren. Zu den sieben deutschen Teilnehmern zählten auch

der stellvertretende Generaldirektor a. D. des Museums für Naturkunde Berlin, Dr. Ferdinand Damaschun, der einen Teilabschnitt unserer Reiseroute bereits in den 1990er Jahren mit der Deutschen Assoziation der Absolventen und Freunde der Moskauer Lomonossow-Universität e. V. (DAMU) absolviert hatte, sowie der Geologe und Wissenschaftshistoriker Carsten Eckert vom Sammlungs- und Forschungsverbund Gotha. Zwei junge Künstler, Jonas Erler und Marian Röder (asymmetry collective, Chemnitz), begleiteten die Gruppe filmisch und fotografisch.

Die Teilnehmer der Reise hatten das Ziel, die naturräumlichen und montanwirtschaftlichen Veränderungen der Regionen seit der Humboldt- und auch der DAMU-Reise zu studieren, Belegmaterialien zu sammeln und Kontakte zu Universitäten und regionalen Akteuren durch Vorträge und Gesprächsrunden auf- und auszubauen.

Am 22. Mai ging die Reise mit dem Flugzeug von Berlin-Schönefeld nach St. Petersburg los. Nachdem sich am Abend alle Teilnehmer kennenlernten, fand am Vormittag des 23. Mai auf Einladung des Rektors der St. Petersburger Bergbau-Universität, Prof. Vladimir Litvinenko, ein Festakt statt, zu dem das Projekt „Auf den Spuren Alexander von Humboldts und Bernhard von Cotta durch Westsibirien, den Altai und Ostkasachstan“ eröffnet wurde. An die Festveranstaltung schloss sich eine Pressekonferenz an, an der von deutscher Seite Prof. Heide und Dr. Damaschun teilnahmen. Die anderen Exkursionsteilnehmer wurden von Maria Logunova, Kustodin des Bergbaumuseums, durch die beeindruckenden Säle geführt. Am Abend flog die Gruppe nach Tjumen, wo sie am 24. Mai in der Universität Tjumen empfangen wurde. Nach der Begrüßung schloss sich die Besichtigung des Museums der Technik und Wissenschaft und der geologisch-mineralogischen Abteilung an. Zu der anschließenden Stadtbesichtigung gehörten auch der Besuch des Hauses, in dem Humboldt während seines Aufenthalts übernachtet hatte, und des Gedenksteins des in Tjumen verstorbenen deutschen Naturforschers Georg Wilhelm Steller (1709–1746).

Bei freundlichem Wetter reiste die Gruppe am 25. Mai über eine gut ausgebaute Straße durch weite Ebenen und Birkenwälder nach Tobolsk. Im 18. und 19. Jahrhundert war dies die Hauptstadt Sibiriens. Die Stadt verfügt über einen Kreml und gut erhaltene historische Holzhäuser.

Am Nachmittag hielt Dr. Damaschun vor Schülern einen Vortrag über Humboldt. Anschließend fand im architekturhistorischen Museum eine Gesprächsrunde mit Tobolsker Bürgern statt.

Am Morgen des 26. Mai brachen einige Reisetilnehmer zu einer Schifffahrt auf dem Irtysh auf, um die steil abfallenden Uferböschungen mit sichtbaren Zeichen der Erosion zu beproben. Teepause war auf einer Insel in der Nähe der Mündung des Flusses Tobol in den Irtysh, auf der auch Humboldt mit dem Generalgouverneur Iwan Weljaminow (1771–1837) bei einer Tasse Tee verweilt haben soll.

Während ein Teil der Gruppe nachmittags eine Bibliothek und das architekturhistorische Museum besuchten, sammelten die anderen Glas- und Tiegelproben auf dem Haldengelände einer ehemaligen Glasfabrik in Verkhniye Aremzyany, einem Dorf in der Nähe von Tobolsk. Hier betrieb die Mutter Mendelejews eine Glasflaschenfabrik für Chemikalien. Mendelejew verbrachte an diesem Ort einen Teil seiner Kindheit.

Am 27. Mai ging es weiter durch die endlosen Weiten Sibiriens mit Zwischenstopp in Abatskoje, wo die Gruppe die paläontologische Abteilung des dortigen Museums besuchte, in der Fossilien von 17 Wirbeltierarten aus der Gegend zu sehen waren. In zehn Jahren Forschungsarbeit, zum großen Teil bürgerwissenschaftlicher Art, wurden mehr als 3.000 Funde aufgesammelt und präpariert, darunter auch Überreste von Mammuts. In diesem Ort war 1781 auch Peter Simon Pallas (1741–1811), der berühmte Geograf und Berliner Forschungsreisende, der im Auftrag von Katharina II. als erster Wissenschaftler diese Region untersuchte. Anschließend ging es weiter in das Dorf Krutinka, wo die Gruppe zweimal übernachtete.

Die Reise führte am 28. Mai in die 1761 gegründete Siedlung Panovo, wo die Besichtigung des Schulmuseums einer Mittelschule erfolgte. Schülerinnen stellten Exponate aus verschiedenen Bereichen vor. Es war eindrucksvoll, wie sie sich auf den Besuch der Gruppe vorbereitet hatten und welche kleinen Geschichten sie erzählten. Spontan erhielten vier der Schülerinnen eine Einladung von der wissenschaftlichen Direktorin des Museums an der Bergbau-Universität, Dr. Elena Kotova, zu der zwei Wochen später stattfindenden Sommerschule an der Petersburger Bergbau-Universität. Es schloss sich eine Wanderung zu einem

Relikt-Kiefernwald an, den bereits Peter Simon Pallas im 18. Jahrhundert besucht und beschrieben hatte.

Nach der Besichtigung des historischen Gebietsmuseums von Krutinka ging es auf eine lange Fahrt auf überwiegend schlecht ausgebauten Straßen durch einzigartige steppenartige Landschaft mit kleinen Wäldern, vielen Seen, Flüssen und Sümpfen. Bis vor kurzem war es hier noch kalt gewesen, inzwischen erwachte die Natur zu neuem Leben. Die Reisetilnehmer wurden auch Zeugen von zahlreichen Waldbränden, die großen Schaden in der Nähe von Siedlungen anrichten können. Nächster Stopp war in Bolschije Uki. Der Ort liegt am ehemaligen Sibirskij Trakt, der alten Heer- und Handelsstraße, die quer durch Sibirien führte und bei Wladiwostok den Pazifischen Ozean erreichte. Auf dieser Route waren im 19. Jahrhundert zahllose nach Sibirien Verbannte meist zu Fuß unterwegs. Das Verbannungssystem war ein Teil der Siedlungspolitik unter den Zaren. Im Museum von Bolschije Uki wird dieser Teil der russischen Geschichte in besonders eindrucksvoller Form thematisiert. Auch Alexander von Humboldt nutzte während seiner Reise diese Straße und hatte hier einen Aufenthalt, worauf die Einheimischen heute sehr stolz sind, wie sie während des Museumsbesuchs berichteten. Übernachtet wurde in der Provinzstadt Tara, einst ein bedeutendes Zentrum des Handels in Westsibirien, bevor am nächsten Tag die Weiterfahrt nach Omsk, der achtgrößten Stadt Russlands mit mehr als einer Million Einwohnern, folgte.

Am 1. Juni fand am Vormittag die Besichtigung der Sonderausstellung „Steinerner Regenbogen“ im Staatlichen Historisch-Heimatkundlichen Museum Omsk statt. Danach trennte sich die Gruppe. Während einige noch in Omsk blieben, um im Deutsch-Russischen Haus über Alexander von Humboldt und die gerade stattfindende Exkursion zu berichten, fuhr der andere Teil der Gruppe in das 850 km entfernte Susun. Dort standen eine Pressekonferenz bei der Gebietsverwaltung und der Besuch einer historischen Münzstätte auf dem Plan. Aufgrund des Waldreichtums der Umgebung wurde in Susun im Jahr 1764 auf Befehl von Katharina II. eine Kupferhütte errichtet. Dort wurden bis 1914 Erze aus der nördlichen Altairegion verarbeitet und das gewonnene Kupfer vor Ort zu Münzen geprägt. Die „Sibirskaja moneta“ war das gängigste Zahlungsmittel im asiatischen Teil des Russischen Reiches zum Ende des



Konferenz zur Eröffnung der Studienreise in der Aula des SPMU am 23. Mai 2019



Auf dem Irtysh



Zwischenbilanz in Ust-Kamenogorsk



Am Kolyvan-See

Foto: (6): Marian Röder und Jonas Eker vom asymmetry collective, Chemnitz



Probenahme, ehemalige Glasfabrik der Familie Mendelejew in Verkhniye Aremzyany



Peter-Simon-Pallas-Gedenktafel in der Nähe von Panovo



Podiumsdiskussion „Humboldt-Intervention“ am 17. Juni 2019, Museum für Naturkunde Berlin

Foto: Thomas Rosenthal, Berlin

18. bis Mitte des 19. Jahrhunderts. Auf der Nominalseite der Münze sind zwei Zobel abgebildet, die auch im Wappen des Ortes auftauchen. Auf Initiative von Bürgern und Politikern vor Ort gelang es, mit regionalen Fördermitteln die historische Münzprägeanstalt als Museum wiederaufzubauen und auf internationales Niveau zu heben. Susun war eine der drei Münzstätten im zaristischen Russland. Heute werden in dem kleinen Ort jährlich mehr als 35.000 Besucher gezählt, wobei Führungen nicht nur auf Englisch, sondern auch auf Chinesisch angeboten werden, was das touristische Einzugsgebiet der Altairegion kennzeichnet. Für die Reisetilnehmer gab es die Gelegenheit, auf den Halden der Kupferhütte Schlacken zu sammeln.

Die in Omsk verbliebenen Reisetilnehmer fuhren mit dem Nachtzug nach Barnaul und trafen dort Frau Prof. Marion Tichomirowa, die ab hier an der Reise teilnahm. Der Zeitunterschied zu Deutschland betrug inzwischen fünf Stunden.

Am Mittag des 2. Juni waren alle Exkursionsteilnehmer in Barnaul, der modernen Hauptstadt der russischen Region Altai im Süden Westsibiriens, angekommen. Nachmittags standen der Besuch mehrerer Museen sowie die Besichtigung der ehemaligen Kupfer- und Silberhütte auf dem Programm. 1766 kam hier eine von Iwan Polesnow (1728–1766) erfundene 2-Zylinder-Dampfmaschine zum Einsatz. Barnaul entwickelte sich zum ersten industriellen Zentrum Sibiriens, das auch Alexander von Humboldt besuchte. Er traf sich unter anderem mit dem aus Thüringen stammenden Naturforscher Friedrich August von Gebler (1781–1750), der sich als Grubenarzt für den Altaischen Bergbaudistrikt in der Stadt niedergelassen hatte. Gebler gründete in Barnaul ein naturkundliches Museum, in dessen Gästebuch sich Alexander von Humboldt am 23. Juli 1829 als erster prominenter Besucher eintrug.

Am nächsten Vormittag besuchten einige Reisetilnehmer das historische Archiv von Barnaul. Dr. Vitaly Vedernikov, der seit drei Jahrzehnten zur Bergbaugeschichte des Altai forscht und die Gruppe seit Susun begleitete, stellte dafür eine repräsentative Auswahl von Dokumenten, historischen Karten und Grubenrissen zusammen. Es fanden sich Zeugnisse von Kampagnen für die Anwerbung sächsischer Bergleute für das Kolywaner Gebiet im 18. Jahrhundert. Eine Überraschung waren handfeste Indizien für die Herkunft von Grubenkarten, die

heute im Kupferstichkabinett der Stiftung Schloss Friedenstein in Gotha aufbewahrt werden und Ansatzpunkte für weitere Recherchen nicht nur in Barnaul, sondern auch im Freiburger Universitätsarchiv bieten. Anschließend ging die Fahrt weiter nach Smeinogorsk (Schlangenberg), einer Kleinstadt im Erz-Altai und ehemaligem Zentrum des Silberbergbaus dieser Region. 1735 wurden hier reiche Silbererzvorkommen entdeckt und daraufhin zahlreiche Bergwerke aufgeföhren. Wie in vielen anderen Bergwerken in der Sowjetunion wurde auch der zuerst untertägige Abbau in einen Tagebau umgewandelt. Insgesamt wurden zwischen 1747 und 1921 über 2 Millionen Tonnen Erz gewonnen, aus denen 175 t Silber und 300 kg Gold erschmolzen wurden. Von dem einstigen Berg, dessen Höhe heute unbekannt ist, ist eine pingentartige Grubenlandschaft übriggeblieben. Es lässt sich nur schwer erahnen, dass die Stadt an der Schwelle zum 19. Jahrhundert ein Zentrum von Innovation und Hochtechnologie war. Für den Transport der Erze wurde zwischen 1806 und 1809 der erste gusseiserne Schienenweg Russlands von 2 km Länge errichtet, auf dem die Erzloren mit Pferdekraft bewegt wurden. Sein Initiator, der Bergingenieur Pjotr Frolow (1775–1839) und spätere Gouverneur der Region Tomsk, war einer von Humboldts Gastgebern im Jahr 1829.

Am 4. Juni ging die Reise weiter nach Kolywan, nicht ohne – wie am Tag zuvor – am Kolywan-See haltzumachen, der auch von Cotta wegen seiner berühmten Granitfelsen mit sogenannter Wollsack-Verwitterung besucht wurde. In Kolywan hatte Alexander von Humboldt die schon damals über die Grenzen Russlands hinaus berühmte Steinschneiderei besichtigt, wovon eine Tafel an einem der Werksgebäude zeugt. Cotta brachte von hier eine Sammlung von 72 fünfseitig polierten Gesteinstäfelchen mit, die sich heute in der Petrologischen Sammlung der TU Bergakademie Freiberg befinden. Die Besonderheit dieser Schleiferei bestand in der Anfertigung von zum Teil überdimensionalen Schmuckvasen aus Naturstein, die vielfach aus Monolithen geschliffen wurden. Die Eremitage in St. Petersburg beherbergt zahlreiche dieser Kunstwerke, u. a. die „Zarin der Schalen“, die hier aus drei Gesteinsblöcken aus Revnev-Jaspis zwischen 1820 und 1843 hergestellt wurde. Mit 16 t Gewicht und Maßen von ca. 5 × 3,2 × 2,6 m gehört sie zu den größten Steinschleifarbeiten der

Welt. Zum Abschluss seiner Russland-Reise erhielt Humboldt ein Geschenk von Nikolaus I. – eine Kolywaner Steinvasen aus Beloretzker Aventurin-Quarzit, die in der Alten Nationalgalerie in Berlin zu besichtigen ist. Noch heute wird in Kolywan produziert, wobei man traditionell Gesteine aus der Umgebung verarbeitet. Besonders eindrucksvoll waren die während der Werksführung gezeigten Florentiner Steinarbeiten. Hierbei werden nach Vorlagen Bilder und Ornamente aus Plättchen von harten Gesteinen (Jaspis, Quarzit, Porphyrit) gelegt. Anschließend folgte noch eine Reihe von Probenahmen an verschiedenen Orten, darunter auf einer Schlackenhalde und in der Grube vom Schlangenberg.

Am Vormittag des 5. Juni fuhr die Gruppe in den Steinbruch Lasurka, um dort nach Spuren des Erzabbaus zu suchen. Es konnten sowohl schöne Bildungen von sekundären Kupfermineralen – Malachit und Azurit – besichtigt und gesammelt werden als auch Aufbereitungsrückstände aus einem ehemaligen Spülsandteich. Dann folgte die Besichtigung des Heimatkundemuseums in Smeinogorsk, in dem die Entwicklung des Bergbaus in der Region thematisiert ist. Am Nachmittag führte die Reise über die russisch-kasachische Grenze nach Öskemen, dem früheren Ust-Kamenogorsk, der Hauptstadt des Gebietes Ostkasachstan. Sie liegt im westlichen Teil des Altai-Gebirges an der Mündung des Flusses Ulba in den Irtysch und entwickelte sich zu Zeiten der Sowjetunion zu einem Zentrum des Bergbaus und der Metallurgie.

Der Besuch der Bergbaustadt Ridder stand am 6. Juni auf dem Programm. Sie wurde 1786 gegründet und nach dem Deutsch-Balten Philipp Ridder (1761–1838) benannt, der die hiesigen Erzvorkommen entdeckte. Die Stadt ist durch die Gewinnung und Verarbeitung von Buntmetallen geprägt. Zunächst stand die Besichtigung des historisch-heimatkundlichen Museums auf dem Plan, wo sich nach einer Führung ein Treffen mit einem Vertreter der Stadtverwaltung, einem Geologen, dem Leiter des Naturreservats und einem Mitarbeiter des botanischen Gartens der Stadt sowie ein Empfang im Deutschen Kulturzentrum anschlossen. Nachmittags führte ein hiesiger Geologe zu Plätzen, die bereits Alexander von Humboldt besuchte, und berichtete viel Interessantes über die Geologie, die Lagerstätte, den Erzabbau sowie die Aufbereitung und die Verhüttung.



Foto: Marian Röder und Jonas Eder vom asymmetry collective, Chemnitz

Probenahme auf einem stillgelegten Tailing bei Ridder, Kasachstan

Am 7. Juni ging es nochmals nach Ridder, da hier weitere bergbaulich interessante Orte zu besichtigen waren. Auch da war die Probenahme von Gesteinen, Schlacken und Spülsanden erfolgreich wie auch die von einer Vulkanbrekzie, im Russischen als Jaschma (Jaspis, eine farbige, feinstkristalline Varietät von Quarz) bezeichnet, die früher in der Steinschneiderei von Kolywan verarbeitet wurde.

Am Vormittag des 8. Juni trafen sich die Teilnehmer der Studien- und Forschungsreise zu einer Abschlussbesprechung über den Verlauf der Reise und leiteten daraus Ideen und Pläne für die weitere gemeinsame Arbeit der beteiligten Institutionen ab. Alle waren sich einig, dass die Reise außerordentlich erfolgreich war (zumindest hat Prof. Heide ca. 150 kg Proben gesammelt und zahlreiche Bücher gekauft) und dass damit ein Grundstein für weitere Projekte und Forschungsreisen gelegt wurde.

Aus Anlass des Studienbeginns Alexander von Humboldts an der Bergakademie Freiberg vor 228 Jahren fand am 14. Juni in der Alten Mensa ein Festakt statt, mit dem die Freiburger Universität

sein Wirken würdigte. Dazu waren mehrere Petersburger Reisetilnehmer zu Gast in Freiberg.

Zum Abschluss der Reise fuhren am 17. Juni einige deutsche und russische Teilnehmer nach Berlin, wo am Vormittag während einer Führung in der Staatsbibliothek Dominik Erdmann, der den Humboldt-Nachlass in Berlin und Krakau über mehrere Jahre digital erschloss, den Teilnehmern ausgewählte originale Handschriften Humboldts vorstellte. Anschließend folgten eine Buchvorstellung, eine Podiumsdiskussion und die Ausstellungseröffnung anlässlich des 250. Geburtstages von Alexander von Humboldt im Museum für Naturkunde in Berlin. Das Museum besitzt über 1.100 Stufen, die durch Alexander von Humboldt in die Sammlung gelangten. Die diesem Fundus gewidmete umfangreiche und reich bebilderte Publikation, herausgegeben von Dr. Ferdinand Damaschun und Dr. Ralf Thomas Schmitt, dem Kustos der Mineralogischen Sammlungen des Museums, stellt Minerale und Gesteine aus der Sammlung vor. Begleitend dazu zeigt eine „Humboldt-Intervention“ im

historischen Mineraliensaal ausgewählte Originalobjekte. Die Podiumsdiskussion, die die Themen Humboldt, Ökologie und Rohstoffe zum Gegenstand hatte, wurde von Prof. Ursula Klein vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, von Prof. Irina Talovina von der St. Petersburger Bergbau Universität und von Prof. Gerhard Heide von der TU Bergakademie Freiberg geführt.

Ab 29. August wurden einige Exponate der Humboldt-Forschungsreise in einer kleinen Sonderausstellung in der Universitätsbibliothek Georgius Agricola für 6 Wochen der Öffentlichkeit präsentiert, bevor sie am 21. und 22. November einen Workshop zur 12. Konferenz des Deutsch-Russischen Rohstoffforums in St. Petersburg begleiteten. Zu beiden Veranstaltungen stellten auch die anfangs erwähnten jungen Künstler ihre Sicht auf die natur- und geschichtswissenschaftliche Studienreise vor. Am 14. September berichtete Dr. Damaschun in St. Petersburg auf einer Konferenz der Russischen Akademie der Wissenschaften über die von Humboldt und 2019 auf seinen Spuren veranstaltete Reise.

„Dieses Jahr ist mir das wichtigste meines unruhigen Lebens geworden.“
Alexander von Humboldts russisch-sibirische Reise im Jahr 1829

Friedrich Naumann¹

Im Jahr des 250. Geburtstags des großen Gelehrten Alexander von Humboldt (1769–1859) rücken dessen Leistungen als Naturwissenschaftler und Weltentdecker, Forscher und Abenteurer, Geologe und Humanist ein weiteres Mal ins Bewusstsein; denn er begründete die moderne Landeskunde, erforschte die unbekanntesten mittelamerikanischen Länder, entwickelte die Pflanzengeographie für einen gesamten Kontinent und sorgte sich um die Popularisierung der Wissenschaft. Dabei war er auch Vordenker für ein ökologisch fundiertes Naturbild und ein sozial akzeptables Technikverständnis. Von Anbeginn stellte er sich der Herausforderung, die Natur in ihrer Gesamtheit zu verstehen und zu erklären. Sein weltberühmtes Buch *Kosmos* erhielt deshalb den Zusatz „Entwurf einer physischen Weltbeschreibung“. Nicht zuletzt war dieses Alterswerk das Resultat eines kaum nachvollziehbaren Enthusiasmus, mit dem er sich ein Leben lang dem Studium und der Erklärung der Natur verschrieben hatte und dafür weder finanziellen Aufwand noch Strapazen scheute.

Ein Jugendtraum Humboldts waren Reisen in ferne, von Europäern wenig besuchte Länder. Dabei stand das „altweltliche“ Asien an vorderster Stelle, wollte er doch nicht nur die Neue Welt, sondern gleichermaßen auch Sibirien und Indien erforschen, um dadurch die Anden mit dem Himalaja und die venezolanischen Llanos mit den sibirischen Steppen vergleichen zu können. Die Reise nach Indien wurde leider verhindert, dafür erhielt Humboldt vom russischen Finanzminister Graf Georg von Cancrin das Angebot für eine neunmonatige Expedition ins Zarenreich. Er folgte damit dem Naturforscher Daniel Gottlieb Messerschmidt, der im Auftrag des Zaren Peter des Großen bereits 1719 zum Zwecke der Sammlung von Raritäten und Heilkräutern zu einer siebenjährigen Expedition nach Sibirien aufgebrochen war. Auf dessen Agenda stand jedoch sehr viel mehr: die Beschreibung besonders interessanter Altertumsdenkmäler, Zeichnung von Pflanzen und Tieren, Anlegung von Herbarien, Forschungen zur Geografie, Geschichte, Ethnografie sowie zu den Sprachen der Regionen.

Sein sibirisches Tagebuch diente schließlich zur Vorbereitung der zweiten,

unter Leitung von Vitus Bering durchgeführten Expedition (1733–1743, die sog. Zweite Kamčatka-Expedition). Eine neue Welle von Forschungsreisen begann unter der Zarin Katharina II., wobei es in den vorgelegten Instruktionen hieß: „Die Hauptabsicht dieser Expedition ist zweifach: der Nutzen des Reiches und die Verbesserung der Wissenschaften.“² Hauptakteure waren der Berliner Naturforscher Peter Simon Pallas und der Botaniker Johann Georg Gmelin aus Tübingen, gefolgt von Johann Peter Falk, Ivan Lepechin und Johann Gildenstädt. Der „Merkwürdigkeiten“ genannte wissenschaftliche Ertrag der von 1768 bis 1774 währenden Expedition war enorm und schlug sich in zahlreichen Veröffentlichungen nieder, von denen das 2.000 Seiten umfassende Reisetagebuch – ergänzt um Wissenswertes von den Reisen von 1793 bis 1794 – insofern herausragt, als es in deutscher Sprache erschien und bis 1812 sieben Auflagen in französischer, deutscher und englischer Sprache erfuhr. Diese wissenschaftlichen Unternehmungen dienten hauptsächlich der umfassenden Aufklärung des noch weitgehend unerforschten Reiches, verbunden mit Vorschlägen zur Verbesserung der russischen Wirtschaft. Wissenschaft und Technik nahmen im Ergebnis der Forschungsreisen einen gewaltigen Aufschwung; denn das von den Gelehrten der St. Petersburger Akademie gesammelte geografische, mineralogische, botanische, zoologische und ethnologische Material erwies sich als ergiebige Quelle für weiterführende Forschungen. Zugleich erhielt das russische Reich entscheidende Impulse für sein wirtschaftliches, gesellschaftliches und kulturelles Gedeihen.

An der Wende zum 19. Jahrhundert kam es in Russland zu einer grundlegenden Umgestaltung der Bildungs- und Forschungsorganisation. Von großem Einfluss waren die politischen Ereignisse; denn nach dem Sieg über Napoleon konnte das Land sein Territorium wesentlich vergrößern, an internationalem Ansehen gewinnen und seine Wirtschaft stabilisieren.

Vor diesem Hintergrund wandte sich die russische Regierung bereits 1827 an

Humboldt und ersuchte um Rat im Für und Wider bezüglich der Einführung einer Platinwährung, verfügte das Land doch über erhebliche Vorräte an diesem eher seltenen Metall. Mit der dafür vorgeschlagenen Expeditionsreise bot sich schließlich die einmalige Chance, das Bild, das ihm „in unbestimmten Umrissen [...] fast ein halbes Jahrhundert lang vor der Seele schwebte“, zu vervollkommen – wie er später in seinem *Kosmos* resümierte.³ In Cancrins *Pro Memoria* hieß es zudem: „Der Wunsch der Regierung ist einzig, die Wissenschaft zu befördern, und, soweit es angeht, der Gewerbsamkeit Rußlands besonders im Bergfach dabei zu nützen.“⁴ Das entsprach in tiefstem Sinne auch Humboldts Intentionen und fügte sich gediegen in sein umfassendes, transdisziplinäres Wissenschaftsprojekt ein.

Gemeinsam mit dem Mineralogen Gustav Rose (1798–1873), dem Botaniker Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876), seinem Diener Johann Seifert und dem russischen Bergbeamten Dmitrij S. Men'senin trat Humboldt, wenige Wochen vorher noch zum „Wirklichen Geheimen Rath mit dem Prädikat Excellenz“ ernannt und damit der Würde eines Ministers gleichgestellt, am 12. April 1829 die Reise an. Die russische Regierung sorgte in großzügiger Weise für die finanzielle und materielle Ausstattung: Für die Fahrt von Berlin nach St. Petersburg und zurück zahlte sie 1.200 Dukaten, für die eigentliche Reise 20.000 Papierrubel. Außerdem stellte sie Wagen, Postpferde sowie Feldjäger und garantierte die jeweiligen Übernachtungen sowie die Sicherheit.

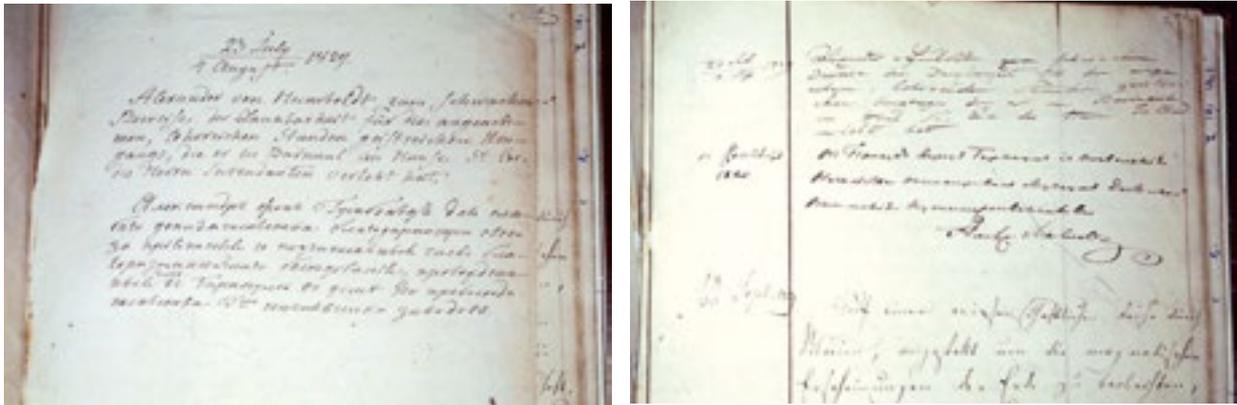
Obwohl Humboldt zunächst durch gesellschaftliche Verpflichtungen und zahlreiche „Aufmerksamkeiten“ seitens der kaiserlichen Familie aufgehalten wurde, begann er mit der eigentlichen Arbeit bereits in St. Petersburg und eröffnete das Forschungsprogramm mit astronomischen, barometrischen und magnetischen Beobachtungen – nicht zuletzt, um das mitgeführte umfangreiche wissenschaftliche Instrumentarium

³ Humboldt, A. v.: *Kosmos*. Stuttgart 1845, Vorrede.

⁴ *Alexander von Humboldt. Briefe aus Russland 1829*. Hrg. v. E. Knobloch, I. Schwarz u. C. Suckow. Berlin 2009, S. 93.

¹ Der Autor hatte Gelegenheit, im Rahmen mehrerer Expeditionen den Spuren von A. v. Humboldt durch Russland zu folgen.

² Wendland, F.: *Peter Simon Pallas (1741–1811). Materialien einer Biographie*. Teil I, Berlin/New York 1992, S. 90.



Vermerk Alexander von Humboldts in dem Buch der Eintragungen hochgeschätzter Besucher des Landeskundlichen Museums in Barnaul: „23. Juli/4. August 1829 Alexander von Humboldt zum schwachen Beweise der Dankbarkeit für die angenehmen, lehrreichen Stunden geistreichen Umgangs, die er in Barnaul im Hause S[ei]ne[r. Exc]ellenz[en]. des Herrn Intend[anten] verlebt hat.“

zu testen. Auch studierte er vor Ort die vorzüglichen Mineraliensammlungen.

In der Moskauer Universität, die ihn zum Ehrenmitglied ernennt, beeindruckten ihn vor allem die 8.000 Stufen umfassende Mineralienkollektion, die man von dem Freiburger Berghauptmann Johann Karl Freiesleben – einem Jugendfreund Humboldts aus der Freiburger Zeit – erworben hatte, sowie die anatomische Sammlung.

Über Nižnij Novgorod, Kazan und Perm gelangte man zunächst in den Ural, das erste Mittelgebirge auf der langen Reise. Besonders ergiebig war der Aufenthalt in Jekaterinburg, dem Sitz des Bergamtes. Hier besuchten sie die Münze, die Edelsteinschleiferei, verschiedene Privatsammlungen wie auch Goldseifen und Bergwerke in der Umgebung. In Anbetracht der Fülle der uralischen Mineralvorkommen bot jede der folgenden Stationen eine neue Herausforderung: die Gumeževskijer Grube, bekannt wegen ihres Reichtums an Malachit, die Korund und Smirgel führenden Marmor- und Serpentinvorkommen bei Gornožit, die Kupfergruben von Nižnij Tagil und Tura, der unerschöpfliche Eisenvorräte verzeichnende Berg Blagodat' bei Kužva,⁵ die Hüttenwerke von Alapajevsk. Als wahre Fundgruben von Edelsteinen mit Vorkommen an Zirkon, Saphir, Rubin, Pleonast, Topas, Beryll, Anatas, Amethyst und Granat erwiesen sich auch verschiedene Seifenlagerstätten. Herausragende Funde von Smaragd machte man an der Tokovaja; das prächtigste Exemplar hatte

5 Heute erinnert hier ein Denkmal an den Wogulen Stepan Čumpin, der die Russen auf das Vorkommen hingewiesen hatte, anstelle der versprochenen Belohnung aber von seinen Landsleuten als Verräter bei lebendigem Leibe verbrannt wurde.

ein Gewicht von 2¼ kg und befindet sich heute in Moskau. Dass während des Aufenthaltes im Ural auch der erste russische Diamant aufgefunden werden konnte, war insofern ein Segen, als Humboldt damit eine vielgehegte Hoffnung der Krone einzulösen vermochte; denn beim Aufbruch der Expedition hatte er gegenüber der Kaiserin versichert, „nicht ohne die russischen Diamanten vor der Monarchin wieder erscheinen zu wollen“.⁶ In einer *Systematischen Übersicht der Mineralien und Gebirgsarten des Urals* (1842) beschrieb Rose für den Ural insgesamt 93 Mineralgattungen mit 110 Spezies. Darunter befanden sich auch elf bis dahin noch nicht bekannte Minerale. Für vier Mineralarten vergab Rose neue Namen und ehrte damit zugleich Persönlichkeiten, die er kennengelernt hatte: Perowskit (zu Ehren von Lev A. Perovskij in St. Petersburg), Cancrinit (zu Ehren von Graf Cancrin), Tscheffkinit (Konstantin V. Čevkin war Chef des Kaiserlichen Bergcorps in St. Petersburg) und Mengit (entdeckt von Johannes Menge aus Miass).⁷

Der weitere Weg führte zunächst nach Tobolsk, der an den Ufern des Irtyš gelegenen Hauptstadt Westsibiriens. Hier sollte der „Wendepunkt“ der Route sein. Humboldt entschloss sich jedoch, vom ursprünglichen Plan abzuweichen und

6 Der Diamant wurde in die Berliner Königliche Mineralogische Sammlung aufgenommen und ist heute im Mineralsaal des Museums für Naturkunde in jener Vitrine ausgestellt, die Gustav Rose und der Sibirischen Reise gewidmet ist.

7 Vgl. dazu: Rose, G.: *Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere auf Befehl Sr. Majestät des Kaisers von Rußland im Jahre 1829 ausgeführt von A. v. Humboldt, G. Ehrenberg und G. Rose. Mineralogisch-geognostischer Theil und historischer Bericht der Reise.* 2 Bde. Berlin 1837–1842.

die Reise in Richtung Altai fortzusetzen. Diese Erweiterung der Reisepläne um 2.970 Werst⁸ erfolgte vor allem in der Hoffnung, endlich seltene Tier- und Pflanzenarten zu finden – der eher triste Ural bot dazu kaum Gelegenheit. So gelangte man trotz zahlloser Insektenschwärme und Klagen über die „sibirische Pest“ und den Milzbrand in der Barabasteppe zunächst in die sibirische Metropole Barnaul, dem Hauptumschlagplatz für das Silber des Altai. Zweimal jährlich wurden von hier aus 100 Pud Silber – das sind über 16 Tonnen – in Karawanen über viereinhalftausend Werst nach St. Petersburg transportiert.

Im eigentlichen Altai beeindruckte vor allem der See von Kolyvan mit „Granitfelsen von der sonderbarsten Form, die [...] sich ganz plötzlich und unmittelbar aus der Steppe erhoben [...] wie kleine einzeln [...] stehende Altäre, andere fernere wie Mauern und Ruinen alter Burgen“⁹ – gemeint war die sonderbare Wollsackverwitterung der Granite (siehe auch Abbildung auf Seite 131).¹⁰



Granite am Kolyvansee mit der typischen Wollsackverwitterung

8 1 Werst = 1,06678 km.

9 Rose, G., a. a. O., S. Bd. 1, S. 524.

10 Vgl. dazu auch Renovantz, H. M.: *Mineralogisch-geographische und andere vermischte Nachrichten von den Altaischen Gebürgen Russisch Kayserlichen Antheils.* Reval 1788.

In der Nähe von Kolyvan befand sich auch die silber- und goldführende Grube von Zmeinogorsk (Schlangenberg), aus der man bereits mehr als elf Tonnen Silber gewonnen hatte. Die Reise führte weiter nach Ridderskij und Zyrjanovsk, wo erneut Gruben befahren und geologische Studien betrieben wurden. Einen großen Eindruck hinterließen vor allem die mächtigen, mehr als 4.000 m hohen Berge des Zentralaltais. Humboldt schrieb an Cancrin: „*Der Ural ist freilich bergmännisch von großer Wichtigkeit, aber die eigentliche Freude einer asiatischen Reise hat uns doch erst der Altai, Koliwan, Sirianofski und Buchtoma verschafft.*“¹¹

Eine wichtige Station bildete jene Stelle, wo der Fluss Irtyš die Grenze zwischen China und Russland quert; hier kam es zu einer interessanten Begegnung mit einem chinesischen Grenzposten. Nach dem Eintritt in das „Reich der Mitte“ tauschte man in einer Jurte bei exotischer Teezeremonie zunächst Informationen aus. Schließlich erhielt Humboldt vom Kommandanten Tschin-Fu als Gastgeschenk ein handschriftlich signiertes Exemplar des chinesischen Klassikers *Geschichte der Drei Reiche*. Unter den Gegengeschenken erfreute den Chinesen vor allem der von Humboldt benutzte und ihm noch unbekanntes Bleistift. Auf dem weiteren Weg in Richtung Westen traf man auch auf Kirgisen-Horden, eine nomadisierende ethnische Minderheit an der Südgrenze des russischen Reiches. Der südliche Ural mit den Bergbauzentren von Miass, Zlatoust und Kyštym sowie dem an Edelsteinlagerstätten reichen Ilmengebirge bildete die letzte Station des montanistischen Programms. In Miass beging Humboldt am 14. September seinen 60. Geburtstag; dort ansässige Bergoffiziere sorgten für eine ehrenvolle Feier. Hier verfasste Humboldt in einem Brief an Cancrin den bemerkenswerten Satz: „*Ihnen verdanke ich, daß dieses Jahr [...] mir das wichtigste meines unruhigen Lebens geworden ist.*“¹²

Über Orenburg und Samara, entlang der Wolga und die Herrnhuter Kolonie Sarepta passierend,¹³ ging die Reise weiter

11 Humboldt an Cancrin v. 27.8.1829. In: *Alexander von Humboldt. Briefe*. a.a.O., S. 178.
12 Humboldt an Cancrin v. 15.9.1829. In: dgl., S. 184.

13 Diese Kolonie war 1765 von den Mitgliedern der Evangelischen Brüdergemeinde, auch Böhmisches Brüder genannt, mit dem Ziel der Christianisierung der Kalmykenstämme gegründet worden. Durch einen allerhöchsten Gnadenbrief vom Jahr 1767 erlangten sie Sonderprivilegien, wie das unbefristete



Das ehemalige Wohnhaus des Hüttendirektors des Miasser Werkes und der Goldfelder Petr Ivanovič Porozov; hier feierte Humboldt seinen 60. Geburtstag

bis nach Astrachan – dem Schmelztiegel unterschiedlicher Völkergruppen, befasst mit Weinbau und Fischerei, orientalischem Handwerk und Handel. Die Begegnung mit armenischen, persischen, bucharischen und indischen Kaufleuten wie auch mit Oberhäuptern der Kalmyken, Turkmenen und Kirgisen gestaltete sich zu einem besonderen Erlebnis. Bezüglich des wissenschaftlichen Programms standen jedoch vor allem die umstrittene Höhe sowie die rätselhaften Spiegelschwankungen des Kaspischen Meeres bzw. die Höhenverhältnisse in der gesamten Kaspischen Niederung zur Diskussion. „Es ist ein Glanzpunkt in meinem Leben, mit eigenen Augen dieses Binnenmeer gesehen und dessen Produkte gesammelt zu haben“,¹⁴ berichtete Humboldt seinem Bruder, bevor er sich endgültig – via Zarizyn, Voronež, Tula und Moskau – auf die Rückreise nach St. Petersburg begab.

Der Zwischenstopp in Moskau gestaltete sich nochmals zu einem besonderen Höhepunkt, sah sich die zur Universität gehörende Gesellschaft der Naturforscher sowie die honorable Professorenschaft doch erneut veranlasst, für den *Prométhée de nos jours* einen besonders pompösen Empfang auszurichten, auf dem man auch Rose und Ehrenberg ehrte: Ob ihrer Verdienste für die Erforschung des russischen Reiches erhielten sie den St. Annen-Orden 2. Klasse.

Am 13. November 1829 erreichte man wieder St. Petersburg. In der Bilanz standen nicht nur 15.000 zurückgelegte Kilometer und 12.244 Pferdewechsel auf 658 Poststationen, sondern vor allem eine überwältigende Fülle wissenschaftlicher Ergebnisse. Bis zur Rückfahrt nach Berlin verblieben noch vier Wochen, angefüllt mit Verpflichtungen verschiedenster Art

Recht auf steuerfreies Handeln, Bierbrauen und Weinanbau. Ihre befestigten Siedlungen südlich der Stadt Zarizyn zierten bald blühende Obst- und Gemüsegärten.
14 *Alexander von Humboldt. Briefe*, a.a.O., S. 202.

und gesellschaftlicher Höhepunkte in der Zarenmetropole. Humboldt, ausgezeichnet mit dem St. Annen-Orden 1. Klasse mit der Kaiserlichen Krone und reich beschenkt, nahm hier Gelegenheit, der St. Petersburger Akademie in einem ausführlichen Vortrag die Ergebnisse seiner Expeditionsreise darzulegen.¹⁵ Er entwickelte dabei vor allem Vorstellungen darüber, wie Wissenschaft, Wirtschaft und Technik in Russland entwickelt werden sollten, empfahl zudem den Aufbau eines Netzes meteorologischer und erdmagnetischer Beobachtungsstationen sowie die Gründung des Physikalischen Zentralobservatoriums in St. Petersburg. Mit der Reise begann zugleich der Aufbau fruchtbarer Beziehungen zu Russland, die sich auch für spätere Forschungsreisende als nützlich erweisen sollten.

Am 15. Dezember verließ die Expeditionsgruppe St. Petersburg; via Dorpat, Riga und Königsberg traf sie am 28. Dezember 1829 wieder in Berlin ein. Die Aufarbeitung des umfangreichen Materials dauerte einige Jahre: 1837 erschien Roses Buch *Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere auf Befehl Sr. Majestät des Kaisers von Russland im Jahre 1829 ausgeführt von A. v. Humboldt, G. Ehrenberg und G. Rose. Mineralogisch-geognostischer Theil und historischer Bericht der Reise* (2 Bde. Berlin 1837–1842), 1843 schließlich Humboldts *Asie centrale. Recherches sur les chaînes de montagnes et la climatologie comparée* (3 Bde. Paris 1843).¹⁶ Auch in seinem Alterswerk *Kosmos* hinterließ die Reise Spuren, indem die wesentlichen Stationen und Sachverhalte Erwähnung fanden und Gegenstand ausführlicher Erörterungen wurden. Bis zu seinem Lebensende unterhielt Humboldt zu wissenschaftlichen und offiziellen Kreisen Russlands weitverzweigte, für beide Seiten fruchtbare Beziehungen, die noch bis heute nachwirken.¹⁷

15 Vgl. Rede, gehalten von Alexander von Humboldt in der außerordentlichen Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften von St. Petersburg, 16./28.11.1829. In: *Alexander von Humboldt. Briefe*, a.a.O., S. 267 bis 285.

16 Das Werk umfasst etwa 1.800 Seiten sowie mehrere Tafeln und eine Karte. 1844 erschien in Berlin die deutsche Ausgabe unter dem Titel *Central-Asien. Untersuchungen über die Gebirgsketten und die vergleichende Klimatologie von A. v. Humboldt*.

17 Zur gesamten Thematik sei empfohlen: *Alexander von Humboldt und Russland. Eine Spurensuche*. Hrg. v. K. Aranda, A. Förster u. C. Suckow. Berlin 2014.

Die Alexander von Humboldt-Stiftung zu Gast an der TU Bergakademie Freiberg

Alena Fröde¹

Am 21. Juni 2019 fand an der Graduierten- und Forschungsakademie der TU Bergakademie Freiberg eine Informationsveranstaltung mit der Alexander von Humboldt-Stiftung zu deren Förderprogrammen für junge und etablierte Wissenschaftler statt. Das interessierte Publikum – ca. 25 Doktoranden und Postdoktoranden sowie Professoren und Mitarbeiter erhielt von Frau Kipper, Referentin der Alexander von Humboldt-Stiftung, Informationen aus erster Hand. Außerdem informierte Prof. Matschullat als Gutachter und Gastgeber für internationale Humboldt-Stipendiaten zu den Anforderungen an eine Stipendienbewerbung. Frau Dr. Abendroth, Institut für experimentelle Physik, als ehemalige Stipendiatin in Sydney, und Frau Hari Nandan Nath, als derzeitige Stipendiatin in Freiberg am Institut für Numerische Mathematik und Optimierung, berichteten von ihren persönlichen Erfahrungen.

Die Humboldt-Stiftung fördert seit 1953 die Wissenschaftskooperation und -vernetzung zwischen deutschen und internationalen Forschern weltweit. Seit ihrem Bestehen wurden bereits 30.000 Stipendiatinnen und Stipendiaten gefördert. An der TU Bergakademie Freiberg waren bzw. sind aber erst seit 1992 solche Stipendiaten zu Gast. Denn erst nach der Wiedervereinigung waren die nötigen Freiheitsgrade für die Vergabe von Humboldt-Stipendien gegeben. Bis heute weilten dennoch immerhin schon 46 Stipendiatinnen und Stipendiaten aus 26 Ländern Asiens, Afrikas, Europas, Nordamerikas und aus Australien in Freiberg zu Gast. Als vergleichsweise kleine Universität hat die TU Bergakademie Freiberg damit eine große und beachtliche Attraktivität für junge Forscherinnen und Forscher aus vielen Regionen der Welt.

Die Programme der Alexander von Humboldt-Stiftung nutzen keine Quoten (z. B. hinsichtlich des Männer- oder Frauenanteils). Es geht um die Förderung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern – unabhängig von ihrer Herkunft vom Fachgebiet oder vom Geschlecht. Es werden ausschließlich Personen und keine Projekte gefördert. Die AvH-Stiftung wird aus Bundesmitteln, wie z. B. dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, finanziert. Jährlich vergibt die Stiftung etwa 700 Stipendien und individuelle Förderungen an talentierte junge Leute.

So erhalten Postdoktoranden Förderungen über eine Zeit von sechs bis 24 Monaten für einen Forschungsaufenthalt. Schon erfahrene Wissenschaftler können Förderungen von über sechs bis 18 Monaten zugesprochen bekommen – mit der Auflage, dass die Promotion etwa zwölf Jahre zurückliegt. Darüber hinaus finanziert die Stiftung mit den „Alexander von Humboldt-Professuren“ auch langfristige Aufenthalte von international bereits renommierten Forschern an deutschen Hochschulen im Umfang von fünf Jahren mit bis zu fünf Millionen Euro.

Auf Basis des Feodor-Lynen-Programms der Alexander von Humboldt-Stiftung können deutsche Wissenschaftler oder Wissenschaftlerinnen im Ausland mit international herausragenden Fachleuten zusammenarbeiten. Die Gastgeberuche für „Humboldtianer“ ist auf der Website der Stiftung möglich. Die Fördervolumina richten sich nach den Lebenshaltungskosten des jeweiligen Ziellandes. Auch die Kosten für einen Aufenthalt mit der Familie im Ausland werden über die Stiftung getragen.

Die Voraussetzungen für eine Bewerbung sind auf der Website zu finden. Bewerbungen sind jederzeit möglich. Das

¹ Kontakt: Alena.Froede@grafa.tu-freiberg.de



Alexander von Humboldt
Stiftung/Foundation

Alexander von Humboldt-Stiftung

Jean-Paul-Str. 12 · 53173 Bonn

Berlin Büro

WissenschaftsForum

Markgrafenstr. 37 · 10117 Berlin

Tel. +49 (0)228-833-0

Fax +49 (0)228-833-199

E-Mail info@avh.de

Internet www.humboldt-foundation.de

Twitter <https://twitter.com/AvHStiftung>

Auswahlverfahren dauert etwa vier bis sieben Monate und wird durch fachlich ausgewiesene Gutachter durchgeführt. 60 Prozent der Bewerber werden abgelehnt; es ist allerdings möglich, ein Feedback zur eigenen Bewerbung zu bekommen und sich danach erneut zu bewerben.

Prof. Matschullat gab während der Präsentation hilfreiche Tipps und Hinweise aus seiner zehnjährigen Praxis als erfahrener Gutachter: So sind möglichst frühzeitige Bewerbungen zu empfehlen. Man sollte sich auch ausreichend Zeit nehmen, um einen geeigneten Gastgeber zu finden, denn meist ergibt sich eine lebenslange Kooperation. Beim Schreiben einer Bewerbung sollte man sich am besten in den Leser hineinversetzen und sich fragen, wie man diesen am besten überzeugt. Für die Bewerbung sind auch Empfehlungsschreiben, die auf Person und wissenschaftlichen Werdegang des Bewerbers eingehen, notwendig. Bei Fragen zur Bewerbung kann man sich jederzeit an die Alexander von Humboldt-Stiftung wenden.

Auch ohne selbst Humboldtianer zu sein, kann man als etablierter Wissenschaftler oder Professor bzw. Juniorprofessor an einer deutschen Hochschule Gastgeber werden. Derzeit fungiert Prof. Dempe, Institut für Numerische Mathematik und Optimierung, als Gastgeber für Frau Dr. Hari Nandan Nath. Frau Hari Nandan Nath stammt aus Nepal. Sie hat in kurzer Zeit promoviert und sich bei Professor Dempe, der selbst schon zweimal Gast in Nepal war, für einen Forschungsaufenthalt beworben. Hari Nandan Nath forscht nun für zwei Jahre in Freiberg und wird danach wieder an ihre Heimathochschule zurückkehren. Auch hier wird sicher in Zukunft ein langfristiger Kontakt und eine berufliche Kooperation zwischen zwei exzellenten Wissenschaftlern entstehen.

Die Graduierten- und Forschungsakademie wird in Zukunft noch weitere solcher Informationsveranstaltungen mit Stiftungen und Förderern organisieren, um damit Informationsbrücken zwischen Wissenschaftsförderern und jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der TU Bergakademie Freiberg zu schlagen.

Aus dem Protokoll der Jahresmitglieder- versammlung 2018

Begrüßung

Die Versammlung wurde satzungsgemäß einberufen. Die Tagesordnung war fristgemäß bekannt gegeben worden; es gab keine Änderungswünsche.

Der Vorsitzende, Prof. Hans-Ferdinand Schramm, begrüßte die Teilnehmer.

Im Gedenken an sieben verstorbene Vereinsmitglieder erhoben sich die Anwesenden zu einer Schweigeminute und gedachten ihrer namentlich.

Jahresbericht des Vorstands und der Geschäftsführung Mitgliederstand

Der Geschäftsführer des Vereins, Prof. Hans-Jürgen Kretzschmar, berichtete, dass der Verein gegenwärtig (am Tag der Mitgliederversammlung) 1.375 persönliche und 89 juristische Mitglieder hat.

Das Durchschnittsalter der Mitglieder liegt bei 56 Jahren. Es gab 70 Eintritte persönlicher und einen Eintritt eines juristischen Mitglieds. Dem stehen 14 Austritte persönlicher und ein Austritt eines juristischen Mitglieds sowie sieben Verstorbene gegenüber. Die Entwicklung der Mitgliederzahl wird als positiv eingeschätzt, was besonders der Arbeit der Alumni-Beauftragten zu danken ist. Reserven gibt es bei der Gewinnung juristischer Mitglieder.

Finanzbericht

Die **Einnahmen** des Vereins lagen im Jahr 2017 bei 182.287 € und 2018 mit Stand vom 23. November bei 167.809 €. Der Plan sah 162.250 € für das Gesamtjahr vor. Die Einnahmen für Zweckprojekte betragen 233.821 € im Jahr 2017 und 175.907 € bis zum 23. November 2018. Die **Ausgaben** für 2017 betragen 173.255 €. 2018 beliefen sie sich bis zum Tag der Mitgliederversammlung auf 131.778 €; der Jahresplan sah 161.250 € vor. Für Förderprojekte wurden 288.020 € 2017 und 207.337 € bis zum 23. November 2018 ausgegeben.

Der Etatentwurf für 2019 sieht Einnahmen und Ausgaben von je 161.250 € vor. Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren Exkursionen, Stipendien, Tagungen und Kolloquien, Publikationen

sowie Diplom- und Masterarbeiten. Der Verein unterstützte die Vergabe eines Friedrich-Wilhelm-von-Oppel-Preises an Michael Griesbach (Masterstudiengang Verfahrenstechnik) mit 500 € sowie die von drei Bernhard-von-Cotta-Preisen zu je 2.000 €. Für die Verleihung von sechs Agricola-Preisen wurden je 250 € zur Verfügung gestellt. Im Rahmen des Barbara-Stipendienfonds wurden 20 Laptops an studierende Migranten übergeben. Der Verein beteiligte sich an der Förderung von Deutschkursen, gab finanzielle Zuschüsse zu Krankenversicherungen und unterstützte ein interkulturelles Treffen.

Weitere Aktivitäten

Im Rahmen der Pflege von Professorengräbern auf dem Donatsfriedhof wurden die Grundpflege von 34 Gräbern sowie vier Schrifterneuerungen in Auftrag gegeben.

Aus Anlass des „Silberrauschjahrs“ 2018 wurde durch Spenden der Vereinsmitglieder Dr. Flade und Prof. Holst die Gestaltung eines im Foyer des Rathauses befindlichen Modells des ersten Silbererzfundes im Jahr 1168 durch das Vereinsmitglied Siegfried Werner (Seifen) ermöglicht. Der ebenfalls von Herrn Werner geschaffene „Große Freiburger Silberbogen“, der in fünf Bildern die Entwicklung vom Erz zur Münze thematisiert, konnte auf der Mitgliederversammlung besichtigt werden.

Bericht des Rechnungsprüfers

Herr Knull berichtete, dass die Finanzprüfung für das Geschäftsjahr bis zum 31. Dezember 2017 durch den Wirtschaftsprüfer im November 2018 vorgenommen wurde. Die Kontrolle ergab keine Beanstandungen. Die Höhe der Wertanlagen betrug zum Stichtag 543.000 €. Der Rechnungsprüfer bestätigte die ordnungsgemäße Rechnungsführung und Rechnungslegung und empfahl die Entlastung des Vorstands.

Diskussion zum Jahresbericht, Entlastung des Vorstandes, Beschluss des Etats 2018

Der Vorsitzende dankte dem Rechnungsprüfer. Zum Jahresbericht des Vorstands und zum Etatentwurf für das kommende Jahr gab es keine Wortmeldungen. Dem Antrag auf Entlastung des Vorstands für das Geschäftsjahr 2017 wurde mit drei Enthaltungen und ohne Gegenstimme stattgegeben. Der Finanzplan für das Geschäftsjahr 2019 wurde mit zwei Enthaltungen und ohne Gegenstimme verabschiedet.

Auszeichnungen der Cotta-Preisträger

Für die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise gab es nur drei Einreichungen in der Kategorie Diplom- und Masterarbeiten, denen bei Dissertationen zwölf Bewerbungen gegenüberstanden. Auf Beschluss der Preiskommission wurden deshalb drei Preise nur für Dissertationen vergeben, die Einreichungen für Diplom- und Masterarbeiten wurden zurückgestellt und sollen bei der Vergabe 2019 mitberücksichtigt werden. Prof. Brezinski gab die Preisträger bekannt:

- Dr.-Ing. David Dominic Vogt (Grundlagen, Fakultät 1),
- Dr.-Ing. Marco Wendler (Anwendungen, Fakultät 5),
- Dr. rer. pol. Michael Kausche (Grundlagen/Anwendungen, Fakultät 6).

Die Urkunden wurden durch Prof. Brezinski, Prof. Roewer und Prof. Wegert übergeben. Dr. Vogt (der dienstlich verhindert war) wurde durch Dipl.-Ing. Steve Grehl vertreten. Die Preisträger Kausche und Wendler stellten ihre Arbeiten in kurzen Vorträgen vor. Die Inhalte der Arbeit von Herrn Vogt wurden von Herrn Grehl zusammenfassend dargestellt.

Anlässlich des 50. Jahrestags ihrer Promotion wurden die Vereinsmitglieder Dr.-Ing. Klaus Ebel, Dr.-Ing. Dieter Eidner, Dr.-Ing. Reiner Engelhardt, Prof. em. Dr.-Ing. habil. Jürgen Fenk, Dr.-Ing. habil. Harald Kohlstock, Dr. rer. nat. Werner Pälchen und Prof. i. R. Dr. rer. oec. Dieter Slaby mit einer „Goldenen Promotionsurkunde“ gewürdigt. Die entsprechenden Urkunden wurden von Prof. Brezinski überreicht. Prof. em. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Förster wurde für das 50-jährige Jubiläum seiner Habilitation geehrt.

Herr Dr. Tilo Flade erhielt für seine langjährigen Verdienste als Unterstützer des Fördervereins aus den Händen von Prof. Kretzschmar die Ehrenmedaille „Sankt Barbara“.

Bericht zur Günter Heinisch-Stiftung

Prof. Brezinski informierte, dass das Stiftungsvermögen aktuell ca. 1,56 Mio. € beträgt. Jährlich konnten etwa 30.000 bis 40.000 € durch Kapitalanlagen erwirtschaftet werden. Durch den Sammler Hans-Günter Penndorf wurde für 50.000 € eine Silbererzstufe aus der Fundstelle „Weißer Hirsch“ in Schneeberg erworben, die in drei Jahrestanchen bezahlt wird.

Des Weiteren wurden die geologischen Sammlungen unterstützt, wobei die entsprechenden Projekte zur Hälfte von der Uni gegenfinanziert wurden.

Alumni-Arbeit im FAN

Die Alumni-Betreuung der Bergakademie-Absolventen geschieht im Auftrag der Universität durch zwei hochmotivierte Alumni-Beauftragte im VFF. Obwohl das FAN (Freiberger Alumni Netzwerk) und der 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 studentischen Gesprächsabende, die jährliche Absolventenversammlung im November und die Verleihung der Silbernen und Goldenen Diplome. Diese Zusammenarbeit FAN/VFF hat sich bewährt und sollte fortgesetzt werden. Die VFF-Geschäftsführung bedankt sich bei den beiden Alumni-Beauftragten, Frau Preißler und Frau Dr. Bornkamp, für ihr effizientes Wirken.

Bericht des Rektors zur Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg

Der Rektor, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, dankte dem Verein und seinem Vorstand. In seinem inhaltsreichen Bericht über aktuelle Entwicklungen und geplante Vorhaben der Universität ging er insbesondere auf folgende Themen ein:

- Struktur der Universität
- Entwicklung des Personals
- Studiengänge und Entwicklung der Studierendenzahlen
- Anzahl der Studierenden
- Studierende aus dem Ausland
- Absolventenzahlen
- Promotionen (99)/Habilitationen (2)
- Einrichtung von vier neuen Studiengängen
- Preise und Stipendien für Studierende (u. a. 82 Deutschlandstipendien)
- Werbemaßnahmen (u. a. „Zeit für neue Pioniere“)
- Sonderforschungsbereiche SFB 799 und SFB 920 der DFG
- Schwerpunktprogramm SPP 2045 der DFG
- Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie HIF
- Europäisches Ressourcennetzwerk EIT-KIC RawMaterials
- BMBF-Förderung: Modellierung von Stoffwandlungsprozessen VIRTUHCON
- Forschungsbau Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS



Jahresmitgliederversammlung 2018: Auszeichnung der Cotta-Preisträger

- Krüger-Forschungskolleg: Biohydrometallurgisches Zentrum BHMZ
 - Sächsische Allianz für material- und ressourceneffiziente Technologien AMARETO
 - 42 Erfindungsmeldungen und 28 Patentanmeldungen
 - Drittmittelleinnahmen
 - Ausschreibung von acht Tenure-Track-Professuren (Besetzung bis 2020)
 - Antrag für SFB Transregio zur Rückgewinnung kritischer Elemente aus dem Wertstoffrecycling
 - Gründung der Leichtbau-Allianz Sachsen, gemeinsam mit TU Dresden und TU Chemnitz
 - Lehr- und Forschungsbergwerk, Besichtigung mit Vertretern des EU-Parlaments
 - Gründernetzwerk SAXEED (43 Projekte betreut, elf Gründungen)
 - Personalentwicklung, Gleichstellung, Inklusion und Internationalisierung
 - Hochschulentwicklungsplan bis 2025
 - Vorstellung von sieben neu berufenen Professoren
 - Erhöhung der medialen Sichtbarkeit
- Der Vorsitzende des Vereins dankte dem Rektor. Er betonte die Wichtigkeit der Verzahnung der Universität mit lokalen Unternehmen und stellte die Idee eines Wirtschaftsstammtischs vor.

Festvortrag

„Biografie eines Absolventen – Ausgebildet an der TU Bergakademie Freiberg, mitwirkend an Tunnelprojekten weltweit“

Der Vorsitzende Prof. Schramm stellte den Vortragenden, Dipl.-Ing. Michael Tonke, vor. Herr Tonke studierte von 1989 bis 1994 an der Bergakademie Freiberg und ist Technischer Leiter des Spezialbereichs

Tunnelbau der STRABAG BMTI GmbH München. In eindrucksvollen Bildern berichtete Herr Tonke über seinen Berufs- und Lebensweg und seine Mitwirkung an Tunnelbauprojekten weltweit.

Schlusswort

Der Vorstandsvorsitzende des Vereins dankte dem Festvortragenden, den Mitgliedern des Vorstands, der Geschäftsstelle und der Redaktion der Vereinszeitschrift ACAMONTA und lud die Mitglieder zum Stadtrundgang und zur abendlichen Barabarafeier ein.

Als Termin der nächsten Mitgliederversammlung wurde der 29. November 2019 festgelegt.

Abendliche Barabarafeier

Der Vorsitzende begrüßte die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung im Festsaal der Alten Mensa zur Feier des Fests der Heiligen Barbara.

Unter dem Thema „Kulturelle Weltreise“ boten ausländische Studierende und Angehörige der Bergakademie eine eindrucksvolle Schau mit musikalischen und tänzerischen Beiträgen aus Russland, Kasachstan, China, Indien, Südafrika, Chile und England.

Die Verleihung des „Ehrenarschleders“ an den langjährigen Geschäftsführer des Vereins, Professor Hans-Jürgen Kretzschmar, durch den Vereinsvorsitzenden und die „Berggeschworenen“ bildete einen Höhepunkt des Abends.

Das nachfolgende „Berg-Büffet“ wurde sehr gut angenommen. Die abendliche Bergmusik mit dem Bergmusikcorps Saxonia Freiberg e. V. und der Gesang des Steigerliedes rundeten den Abend ab.

■ Hans-Jürgen Kretzschmar

Software, Schaum und Synergie – Jahresrückblick des Freiburger Alumni Netzwerks (FAN)

Stefanie Preißler, Constance Bornkampf



Abb. 1: Die Alumni-Datenbank in neuem Design

Das Jahresende 2018 sowie das erste Halbjahr 2019 standen weiterhin im Zeichen der Einführung des neuen Alumni-Management-Systems „alumnii“.¹

Die Zugriffszahlen belegen, dass die neue Datenbank gut angenommen wird. Ebenso ist das Feedback auf die neue Software durchweg positiv. Aktuell sind im FAN 3.937 Alumni registriert; davon sind 36 Prozent weiblich.² Gerade die ansprechende Gestaltung und einfache Handhabung des Portals wird von den Alumni gelobt. So greifen über den Desktop 65 Prozent der User, über das Smartphone 30 Prozent und über das Tablet nur fünf Prozent der User auf die Datenbank zu.³ Die Entscheidung, eine Software zu wählen, die mit verschiedenen Endgeräten kompatibel ist, hat sich daher bewährt. Der Versand des Newsletters per E-Mail an die Registrierten sowie die Anmeldung zu Alumni-Events haben sich deutlich verbessert. Viele Alumni nutzen zudem die Schnittstelle zum Online-Businessnetzwerk LinkedIn, über die sie unkompliziert ein Foto sowie Angaben zum Lebenslauf direkt in das eigene Alumni-Profil in die Datenbank hochladen. Eine wichtige Aufgabe der beiden Alumni-Beauftragten war und ist es, sich mit doppelten Einträgen sowie den inaktiven Datensätzen und ungültigen E-Mail-Adressen zu befassen. Mit der Überführung der alten Datenbank in das neue System waren bereits mehr als 1.500 solcher Profile gelöscht worden – einige auch auf direkten Wunsch der Alumni bzw. deren Nachkommen. Zuvor erfolgte ein Briefversand an in der Datenbank

hinterlegte Postadressen; kamen hier Briefe als unzustellbar zurück und ergab eine datenschutzkonforme Onlinerecherche nach dem Alumnus bzw. der Alumna kein Ergebnis, wurde das entsprechende Profil gelöscht. Der Anspruch lautet hier: Qualität geht vor Quantität. Rückmeldungen ergaben, dass einige Datensätze schon seit langer Zeit veraltet waren. Außerdem existieren Datensätze von Alumni, die generell keinen E-Mail-Zugang besitzen (diese werden auf dem Postweg kontaktiert) oder sich mit ihrem Partner, der ebenfalls in der FAN-Datenbank angemeldet ist, eine E-Mail-Adresse teilen. Nun gilt es, das neue System zu bewerben, um die Zahl der Registrierungen zu steigern. Zu diesem Zwecke informierten die beiden Alumni-Beauftragten bereits auf dem Fachnetzwerktreffen am 13. Februar 2019 die dezentralen Akteure an der TU Bergakademie Freiberg, die sich mit Alumni-Arbeit befassen. Auch in den Fakultätsräten 2 und 3 wurde das neue System vorgestellt; ein Besuch der Fakultät 1 war für Oktober 2019 geplant. Neuanmeldungen erbrachte auch eine Kooperation mit dem Businessnetzwerk LinkedIn. FAN-Mitglieder können ein kostenloses LinkedIn-Premium-Abonnement für zwölf Monate nutzen. Um den Gutscheincode zu erhalten, ist eine Registrierung im FAN erforderlich. Über das Kontaktformular in der Datenbank besteht dann die Möglichkeit, den Gutscheincode anzufordern. Bislang haben vor allem internationale Studierende der TU Bergakademie Freiberg von diesem Angebot aktiv Gebrauch gemacht. Ebenfalls gut angenommen wird die Gruppenfunktion. Momentan bestehen innerhalb der Datenbank zehn Gruppen, davon drei auf ausdrücklichen Wunsch der Alumni, nämlich: Scientific Diving Center (SDC), Junge Frauen an die Spitze, Absolventen

(und Fans) des Lehrstuhls MVT. Die Gruppen werden von eigenen Admins betreut. Diese können beispielsweise eigene Veranstaltungen – nur für Gruppenmitglieder sichtbar – einstellen.

Da die VFF-Mitglieder nicht automatisch in der kostenfreien FAN-Datenbank registriert sind, sei an dieser Stelle ein kleiner Hinweis gestattet: Aktuell besitzen 354 Vereinsmitglieder⁴ ein persönliches Profil in der Alumni-Datenbank. Neuanmeldungen unter <https://freiberger-alumni-netzwerk.de> sind also jederzeit herzlich willkommen.

Die Reihe der Freiburger Alumni-Stammtische wurde fortgesetzt. Nach



Abb. 2: Alumni-Stammtisch am Fraunhofer IWU in Chemnitz

Stammtischen in Freiburg, Aachen, Karlsruhe, München und Dresden kam in diesem Jahr eine Runde in Chemnitz hinzu. Auf der Premiere am 21. Mai in Chemnitz ging es um Sandwiches, Schäume und Co. Die 13 anwesenden Alumni der TU Bergakademie Freiberg trafen sich jedoch nicht beim Essen, wie die Begriffe gegebenenfalls vermuten lassen. Eingeladen hatte der Bergakademie-Alumnus Dr. Jörg Hohlfeld, Leiter der Gruppe Metallschaum am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU. Dr. Hohlfeld forscht mit seinen Kollegen am Metallschaumzentrum an der Entwicklung von Leichtbaukonzepten und Baugruppen mit Metallschaum. Die Anwendungsbereiche liegen im Maschinen-, Automobil- oder

1 Siehe S. Preißler, C. Bornkampf: Stammtische, neue Software und Fledermäuse – Jahresrückblick des Freiburger Alumni Netzwerks, in: ACAMONTA – 25 (2018), S. 139f.

2 Stand: 02.09.2019

3 Stand: 02.09.2019

4 Stand: 02.09.2019

Schiffbau sowie auch beim Design und in der Bauindustrie. Aufgrund ihrer zellularen Struktur absorbieren Metallschäume hervorragend Energie in Form von Schwingungen, Stoß und Schall. Sie sind dabei leicht, biegesteif, temperaturbeständig, abschirmend (elektromagnetische Wellen) und recycelbar. Die Herstellung erfolgt auf Basis von Aluminium und Zink. Oft wird der Schaum dann im Verbund mit Stahl- oder Aluminiumblechen in Form von Sandwiches angeboten. Nach einer Kurzvorstellung des Instituts und einer anschaulichen Einführung in das Thema Metallschaum ging es für alle auf einen Rundgang durch das Versuchsfeld. Dabei konnten die Anwesenden auch selbst praktisch tätig werden und sich an der „leichten“ Herstellung von Metallschaum ausprobieren. Das begeisterte! Die Stammtischrunde schloss den Abend in gemütlicher Runde in der Cafeteria an der Reichenhainer Straße. Fortsetzung nicht ausgeschlossen ...

Für den Freiburger Alumni-Stammtisch in Dresden gab es einen weiteren Termin. So waren die Alumni für den 12. November 2019 zum C³ – Carbon Concrete Composite e. V. an die TU Dresden eingeladen.

Außer den Stammtischen fanden selbstverständlich zahlreiche weitere Alumnitreffen statt. Besonders hervorzuheben sind für 2019 vier Veranstaltungen zur Verleihung des Diamantenen Diploms an die Mitglieder der ehemaligen Seminargruppen Geophysik, Metallogie, Eisenhüttenkunde und Bergbau. Das ist bei der Anzahl der Feiern zum 60-jährigen Diplomabschluss noch einmal eine Steigerung gegenüber dem letzten Jahr. Auf den bislang insgesamt 13 Alumnitreffen konnten auch 2019 zahlreiche Spenden zugunsten der Alumniarbeit eingeworben werden.

In Ergänzung zu den Alumnitreffen gab es weitere Events mit Alumnibezug. So beteiligten sich die zwei Alumni-Beauftragten Ende Januar 2019 mit einer Ansprache und einer Karzerführung erneut an der jährlichen, feierlichen Promovierten- und Habilitiertenverabschiedung in der Alten Mensa.

Wie gewohnt schnell ausgebucht waren die zwei Termine der bei den Alumni äußerst beliebten Veranstaltungsreihe „ALUMNIght“. Die Reihe wird im Dezember fortgesetzt:

- *im März:* „Das ehemalige Corpshaus Teutonia in Freiberg“ im Gebäude des Staatsbetriebs Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB), Nonnengasse 35



Abb. 3: Die Teilnehmer des FutureSlams und Teammitglieder von „Deine Uni ist ...“ auf der Bühne vor der Neuen Mensa anlässlich der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft 2019

- *im September:* „Schlackenbadvergasungsanlage FlexiSlag“ im Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen auf der Reichen Zeche

Im Juni 2019 fand aufgrund der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft an der TU Bergakademie Freiberg keine ALUMNIght statt. Dafür war das Team des FAN auf der Wissenschaftsnacht als Teil des Netzwerks „Deine Uni ist ...“ mit einer Networklounge inklusive Kaltgetränken und Liegestühlen sowie einem FutureSlam präsent. Ferner haben sich im Verbund „Deine Uni ist ...“ Vertreter des Career Centers, der Graduierten- und Forschungsakademie, des Gründernetzwerks SAXEED, der Zentralen Transferstelle, des Internationalen Universitätszentrums, des Dezernats 5 (Universitätskommunikation) und des FANs mit dem Ziel zusammengeschlossen, Synergien zu nutzen. So gibt es gemeinsame Werbemaßnahmen in Form eines Flyers – aber auch mit einem eigenen Stand auf der Karrieremesse ORTE oder der Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft. An jedem ersten Dienstag im Monat kommen die Beteiligten zu einem informativen Treffen zusammen. Dabei werden gemeinschaftliche Events für die Studierenden der TU Bergakademie Freiberg, wie das Netzwerken beim Plätzchenbacken in der Adventszeit 2018, der Workshop „Deine digitale Visitenkarte“ zu den Online-Businessnetzwerken XING und LinkedIn im Juni 2019 oder das Waffelbacken in der Prüfungszeit im Sommersemester 2019 geplant. Da

die Studierenden von heute die Alumni von morgen sind, möchte das Team des FANs auf diesem Wege seine Datenbank und die Serviceleistungen einer breiteren Öffentlichkeit bekannt machen.

Die beiden Alumni-Beauftragten arbeiteten Printmedien der TU Bergakademie Freiberg sowie der VFF-Zeitschrift ACAMONTA alumnibezogene Beiträge zu oder gaben einschlägige Publikationen selbst heraus (Alumni-Newsletter TUBALUM, Absolventenbuch). Auch online ist das FAN, wie gewohnt, mit eigener Webseite sowie bei XING und LinkedIn präsent. Zudem nahmen die beiden Alumni-Beauftragten an Weiterbildungen von „alumni-clubs.net – DACH-Verband der Alumni-Organisationen an Hochschulen“ teil.

Zur Verstärkung des Alumni-Botschafterteams konnten 2019 bisher zwei neue Alumni gewonnen werden: Joachim Cupid Kumapley (Ghana) und Dr. Sergio Espinosa (Kanada).

Des Weiteren sind die Alumni-Beauftragten in die Arbeitstreffen zur Vorbereitung der „Fachkolloquien und Festveranstaltung 100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht an der (TU) Bergakademie Freiberg“ (3. bis 6. Juni 2020) mit eingebunden. Insofern verspricht auch das nächste Jahr wieder viele spannende und emotional einprägsame Alumni-Momente.

Kontaktadresse:
 Freiburger Alumni Netzwerk
 Akademiestraße 6 · 09599 Freiberg
 alumni@zuv.tu-freiberg.de
 Tel. +49 (0) 3731 39-3772, -2675
 Fax +49 (0) 3731 39-2551

Bernhard-von-Cotta-Preis 2018:

Wirtschaftlich-technische Untersuchungen zu Lebenszykluskosten von schwimmenden Offshore-Windenergieanlagen (OffWEA) Michael Kausche¹

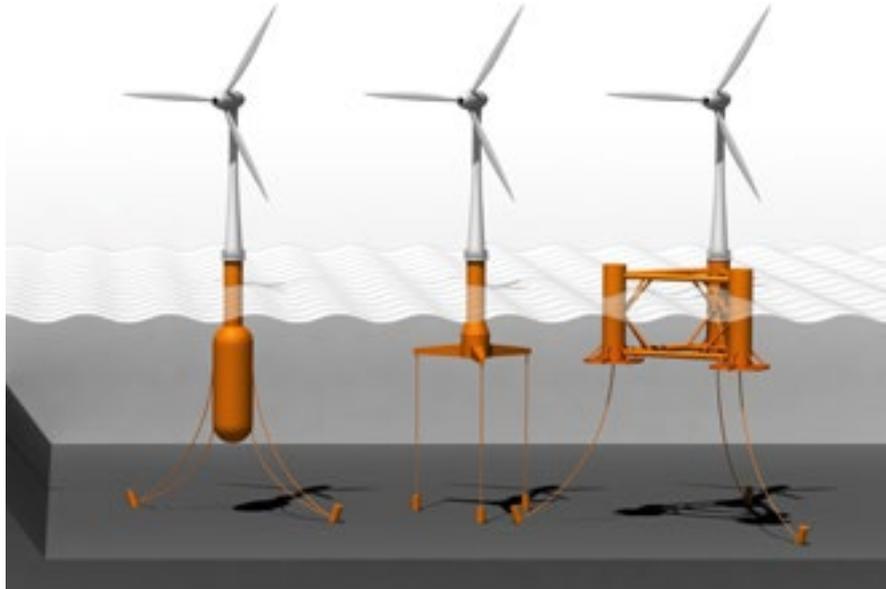


Abb. 1: Schwimmende Gründungskonzepte [2]

Einleitung

Der Markt für OffWEA zeigt weltweit großes Potenzial. Ende 2018 waren bereits 6,4 GW Offshore-Wind am deutschen Stromnetz. Die Branche fordert bis 2035 den Ausbau von 30 GW Offshore Windstrom [1]. Stetiger Wind, hohe Windgeschwindigkeiten und geringe Windturbulenzen ermöglichen hohe Vollaststundenzahlen, stellen somit eine stetige Grundlast bereit und steigern hinsichtlich einer nachhaltigen Energieversorgung die Attraktivität von Offshore-Windparks. Küstennahe Windparks befinden sich jedoch meist im Sichtfeld der Bevölkerung und stoßen dabei aufgrund ihrer Beeinträchtigung der Ästhetik und der resultierenden Lärmbelastigung auf Ablehnung. Mit großen Entfernungen zur Küste (30 km und darüber hinaus) steigen allerdings die Wassertiefen in z. B. Nord- und Ostsee außerordentlich stark an, was zu hohen Investitionen für Gründungsvarianten von OffWEA führt.

Stand der Technik

Für OffWEA werden feste und schwimmende Gründungskonzepte unterschieden. Feste Gründungen wie z. B.

Monopiles, Tripods oder Jackets werden direkt im bzw. am Meeresboden über Pfähle verankert. Schwimmende Gründungskonzepte hingegen werden anhand ihres Stabilisierungs- und Abspannungskonzeptes eingeteilt.

Sie können, wie in *Abb. 1* dargestellt, ober- bzw. unterhalb der Wasseroberfläche sowie als halbeingetauchte Strukturen ausgebildet sein und werden z. B. über Seile oder Ketten im Meeresboden bzw. über Schwergewichtsfundamente, die direkt auf dem Meeresboden abgestellt werden, befestigt. In *Abb. 1* sind die

derzeit dominierenden schwimmenden Gründungskonzepte – der *SparBuoy*, die *Tension Leg Platform* und der *Halb-taucher* (von links nach rechts) – dargestellt. Welches Gründungskonzept zum Einsatz kommt, wird durch technische, wirtschaftliche und ökologische Randbedingungen bestimmt.

Wirtschaftlichkeit von OffWEA

Eine umfassende Berücksichtigung aller Investitionskosten sowie die darauf aufbauende Berechnung der Lebenszykluskosten sind von essentieller Bedeutung, um die Wirtschaftlichkeit eines Projektes zu prognostizieren sowie alternative Investitionen miteinander vergleichbar zu machen. Die Investitionen für OffWEA sind gegenwärtig noch außerordentlich hoch. Sie betragen durchschnittlich 3.400 € je kW installierter Leistung [3]. Auf eine 6.0-MW-Windturbine bezogen, ergeben sich Gesamtkosten von rd. 20 Mio. €. Diese Kosten werden hauptsächlich durch Turbine, Tragstruktur und Verankerungstechnologie bestimmt. Eine genaue Kostenaufgliederung in Planung und Entwicklung, Herstellung und Errichtung, Betrieb, Instandhaltung und Reparatur sowie Stilllegung und Rückbau sind von wesentlicher Bedeutung für die Berechnung und Optimierung von Stromgestehungskosten (SGK).

Die SGK sind eine wesentliche Kenngröße für den Vergleich von Erzeugungsalternativen. Sie beschreiben die Kosten, die zur Produktion einer Kilowattstunde Strom anfallen. Die SGK für OffWEA betragen derzeit etwa 8 bis 14 €/ct/kWh [4] und sind damit deutlich höher als die SGK der Onshore-Windenergie bzw. als die SGK konventioneller Erzeugungstechnologien aus z. B. Kohle oder Gas (*Abb. 2*).

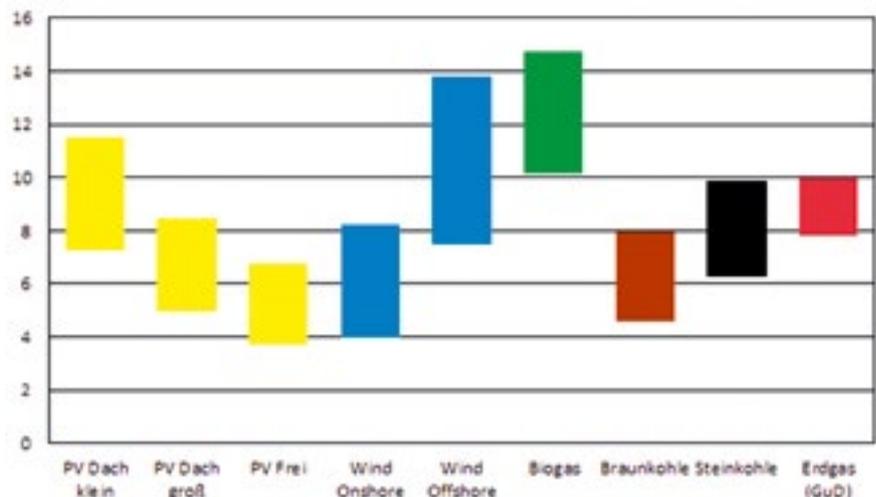


Abb. 2: SGK verschiedener Erzeugungsalternativen in Deutschland (in EuroCent/kWh) [4]

¹ Dr. rer. pol. Michael Kausche, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau

Die SGK setzen sich allgemein aus den anfänglichen Investitionen I_0 sowie den über die Laufzeit n anfallenden Betriebskosten A_t und generierbaren Stromerträgen M_{el} zusammen. Die Betriebskosten und Stromerträge werden hierbei über die Laufzeit mit dem gewichteten Kapitalkostensatz i , auch *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) bezeichnet, diskontiert [5]. In dieser allgemeinen Formel sind Erlöse aus den Einnahmen durch den Wiederverkauf der Anlage nach Laufzeitende nicht enthalten, aber in den Berechnungen zu den SGK aufgeführt.

$$SGK = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{el}}{(1+i)^t}}$$

- I_0 Investitionen
- A_t Jährliche Gesamtkosten
- i Gewichteter Kapitalkostensatz in %
- M_{el} Erzeugte Strommenge im jeweiligen Nutzungsjahr t in kWh
- t Jahr der Nutzungsperiode
- n Wirtschaftliche Nutzungsdauer

Das GICON®-SOF-Projekt

Das GICON®-SOF (Schwimmendes Offshore Fundament) entstand aus der Notwendigkeit heraus, SGK für schwimmende OffWEA zu senken. Dieses schwimmende Fundament wurde über mehrere Jahre entwickelt und optimiert sowie anhand unterschiedlicher Modelle im Maßstab M 1:33 bzw. M 1:50 erfolgreich in verschiedenen Wind- und Wellenkanälen getestet. Das SOF-Projekt befand sich 2017 in der zweiten Entwicklungsstufe (SOF 2).

Das SOF 2, in Abb. 3 in Gelb dargestellt, zeigt ein Tragwerk aus Stahl mit Auftriebskomponenten sowie lotrechten und



Abb. 3: GICON®-SOF 2 [6]

geneigten vorgespannten Abspannelementen. Vier Auftriebskörper, die als lotrechte Zylinder ausgebildet sind, werden an den Eckpunkten einer quadratischen Grundfläche angeordnet und über horizontale Stahlrohrsysteme miteinander verbunden. Mittig über den Auftriebskomponenten sind vertikale Stahlrohre angeordnet, die die Wasseroberfläche durchdringen [6] und das zentralgelegene Übergangsglied – auch *Transition Piece* genannt – über vier Kastenträger miteinander verbinden. Dieses *Transition Piece* dient

schließlich zur Aufnahme von Turm und Turbine. Das Tragwerk besitzt eine Masse von ca. 850 t und soll Generatoren der 6.0-MW-Klasse aufnehmen können [6]. Das SOF 2 soll mit einem Schwergewichtsanker aus Stahlbeton (graue Darstellung in Abb. 3) am Meeresboden mit Hilfe von vorgespannten Seilen verankert werden.

Für das beschriebene SOF 2 ergeben sich die in Abb. 4 dargestellten Investitionskosten. Diese Kostenaufstellung basiert auf den nachfolgenden Annahmen:

- Windparkgröße: 80 WEA zu je 6.0 MW
- Wassertiefe am Standort: 30 m
- Küstenentfernung: 40 km
- Lebensdauer: 20 Jahre
- Serienfertigung

Es ist erkennbar, dass die Anschaffungskosten für Turm und Turbine sowie die Kosten für die Herstellung und Installation des Tragwerks, in Summe 89 %, die größten Kostenfaktoren darstellen. Hierbei ist aber zu beachten, dass die Kosten für Turm und Turbine herstellerabhängig und daher nur gering beeinflussbar sind. Im folgenden Abschnitt werden die Ansatzpunkte für Kostensenkungen einerseits für die Herstellung und Installation und andererseits für den Betrieb und die Instandhaltung des SOF 2 aufgezeigt.

Kostensenkungspotenziale

Anhand der technischen und wirtschaftlichen Vorbetrachtungen sowie der genauen Beschreibung des SOF 2 ist es möglich, Schnittstellen und Ansatzpunkte für Kostenoptimierungen abzuleiten. Abb. 5 zeigt ein einfaches Schaubild. Mögliche Interaktionen zwischen den Variablen sind hier nicht dargestellt, aber programmtechnisch realisiert.

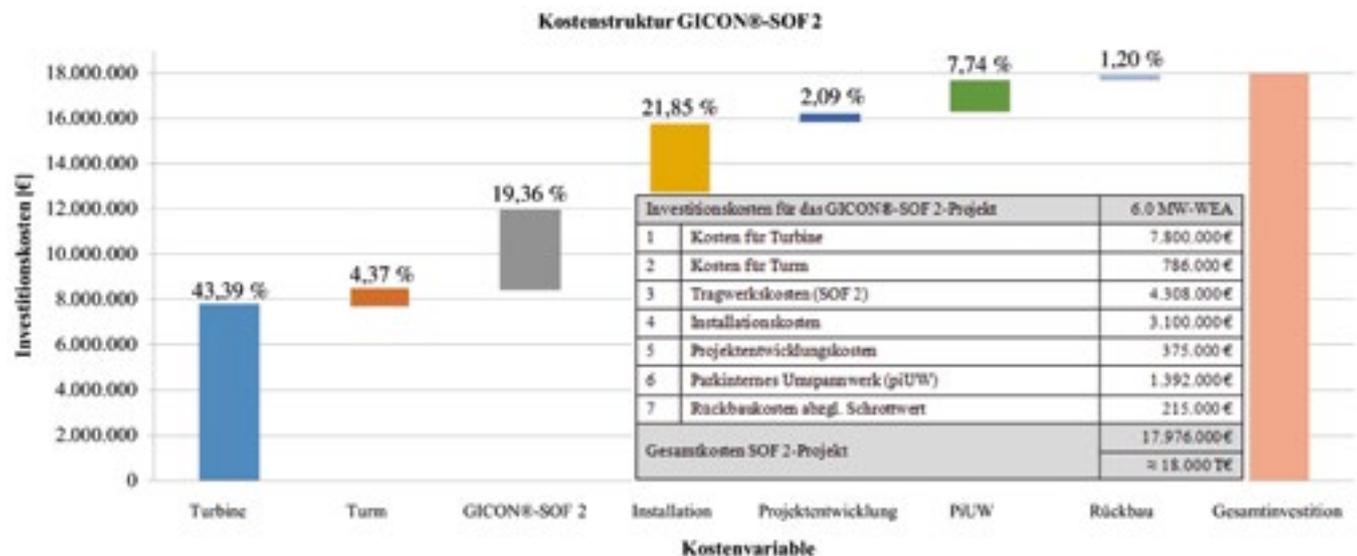


Abb. 4: Prozentuale Verteilung der Investitionskosten des SOF 2 [6]/[7]

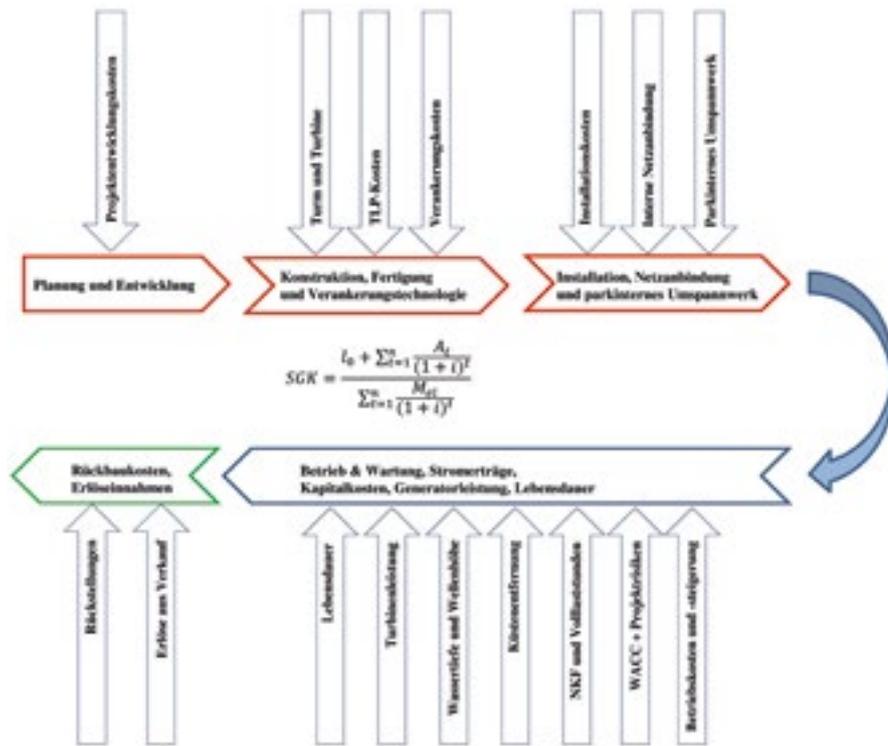


Abb. 5: Ansatzpunkte zur Kostenoptimierung in den Projektphasen eines Offshore-Windparks [6]

Die Kostenbestandteile wirken sich unterschiedlich stark auf die Höhe der SGK aus. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen kann aufgezeigt werden, wie sensibel die SGK auf eine Variation der einzelnen Bestandteile reagieren. Zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen müssen jedoch weitere Annahmen getroffen und dem Rechenmodell zur Ermittlung der SGK zusätzliche und v. a. realistische Basiswerte unterstellt werden. Die nachfolgenden Annahmen beruhen auf Erfahrungswerten und sind der Fachliteratur entnommen:

- Verfügbarkeit der WEA: 76 %
- Bruttovolllaststunden: 5.193 MWh/MW
- Betriebskostenverrechnungssatz (BKVS): 24,30 €/MWh
- Inflationsbedingte Betriebskostensteigerungsrate: 2,0% [8]
- WACC: 6,17%

Anhand dieser Annahmen ergeben sich für das SOF 2-Projekt SGK in Höhe von 9,52 ct/kWh. Das ist der Basiswert, der für alle weiteren Betrachtungen und für die Optimierung der SGK herangezogen wird.

Sensitivitätsanalysen/Ergebnisse

Im Rahmen der Sensitivitätsanalysen wird das Verfahren der Zielgrößenänderungsrechnung angewandt. In einem ersten Schritt werden anhand der Screening-Methode zunächst alle potenziellen Variablen gesichtet. Dieser Vorauswahl liegen zunächst die Kostenvariablen gemäß Abb. 4 zugrunde. Anhand

dieser Vorauswahl werden vorerst zwölf Kostenvariablen $X_{(1-12)}$ ausgewählt. Im Anschluss daran erfolgt eine Variablenuntersuchung anhand der Formel zur Berechnung der SGK. Diese Untersuchung führt zur Aufnahme vier weiterer Variablen $X_{(13-16)}$. Die anschließende Betrachtung zielt auf die im Zusammenhang mit den Betriebskosten und der Energieproduktion stehenden Variablen ab und führt zur Aufnahme fünf zusätzlicher Variablen $X_{(17-21)}$. [6] Die insgesamt 21 Variablen werden zusätzlich in Bezug auf deren Beeinflussbarkeit in extern (E)

und technologisch (T) beeinflussbare Variablen unterschieden (Tab. 1).

Tabelle 1: Variablenvorauswahl

$X_1^{E,T}$	Gesamtinvestitionskosten
X_2^T	Projektentwicklungskosten
X_3^E	Investitionskosten Turbine
X_4^E	Investitionskosten Turm
X_5^T	Investitionskosten Verankerung
X_6^T	Investitionskosten SOF 2
X_7^T	Installationskosten Verankerungsprozess
$X_8^{E,T}$	Verkabelungs- und Netzanbindungskosten
X_9^T	Betriebskosten
X_{10}^T	Betriebskostensteigerung (p.a.)
$X_{11}^{E,T}$	Investitionskosten parkinternes Umspannwerk
X_{12}^T	Rückbaukosten
X_{13}^E	Erlöse aus Verkauf nach Rückbau
X_{14}^E	Windgeschwindigkeit; Volllaststunden
X_{15}^E	Kapitalkostensatz (WACC)
X_{16}^E	Küstenerfernung
X_{17}^E	Generatorleistung
X_{18}^E	Projektrisikokosten
X_{19}^E	Wassertiefe
X_{20}^E	Wellenhöhe
X_{21}^T	Lebensdauer

In einem weiteren Schritt werden für diese 21 Variablen lokale Sensitivitätsanalysen unter der ceteris-paribus-Annahme in fest definierten Intervallgrenzen durchgeführt. Es erfolgt eine Abstimmung im gesamten Intervallbereich (Abb. 6).

Anhand des Anstiegs der einzelnen Funktionen m_1 lässt sich das Sensitivitätsmaß ableiten. Die Darstellung der einzelnen Funktionen erfolgt im prozentualen Intervall von $\pm 60\%$. Der Schnittpunkt aller Funktionen erfolgt am SOF 2-Basiswert [6]. Er unterteilt somit die Grafik in vier Quadranten. In den unteren beiden Quadranten

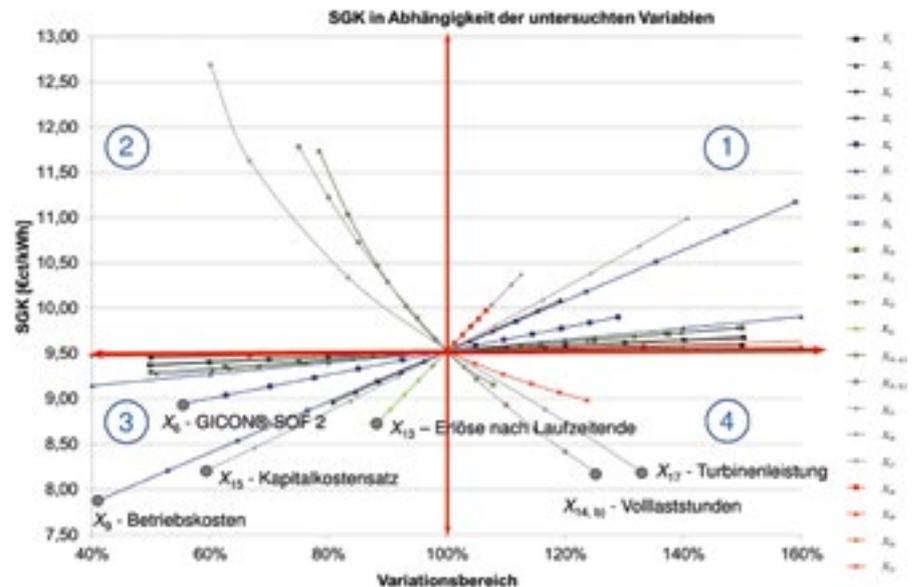


Abb. 6: Ermittlung der SGK anhand lokaler Sensitivitätsanalysen [6]

Tab. 2: Maßgebliche Konstellationen K_i

Konstellation K_i	Variablen für globale SA						Bemerkungen
	Investitionskosten $I_{0, SOF 2}$	Betriebskosten A_t	Erlöse nach Laufzeitende E_n	Volllaststunden V_{Std}	Kapitalkostensatz WACC	Generatorleistung	
K_1	X_6	(X_9)	X_{13}	X_{14}	X_{15}	/	(BK) werden durch Volllaststunden bestimmt; die Generatorleistung bleibt unberücksichtigt
K_2	X_6	(X_9)	X_{13}	(X_{14})	X_{15}	X_{17}	(BK) und (Volllaststunden) werden über die Turbinenleistung bestimmt
K_3	X_6	(X_9)	/	(X_{14})	X_{15}	X_{17}	(BK) und (Volllaststunden) werden über die Turbinenleistung bestimmt; die Erlöse nach Laufzeitende bleiben unberücksichtigt

③ und ④ wird das maßgebliche Reduzierungspotenzial der SGK aufgezeigt. Es ist erkennbar, dass sich die Variablen X_6 , X_9 , X_{13} , $X_{14,b}$ sowie X_{15} und X_{17} deutlich von den anderen Variablen abgrenzen. Sie werden somit im letzten und dritten Schritt für die globalen Sensitivitätsanalysen unter Beachtung von Korrelationsbeziehungen in den jeweiligen Intervallgrenzen herangezogen. Hierfür werden neun denkbare Konstellationsmöglichkeiten K_i ausgearbeitet und programmiert. Aus den globalen Berechnungsergebnissen können drei maßgebliche Konstellationen abgeleitet werden (Tab. 2). Diese Konstellationen verdeutlichen die Interaktionsbeziehungen zwischen den einzelnen Variablen. In Klammern stehende Variablen zeigen eine direkte Abhängigkeit und sind intern programmiert.

In Tab. 3 ist die Bandbreite der SGK für diese drei Konstellationen aufgezeigt. Der minimale Wert beschreibt das „Optimum“ unter günstigen und realen Randbedingungen.

Tab. 3: Bandbreite der SGK

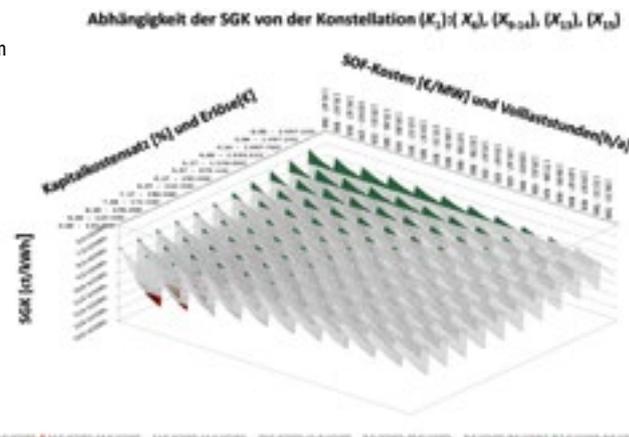
Konstellation K_1	
SGK _{min}	7,02 ct/kWh
SGK _{max}	12,86 ct/kWh
Konstellation K_2	
SGK _{min}	6,75 ct/kWh
SGK _{max}	21,49 ct/kWh
Konstellation K_3	
SGK _{min}	7,23 ct/kWh
SGK _{max}	21,49 ct/kWh

In Abb. 7 sind die Ergebnisse exemplarisch für Konstellation K_1 dargestellt. Die verwendeten Farben (grün für günstige und rot für ungünstige SGK) dienen als Signalwirkung. SGK im Bereich von 8–12 €ct/kWh beschreiben die in etwa derzeit am Markt erreichbaren SGK und sind transparent dargestellt. Die Konstellation K_1 betrachtet die Beziehungen zwischen den

Investitionen (X_6), den Erlösen aus dem Verkauf der Anlage nach Laufzeitende (X_{13}), den Volllaststunden (X_{14}) und dem Kapitalkostensatz (X_{15}). Die Korrelationen zwischen Betriebskosten (X_9) und Volllaststunden (X_{14}) werden programmintern berücksichtigt. Auf der horizontalen Achse sind die Investitionskosten und die Volllaststunden und auf der Tiefenachse der Kapitalkostensatz und die Erlöse nach Laufzeitende aufgetragen. Die vertikale Achse veranschaulicht schließlich die Höhe der SGK. Reduzierungen in den SGK hinsichtlich des Basiswertes sind bei entsprechender Parameterauswahl überwiegend in den hinteren Bereichen dieser Grafik erkennbar.

Die Konstellation betrachtet 17.303 Kombinationsmöglichkeiten. Davon befinden sich 8.748 Kombinationen unterhalb und 8.555 oberhalb des Basiswertes. Die optimalen SGK betragen für diese Konstellation 7,02 €ct/kWh. Die Konstellation K_1 stellt somit ein wichtiges und reales Szenario zur Reduzierung der SGK für das SOF 2 dar. Diese Abbildung kann zudem als eine Art „Ablesevorschrift“ interpretiert werden und kann für alternative Projekte im Bereich der Erneuerbaren Energien bei Anpassung der jeweiligen Variablen Anwendung finden.

Abb. 7: SGK-Konstellation K_1 [6]



Ausblick

Im Rahmen künftiger Forschungsarbeiten mit dem Ziel, die Kosten weiter zu optimieren, wird derzeit die dritte Generation (SOF 3) in Modulbauweise aus Halbfertigteilen in Stahlbeton für die Serienfertigung entwickelt. Zudem soll das entwickelte Programmierwerkzeug hinsichtlich der Eingabemaske verbessert, für eine Aufnahme weiterer Variablen angepasst und hierfür die grafische Darstellung optimiert werden.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. für die Auszeichnung mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis 2018.

Literatur:

- 1 BWE (2019): Pressemitteilung; (21.01.2019) URL: <https://www.wind-energie.de/presse/>
- 2 Meschede, A. (2016): Designbüro Anke Meschede – Element 79. URL: <http://element-79.de/>
- 3 Kuhl, M.; Jensen T. (2015): Schwimmende Fundamente für Offshore Windenergieanlagen – Projektarbeit zur Marktanalyse; Masterprojekt; 08.06.2015
- 4 Kost, C., et al. (2018): Stromgestehungskosten; Erneuerbare Energien; Fraunhofer ISE; Studie Version März 2018
- 5 Hobohm, et al.(2013): Kostensenkungspotenziale der Offshore-Windenergie in Deutschland. URL: http://www.offshore_stiftung.com/60005/Uploaded/SOW_Download%7C%20LangfassungderStudie_Kostensenkungspotenziale_Offshore-Windenergie.pdf. (abgerufen am 25.08.2016). Langfassung
- 6 Kausche, M.: Wirtschaftlichkeit schwimmender Offshore Windenergieanlagen. Wirtschaftlich-technische Untersuchungen und Kostensenkungspotenziale. Dissertationschrift. SpringerGabler Verlag; 09/2017.
- 7 Kuhl, M. (2015): Kostenrechnung für das GICON®-SOF 2. Format: MS Excel. Erstellt am: 30.04.2015
- 8 Wiser, R., et al. (2016): Forecasting Wind Energy Costs and Cost Drivers: The Views of the world's Leading Experts. IEA Wind June 2016. LBNL-1005717

Bernhard-von-Cotta-Preis 2018:

Von Mensch-Mensch-Demonstrationen zu Mensch-Roboter-Interaktionen – Wie Roboter lernen, Lego-Raketen gemeinsam mit Menschen zusammenzubauen David Vogt¹



Abb. 1: Ein Roboterarm reagiert kontinuierlich auf Bewegungen des Menschen und reicht mit einer dynamisch angepassten Bewegung Werkstücke. Das Ergebnis ist eine für den Mensch natürliche und intuitive Interaktion.

Einleitung

Roboter, die gemeinsam mit Menschen in Produktionsketten arbeiten, sind seit langem eine treibende Vision der Industrie. In den vergangenen Jahren wurden bereits mehrere solcher Anwendungen entwickelt, was dazu führte, dass traditionelle Arbeitsplätze schrittweise in robotergestützte Montagelinien transformiert wurden. Die meisten Anlagen sind jedoch auf menschliche Bediener angewiesen, die Roboterbewegungen auslösen, weshalb die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter sequentiell abläuft. Somit sind Mensch-Roboter-Kooperationen aktuell nach einem Stop-and-Go-Verfahren strukturiert und folgen einem starren Befehls- und Reaktionsmuster. Trotz der bemerkenswerten Vorteile gibt es eine Vielzahl von Aufgaben, bei denen diese weit verbreitete Methode nicht zielführend ist. Beispiele hierfür sind gemeinsame Transporte von Werkstücken oder Übergabeinteraktionen, bei denen Objekte vom Roboter an den Menschen übergeben werden sollen.

Wenn einem Roboter die Fähigkeit gegeben wird, an solchen Interaktionen teilzunehmen und er in der Lage ist, Seite an Seite mit Menschen zu arbeiten, würde

dies nicht nur die Anzahl möglicher Anwendungsszenarien erhöhen, sondern vielmehr den Arbeitsaufwand für die menschlichen Mitarbeiter verringern. Bei einer gemeinsamen Transportaufgabe zum Beispiel wird die physische Last normalerweise auf eine Gruppe von Arbeitern aufgeteilt, und sie könnte erheblich reduziert werden, wenn ein Roboterassistenz eingeführt wird, der das größere Gewicht trägt.

Diese scheinbar einfachen und sich wiederholenden Verhaltensweisen erscheinen jedoch zunächst automatisierbar, werden aber oft manuell durchgeführt und Roboter werden in eingezäunten Räumen betrieben. Der Grund dafür liegt in den umfangreichen Fähigkeiten, die erforderlich sind, um sicher an Interaktionen teilzunehmen. Unter anderem sind auf den Menschen angepasste Reaktionen und eine raum-zeitliche Wahrnehmung des Roboters die wichtigsten Aspekte einer Mensch-Roboter-Interaktion. Traditionell ist ein erfahrener Programmierer erforderlich, um alle möglichen Interaktionsparameter mit Steuerroutinen zu implementieren. Leider ist dieser Ansatz selbst für eine kleine Anzahl von Interaktionen nicht möglich, da sie von Natur aus schwer vorherzusagen sind. Dieser Nachteil wird bei kleinvolumigen Produktionsprozessen

besonders deutlich. Häufig werden Montagelinien in kurzen Abständen geändert und für neue Produkte gewechselt, sodass der Roboter für die neue Situation neu konfiguriert werden muss. Infolgedessen müssen die Interaktionsparameter regelmäßig neu implementiert werden, was wiederum die Wartungs- und Produktionskosten deutlich erhöht. Daher sind effiziente Programmieretechniken gefragt, die einen schnellen und zuverlässigen Kompetenzerwerb für den Roboter ermöglichen. Dabei müssen neu programmierte Verhaltensweisen während einer gemeinschaftlichen Aufgabe nahtlos in die Bewegung des Benutzers integriert werden und gleichzeitig nachweislich sicher sein. Dies erfordert ein hohes Maß an Koordination des Roboters, bis er in der Lage ist, gut synchronisierte Aktionen mit menschlichen Mitarbeitern durchzuführen. Bis diese Vision Wirklichkeit werden kann, bedarf es einer algorithmischen Grundlage, die ein effizientes Training von Robotern durch Laien ermöglicht und gleichzeitig flexible und adaptive Mechanismen zur Bewegungserzeugung bereitstellt.

Vom Imitationslernen zum Interaktionslernen

Wie menschliches Wissen zur Programmierung von Robotern genutzt werden kann, ist ein seit längerem diskutiertes Problem der Robotik. Dabei hat sich – inspiriert vom Lernprozess des Menschen – Imitationslernen als ein geschätztes Werkzeug zur intuitiven Vermittlung von Bewegungsabläufen etabliert. Bisher wird es jedoch von Studien über Einzelpersonen dominiert und es werden meist nur Systeme mit einem Demonstrator betrachtet. Viele alltägliche Verhaltensweisen erfordern jedoch die Fähigkeit, Bewegungen mit zwei oder mehr Individuen zeitgleich zu koordinieren. Hierzu zählen die bereits angesprochenen Übergabeinteraktionen (Abb. 1) oder auch gemeinsame Transporte von Objekten. Diese kooperativen Handlungen werden ständig durch kontextuelle Hinweise wie Körperhaltungen oder Objektpositionen, beeinflusst. Menschen können in solchen Situationen bemerkenswert flüssig miteinander interagieren, da sie zukünftige Handlungen ihrer Interaktionspartner antizipieren und ihre eigene Bewegung während der Ausführung kontinuierlich anpassen. Die Grundlage dafür bildet das gegenseitige Verständnis beider Partner, das oft zu sichtbarer Körpersynchronität führt. Entfernt man

¹ contact@david-vogt.com

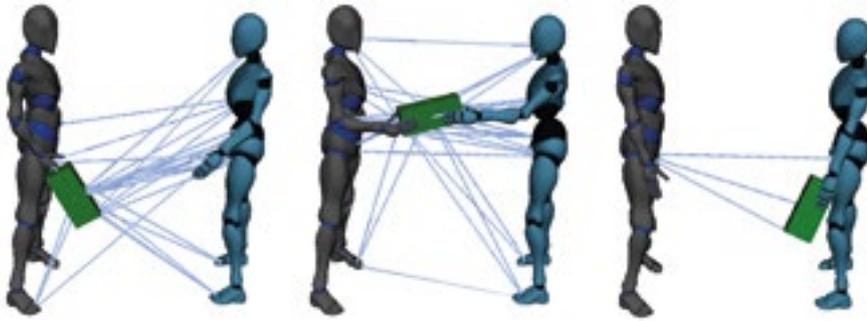


Abb. 2: Die Abbildung zeigt drei Interaktionsnetze für eine Übergabeinteraktion. Kanten und Knoten der kontextabhängigen Netze repräsentieren die wichtigsten raumzeitlichen Korrelation von beiden Interaktionspartnern. Sie werden automatisch aus Motion-Capture-Daten der Mensch-Mensch-Demonstration extrahiert.

diese Anpassungsebene (zum Beispiel durch Verbinden der Augen), haben die Interakteure keine Möglichkeit mehr, ihr Verhalten zu synchronisieren und die Interaktion ist zum Scheitern verurteilt. Das zeigt die besondere Wichtigkeit der ständigen Anpassung der Bewegungen und der gemeinsamen zeitlichen Koordinierung.

Folgerichtig ist die Nachahmung eines einzelnen Interakteurs durch einen Roboter nicht ausreichend, um Interaktionsfähigkeiten zu erlernen. Stattdessen muss das Verhalten mehrerer Menschen beobachtet und interpretiert werden. Dies erfordert eine Vorhersage der Bewegungsabläufe und eine voneinander abhängige Bewegungsplanung, da jede Aktion das Ergebnis des jeweils anderen beeinflusst. Dabei besteht die Herausforderung Interaktionsdynamiken, wie räumliche Beziehungen und Körpersynchronität zwischen den Interakteuren, zu erfassen, intern zu repräsentieren und zur Laufzeit angepasst anzuwenden.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wird eine Methodik vorgeschlagen, die auf der Imitation von zwei Personen basiert. Ein besonderes Merkmal ist, dass der Ansatz parallele Verhaltensdemonstrationen von zwei Menschen nutzt, um ein gemeinsames Interaktionsmodell zu erlernen. Dies unterscheidet ihn von anderen Methoden dadurch, dass Korrelationen zwischen Aktionen von Interaktionspartnern explizit erfasst werden. Das Interaktionsmodell kodiert dabei, wie jeder Interaktionspartner sein Verhalten während der Aufgabedemonstration angepasst hat und kapselt räumliche Beziehungen und zeitliche Eigenschaften des gemeinsamen Verhaltens. Am Ende werden die inter-menschliche Dynamik der Interaktion und die intramenschlichen/motorischen Fähigkeiten in einem zentralen Modell vereint. Durch die Nutzung des Modells während einer

Mensch-Roboter-Interaktion werden Roboterbewegungen effizient erzeugt und gleichzeitig räumlich sowie zeitlich an die aktuelle Situation angepasst. Auf diese Weise werden kontinuierliche menschengerechte Reaktionen erzeugt und komplexe Abfolgen von gemeinsamen Aktionen durchgeführt.

Zwei-Personen-Interaktionsmodelle

Im Kontrast zu traditionellem Imitationslernen werden beim Interaktionslernen zwei Menschen während einer Demonstrationsphase mittels Motion Capture aufgezeichnet. Dabei wird ihre raum-zeitliche Körpersynchronität extrahiert und in einem Zwei-Personen-Interaktionsmodell gespeichert. Dieses erlaubt einem Roboter, in ähnlichen Situation mit einem Menschen zu interagieren. Im Wesentlichen liefert das Modell die Möglichkeit, Roboteraktionen während einer gemeinsamen Aufgabe mit einem Menschen zu koordinieren. Es bietet ein Generierungsschema für sofortige Bewegungsantworten, so dass eine nahtlose Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter möglich ist. Es kombiniert somit Verhaltenserkennung und Antwortgenerierung in einem Modell. Strukturell besteht ein Zwei-Personen-Interaktionsmodell aus unterschiedlichen mathematischen Repräsentationen, die das demonstrierte Verhalten generalisieren und dem Roboter Motorbefehle zur Laufzeit generieren.

Um ein solches Modell zu erstellen, wird zu Beginn ein globaler dimensionsreduzierter Posturraum berechnet, in den alle Interaktionsdemonstrationen projiziert werden. Optional kann ein HMM (Hidden Markov Modell) trainiert werden, um die Übergänge zwischen Teilaufgaben der Interaktion zu verbessern. Hierfür werden Schlüsselpositionen im latenten Raum über Kerndichteschätzer extrahiert. Das System verknüpft dann

Sequenzen von diesen mit Interaktionen für eine schnelle und effiziente Klassifizierung während der Laufzeit.

Eine zeitliche Generalisierung der Demonstration erfolgt in lokalen Posturräumen der jeweiligen Interaktion. Dabei werden Motion-Capture-Aufzeichnungen jeder Mensch-Mensch-Demonstration in ihrer Dimensionalität reduziert und segmentiert. Zur Laufzeit dienen Segmente der zeitlichen Generalisierung, um am Ende ein Paar von Posen aus der ursprünglichen Aufzeichnung zu extrahieren, die am besten zur laufenden Mensch-Roboter-Interaktion passen.

Räumliche Generalisierung bzgl. der Postur des Roboters wird durch Verformung von kontextabhängigen Interaktionsnetzen zu jedem Zeitpunkt erreicht (Abb. 2). Im Gegensatz zu anderen Verfahren ist die Topologie des Netzes automatisch aus Motion-Capture-Daten berechnet, ohne dass zusätzliche Benutzereingriffe erforderlich sind. Durch die Kombination kartesischer Koordinaten für die Bewegungserfassung, niedrigdimensionaler Räume für die Bewegungserkennung sowie zeitlicher Generalisierung und Topologiekordinaten in Interaktionsnetzen für die räumliche Anpassung werden die Vorteile jeder Datenrepräsentation in einer einzigen Methode verschmolzen. Dadurch kann ein Roboter menschliche Bewegungen effizient erkennen und eine Interaktionsdemonstration entsprechend auswählen. Die Fähigkeit, eine Demonstration einer Interaktion raum-zeitlich an neue Situationen anzupassen, ist ein Kernmerkmal von Zwei-Personen-Interaktionsmodellen. Nur sie ermöglichen es dem Roboter, auf natürliche und vor allem intuitive Weise auf den Menschen zu reagieren.

Zusammenfassung

Zukünftige Gesellschaften werden ohne Zweifel von Robotern profitieren, die das Leben der Menschen in all ihren Facetten vereinfachen.

Ein Ausgangspunkt für diese Arbeit war, dass das Programmieren von allen Interaktionsparametern jeder möglichen Situation nicht praktikabel ist. Aufbauend auf dem Konzept des Imitationslernen wurde eine Methode zum Interaktionslernen entwickelt, die einen Rahmen für das Erlernen von Interaktionsfähigkeiten bietet. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass durch die Verwendung von Demonstrationen zweier Menschen Wissen über kollaborative Aufgaben effizient vermittelt



Abb. 3: Die obere Zeile der Abbildung zeigt, wie Zwei-Personen-Interaktionen mittels *Motion Capture* aufgezeichnet werden. Nach der Berechnung des Interaktionsmodells kann ein Roboter mit einem menschlichen Nutzer in ähnlichen Situation interagieren. Seine Bewegung wird dabei dynamisch zu jedem Zeitpunkt neu angepasst, sodass Objekte (wie eine Lego-Rakete) filigran zusammengebaut werden können.

werden kann und das gleichzeitig intuitive und von Menschen lesbare Antworten generiert werden können. Experimente in der virtuellen Realität [1, 2] sowie reale Interaktionen mit Menschen [3, 4] demonstrieren die Realisierbarkeit des Verfahrens (Abb. 3 und Abb. 4).

Die Ergebnisse sind ermutigend, jedoch gibt es noch offene Forschungsfragen sowie komplexe technische Hürden zu bewältigen, bevor lernende Roboter in komplexen Produktionsketten neben Menschen eingesetzt werden können.

Die Arbeit zeigte jedoch, dass durch Beobachtung zweier Menschen, die eine kollaborative Aufgabe erledigen, wertvolle Informationen über Interaktionsdynamiken und raum-zeitliche Merkmale

extrahiert und zum Erlernen von Interaktionsfähigkeiten für Roboter verwendet werden können.

Literatur

- 1 D. Vogt, S. Grehl, E. Berger, H. B. Amor, and B. Jung, "A data-driven method for real-time character animation in human-agent interaction," in *Intelligent Virtual Agents – 14th International Conference, IVA 2014, Boston, MA, USA, August 27-29, 2014. Proceedings*, ser. Lecture Notes in Computer Science, T. W. Bickmore, S. Marsella, and C. L. Sidner, Eds., vol. 8637. Springer, 2014, pp. 463-476.
- 2 D. Vogt, B. Lorenz, S. Grehl, and B. Jung, "Behavior generation for interactive virtual humans using context-dependent interaction meshes and automated constraint extraction," *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 26, no. 3-4, pp. 227-235, May 2015.
- 3 D. Vogt, S. Stepputtis, S. Grehl, B. Jung, and B. A. Heni, "A System for Learning Continuous

- Human-Robot Interactions from Human-Human Demonstrations," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Singapore: IEEE, 2017, pp. 2882-2889.
- 4 D. Vogt, S. Stepputtis, B. Jung, and B. A. Heni, "One-Shot Learning of Human-Robot Handovers with Triadic Interaction Meshes," *Springer Special Issue: Learning for Human-Robot Collaboration*, 2018.
- 5 D. Vogt, "Learning Continuous Human-Robot Interactions from Human-Human Demonstrations," Ph.D. dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2018.

→ Video, das die vorgeschlagene Methode am Beispiel einer Rohrmontage demonstriert: https://youtu.be/_2qcU4FcGyE

→ Populärwissenschaftliches Video, in dem Lego-Raketen mit einem Roboter zusammengebaut werden: <https://youtu.be/P7utkiVhU-I>

→ Video, das speziell auf Übergabeinteraktionen eingeht: <https://youtu.be/KhcvUUO-ZEO>



Abb. 4: Zwei-Personen-Interaktionsmodelle können auch zur Steuerung virtueller Agenten genutzt werden. Die Abbildung zeigt eine Gib-Mir-Fünf-Interaktion, bei der ein virtueller Charakter die Hand des Nutzers zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort trifft.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2018:

Ultrahochfeste und gleichzeitig duktile

CrMnNi-C-N-Stahlgusslegierungen Marco Wendler¹

Einleitung

In modernen Personenkraftwagen werden heutzutage ca. 300 kg Stahl für den Karosseriebau eingesetzt. Die Erfüllung der stetig steigenden Anforderungen im Fahrzeugbau bezüglich Energieeffizienz, Emissionsreduktion, passiver Sicherheit und Leichtbau lassen sich zunehmend jedoch nur noch mit hochfesten Stählen, den sogenannten AHSS (*Advanced High Strength Steels*) erzielen [1].

In den letzten Jahren wurden vermehrt Anstrengungen zur Steigerung der Zugfestigkeit auf über 1200 MPa sowie der Duktilität auf mehr als 12% unternommen [2], um die geforderten Eigenschaften für die 3. Generation AHSS zu erreichen. Ein derartiges Eigenschaftsprofil konnte bereits bei martensitischen niedriglegierten und korrosionsbeständigen massivumgeformten Stählen mit Hilfe des „Quenching und Partitioning“ (Q&P)-Verfahrens erlangt werden [3,4]. Im Rahmen meiner Dissertation [5] innerhalb des Sonderforschungsbereichs 799 „TRIP-Matrix-Composite“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) wurden ultrahochfeste und gleichzeitig duktile Stahlgusslegierungen basierend auf austenitischen CrMnNi-C-N-Stählen (2. Generation AHSS) konzipiert und erforscht. Diese Legierungen mit einem Gefüge bestehend aus Austenit und angelassenem Martensit mit Carbiden (AMC) können mittels eines modifizierten Q&P-Ansatzes hergestellt und entsprechend Abb. 1 der 3. Generation AHSS zugeordnet werden [5,6].

Methoden

Die Stahlgusslegierungen wurden in einer Vakuum-Induktions-Schmelz- und Gießanlage (VIM 12) der Firma ALD Vacuum Technologies GmbH erzeugt. Es wurden zwei Gussblöcke je Legierung hergestellt und zu Rundzugstäben mit einem Durchmesser von 6 mm entsprechend DIN 50125 weiterverarbeitet. Die chemische Zusammensetzung der Stahlgusslegierungen ist in Tab. 1 aufgeführt [7,8]. Zur Quantifizierung des ferromagnetischen Phasenanteils (α' -Martensit) erfolgten je Probe vier volumetrische magnetische Messungen.

¹ Institut für Eisen- und Stahltechnologie, TU Bergakademie Freiberg, Leipziger Straße 34, Freiberg

Die Zugversuche wurden mit einer Dehnrate von $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ an der Universalprüfmaschine Zwick 1476 durchgeführt.

Ergebnisse

Die erforschten Stahlgusslegierungen weisen zunächst, wie in Abb. 2 ersichtlich, nach dem Lösungsglühen und anschließendem Wasserabschrecken ein voll-austenitisches Gefüge bei Raumtemperatur

auf. Aufgrund der unterschiedlichen Austenitstabilitäten kamen verschiedene Herstellungsrouten zur Erzeugung von α' -Martensit zum Einsatz.

Demnach erfolgte das Einbringen des Martensits in die austenitische Matrix jeweils über eine Tiefkühlung (A) auf -130 °C für den Stahl GX16CrNiMnN15-3-3 oder mittels einer 25-prozentigen, plastischen Vorverformung (B) bei -40 °C für den Stahl GX16CrNiMnN19-4-3. Die nunmehr austenitisch-martensitischen Gefügestände, 58 Vol.-% und 56 Vol.-% Martensit für den Stahlgusswerkstoff GX16CrNiMnN15-3-3 bzw. GX16CrNiMnN19-4-3, wurden nachfolgend einer

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Stahlgusslegierungen in Ma.-%

Legierung	C	N	Cr	Ni	Mn	Si	Fe + andere
GX16CrNiMnN15-3-3	0,155	0,122	14,90	2,91	2,97	0,53	Rest
GX16CrNiMnN19-4-3	0,156	0,140	19,20	4,11	3,20	0,50	Rest

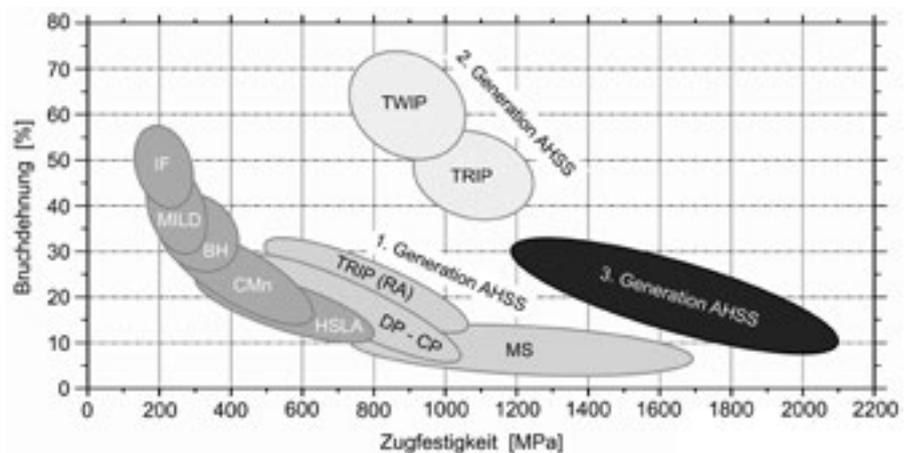


Abb. 1: Lage typischer AHSS der 1. und 2. sowie der neu zu entwickelnden 3. Generation (AMC-Stähle) im Bruchdehnungs-Zugfestigkeitsschaubild [5]

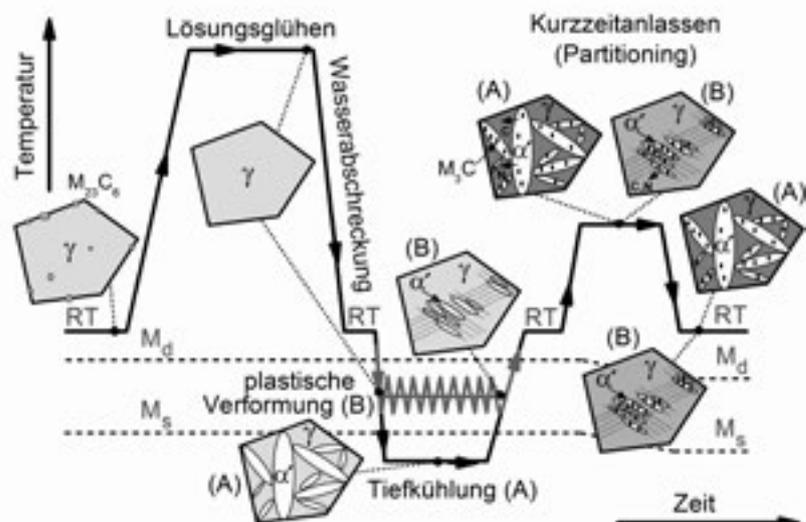


Abb. 2: Schematische Darstellung der einzelnen Herstellungsschritte zur Erzeugung ultrahochfester Stahlgusslegierungen

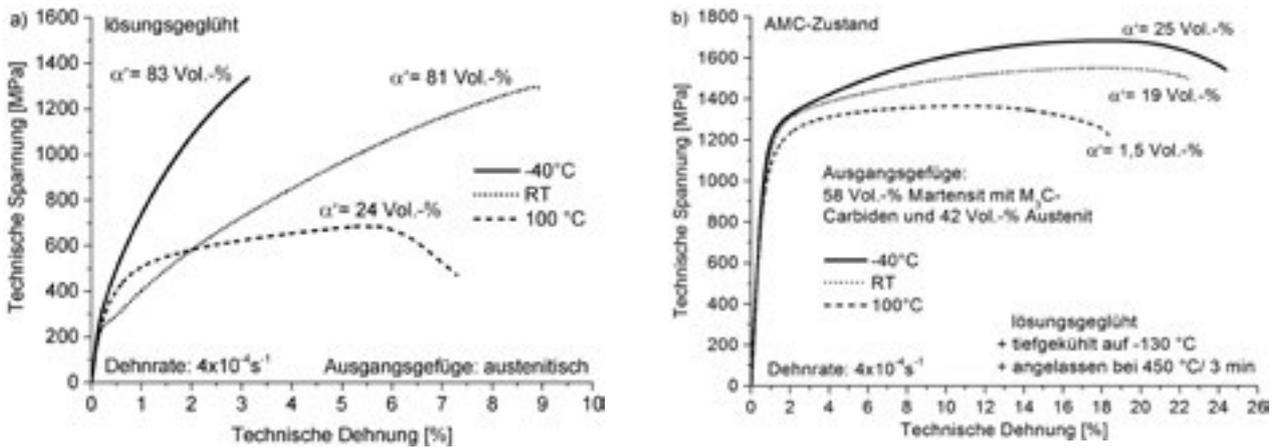


Abb. 3: Technische Spannungs-Dehnungskurven für den Stahl GX16CrNiMnN15-3-3: (a) im lösungsgeglühten Zustand (1150 °C/30 min/Wasser); (b) im AMC-Zustand nach dem Tiefkühlen und Kurzzeitanlassen entsprechend Abb. 2. [5,7]

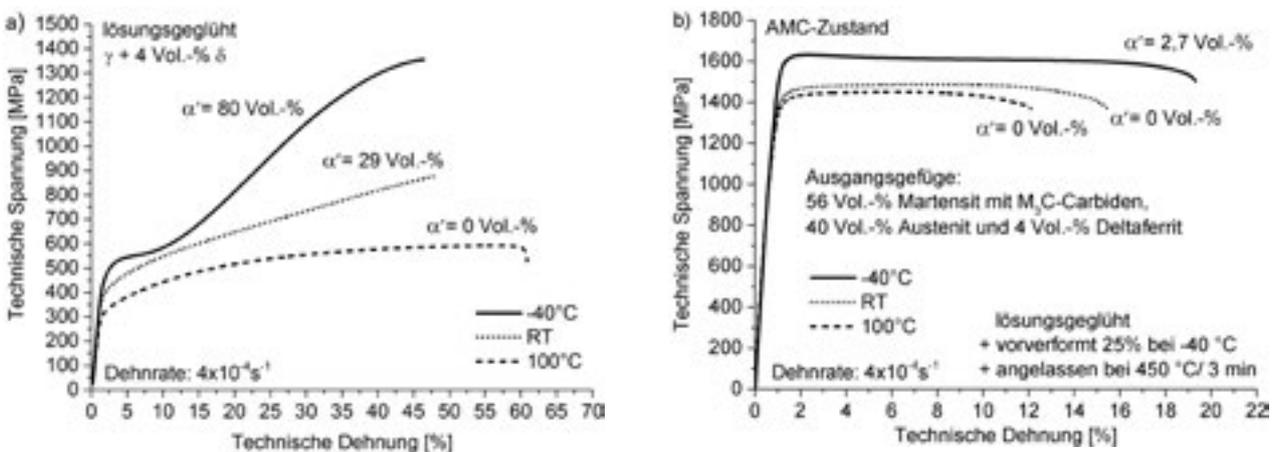


Abb. 4: Technische Spannungs-Dehnungskurven für den Stahl GX16CrNiMnN19-4-3: (a) im lösungsgeglühten Zustand (1150 °C/30 min/Wasser); (b) im AMC-Zustand nach 25-prozentiger plastischer Vorverformung und Kurzzeitanlassen entsprechend Abb. 2 [5,8]

Kurzzeitanlassbehandlung bei 450 °C für drei Minuten unterzogen. Infolgedessen konnte die Bildung von festigkeitssteigernden, feindispersen M_3C -Ausscheidungen (Zementit) in der martensitischen Phase beobachtet werden [7,8]. Weiterhin führt die Anreicherung des verbleibenden Austenits mit den interstitiellen Legierungselementen C und N zur Erhöhung der Austenitstabilität und damit zu einer Abschwächung des Martensitbildungsvermögens in den Stahlgusslegierungen [7]. Die finalen Volumenanteile an Austenit und Martensit ändern sich nach dem Kurzzeitanlassen während der finalen Abkühlung auf Raumtemperatur nicht mehr.

Die technischen Spannungs-Dehnungskurven der lösungsgeglühten Stahlgusslegierung GX16CrNiMnN15-3-3 sind in Abb. 3a dargestellt. Die geringe Austenitstabilität des Stahls führt zu hohen Martensitbildungsraten während der plastischen Verformung bei -40 °C und Raumtemperatur. Folglich werden nur sehr geringe Bruchdehnungen bei

hohen Zugfestigkeiten erreicht. Mit Hilfe der in Abb. 2 gezeigten modifizierten Q&P-Behandlung (Route A) konnten die mechanischen Eigenschaften signifikant verbessert werden. Die feindispersen M_3C -Ausscheidungen im Martensit führten zu einem deutlichen Festigkeitsanstieg [7]. Wie in Abb. 3b ersichtlich, gelang es bei Raumtemperatur eine 0,2%-Dehngrenze von 1050 MPa und eine Zugfestigkeit von 1550 MPa bei einer hohen Bruchdehnung von 22 % zu erreichen.

In Abb. 4a sind die temperaturabhängigen technischen Spannungs-Dehnungskurven der lösungsgeglühten Stahlgusslegierung GX16CrNiMnN19-4-3 abgebildet. Die deutlich höhere Austenitstabilität im Vergleich zur Stahlgusslegierung GX16CrNiMnN15-3-3 (Abb. 3a) führt zu reduzierten Martensitbildungsraten und damit zu wesentlich höheren Verformbarkeiten während einer plastischen Deformation.

Die Verformung bei 100 °C führt zu keiner Martensitbildung in der austenitischen Matrix, jedoch können mit fallender

Prüftemperatur 29 Vol. % α' -Martensit bei Raumtemperatur und 80 Vol. % bei -40 °C verformungsinduziert eingebracht werden [8]. Aufgrund der festigkeitssteigernden Wirkung des verformungsinduzierten α' -Martensits konnte bei -40 °C eine hohe Zugfestigkeit von 1326 MPa bei einer Bruchdehnung von 44 % erzielt werden. Das mechanische Werkstoffverhalten der Stahlgusslegierung GX16CrNiMnN19-4-3 nach der in Abb. 2 aufgeführten modifizierten Q&P-Behandlung (Route B) ist in Abb. 4b dargestellt. Das Festigkeitsniveau wurde damit im Vergleich zum lösungsgeglühten Zustand (Abb. 4a) deutlich gesteigert. Folglich konnte $R_{p0,2}$ bei Raumtemperatur um rund 288 % von 343 MPa auf 1330 MPa sowie R_m um ca. 70 % von 875 MPa auf 1488 MPa angehoben werden bei einer Bruchdehnung von 16 % [5].

Zusammenfassung

Im Rahmen der Dissertation wurden zwei neuartige Methoden zur Erzeugung von ultrahochfesten und gleichzeitig

duktilen Stählen der 3. Generation AHSS vorgestellt. Dafür sind die lösungsgeglühten Stahlgusslegierungen GX16CrNiMnN15-3-3 und GX16CrNiMnN19-4-3 einer Tiefkühlung bzw. einer 25-prozentigen Vorverformung gefolgt von einer Kurzzeitanlassbehandlung unterzogen worden, um ein Gefüge bestehend aus Austenit und angelassenem Martensit mit M_3C -Ausscheidungen (AMC) einzustellen. Die vorgestellten Prozesstechnologien zur Erzeugung des AMC-Stahlgussgefüges können auf andere metastabile, interstitiell verfestigte austenitische Legierungssysteme übertragen werden. Mittels der geschilderten Verfahrensweise [5,6] können sowohl ultrahochfeste austenitische Stahlguss- als auch ultrahochfeste austenitische Knetlegierungen mit gleichzeitig hoher Duktilität generiert werden. Diese Stähle weisen darüber hinaus ein hohes Kaltumform- und Energieabsorptionsvermögen auf.

Danksagung: Ich bedanke mich recht herzlich bei all denjenigen, die mich während meiner Promotionszeit unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger und Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Weiß für die ausgezeichnete Betreuung der Arbeit und die stets fruchtbaren wissenschaftlichen Diskussionen. Weiterhin gilt mein Dank Prof. Dr.-Ing. Olena Volkova und Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann für den nötigen Forschungsfreiraum am Institut für Eisen- und Stahltechnologie sowie innerhalb des SFB 799, welcher maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat. Dem Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg danke ich herzlich für die Würdigung meiner Arbeit mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis.

Literatur

- 1 Bleck W., Moeller E., Handbuch Stahl: Auswahl, Verarbeitung, Anwendung, Hanser Verlag, München, 2018.
- 2 Bouaziz O., Zurob H., Huang M., Driving Force and Logic of Development of Advanced High Strength Steels for Automotive Applications, Steel Res. Int. 2013, 84, 937-947.
- 3 Tsuchiyama T., Tobata J., Tao T., Nakada N., Takaki S., Quenching and partitioning treatment of a low-carbon martensitic stainless steel, Mater. Sci. Eng. A 2012, 532, 585-592.
- 4 Edmonds D.V., Speer J.G., Martensitic steels with carbide free microstructures containing re-tained austenite, Mater. Sci. Technol. 2010, 26, 386-391.
- 5 Wendler M., Metastabile austenithaltige Cr-Mn-Ni-Stahlgusslegierungen mit C und N, deren Erzeugung, Werkstoffverhalten und Festigkeitssteigerung. Diss., Freiburger Forschungshäfte, TU Bergakademie Freiberg, 2017.
- 6 Weiss A., Wendler M., Hochfeste und gleichzeitig zähe Halbzeuge und Bauteile aus hochlegiertem Stahl, Verfahren zu deren Herstellung und Verwendung, W02016020519A1, 2016.
- 7 Wendler M., Ullrich C., Hauser M., Krüger L., Volkova O., Weiß A., Mola J., Quenching and partitioning (Q&P) processing of fully austenitic stainless steels, Acta Mater. 2017, 133, 346-355.
- 8 Wendler M., Hauser M., Motylenko M., Mola J., Krüger L., Volkova O., Ultra high strength stainless steels obtained by Quenching-Deformation-Partitioning (QDP) processing, Adv. Eng. Mater. 21, 2019, 1-12.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2017:

Haftkräfte zwischen technisch rauen Oberflächen Jörg Fritzsche¹

Einleitung

In vielen technischen Prozessen spielen die Haftkräfte zwischen zwei Partikeln oder zwischen einem Partikel und einer weiteren Oberfläche eine signifikante Rolle. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Tiefenfiltration genannt, da bei dieser Filtrationsart die Abtrennung der Partikel innerhalb der Filtermatrix hauptsächlich aufgrund von Haftkräften zwischen dem Partikel und der Matrix stattfindet.

Ausschlaggebend für die durchgeführten Untersuchungen ist der Sonderforschungsbereich 920 an der TU Freiberg, in dessen Rahmen die Filtration von Metallschmelzen verbessert werden soll. Auch bei dieser handelt es sich von der Art her um eine Tiefenfiltration. Da sowohl die Filtrationsversuche, als auch die Messung der Haftkräfte nur schwer im realen System Metallschmelze durchführbar sind, wurde für die Untersuchungen ein Modellsystem auf Wasserbasis gewählt. Um dabei trotzdem möglichst nahe am Realsystem zu bleiben, wurden als Feststoffe (Partikel und Filteroberflächen) die gleichen Materialien gewählt wie sie auch bei der Metallschmelzefiltration vorkommen. Zum Nachstellen der realen Benetzungseigenschaften wurden diese mithilfe eines niederenergetischen Kunststoffes beschichtet und somit die Benetzbarkeit durch Wasser stark gesenkt.

Theoretische Einleitung Ober- und Grenzflächenenergien

Als Ober- und Grenzflächen werden die Flächen zwischen zwei Phasen bezeichnet. Als Oberfläche wird dabei die Fläche zwischen einem Feststoff und einem Gas oder einer Flüssigkeit und einem Gas bezeichnet. Man geht dabei davon aus, dass die Wechselwirkungen zwischen dem Gas und der anderen Phase vernachlässigbar klein sind, spricht daher von der Oberflächenenergie des Feststoffs oder der Flüssigkeit. Flächen zwischen zwei Phasen, welche beide nicht gasförmig sind, werden hingegen als Grenzflächen bezeichnet. Während sich die Oberflächenenergie einer Flüssigkeit und eines Feststoffes direkt bestimmen lässt, ist die Bestimmung der Grenzflächenenergie nur indirekt möglich. Ein weit verbreitetes Verfahren dafür ist

die Kontaktwinkelmessung, bei der ein kleiner Tropfen der Flüssigphase auf die zu untersuchende Feststoffphase gegeben wird. An der Drei-Phasen-Kontaktstelle stellt sich dabei der sogenannten Kontaktwinkel θ ein.

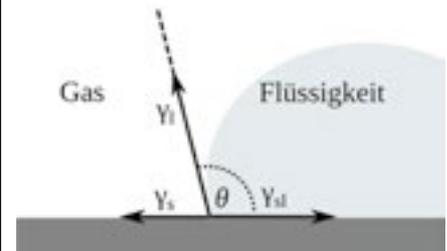


Abb. 1: Kontaktwinkel θ zwischen einer Flüssigkeit und einem Feststoff

Wie in Abb. 1 zu erkennen ist, stellt sich gemäß der YOUNG-Theorie der Kontaktwinkel so ein, dass die horizontalen Komponenten der Oberflächenenergien des Feststoffes γ_s , der Flüssigkeit γ_l und deren Grenzfläche γ_{sl} ausgeglichen sind. Somit kann bei bekannter Oberflächenenergie der beteiligten Phasen durch Bestimmung des Kontaktwinkels die Grenzflächenenergie bestimmt werden.

$$\gamma_{sl} = \gamma_s - \cos\theta\gamma_l \quad (1)$$

Sowohl die Ober- als auch die Grenzflächenenergien können weiterhin in einen dispersen γ^d und polaren Anteil γ^p aufgeteilt werden, wobei der polare Anteil wiederum in einen positiven γ^+ und negativen γ^- unterschieden wird.

$$\gamma = f(\gamma^d, \gamma^+, \gamma^-) \quad (2)$$

Für die genaue Berechnung der Ober- und Grenzflächenenergien aus den einzelnen Komponenten sind in der Literatur verschiedene Theorien als auch empirische Ansätze vorhanden. Diese sind jedoch immer basierend auf den in der jeweiligen Literatur untersuchten Systemen und können daher bei anderen Systemen starke Abweichungen aufweisen. Ein allgemeiner Ansatz, der bei allen Systemen schlüssige Ergebnisse liefert, ist bis jetzt nicht gefunden.

Haftkräfte

In dem untersuchten Modellsystem sind prinzipiell drei Arten von anziehenden

¹ fritzsche@posteo.de

Kräften, also Haftkräften, möglich. Dazu gehören die VAN DER WAALS-Kräfte, die polaren Kräfte (gemäß den Theorien von VAN OSS) sowie Kapillarkräfte. Sowohl die VAN DER WAALS-Kräfte als auch die polaren Kräfte lassen sich direkt mit den Ober- und Grenzflächenenergien der zwei beteiligten Phasen in Verbindung bringen. Die Kapillarkraft hingegen benötigt stets ein System aus drei Phasen, meist einer festen, einer flüssigen und einer gasförmigen Phase.

Die in der Literatur zu findenden Berechnungsmodelle für die drei Kräfte beruhen im Normalfall auf geometrisch klar definierten Körpern mit glatten Oberflächen oder Oberflächen mit Rauheiten im einstelligen Nanometer-Bereich. Die hier untersuchten keramischen Oberflächen haben hingegen Rauheiten im Bereich von einigen 100 Nanometern, wofür in der Literatur noch keine Modelle vorliegen.

VAN DER WAALS-Kräfte und polare Haftkräfte

Wie erwähnt lassen sich die VAN DER WAALS-Kräfte F_{vdw} als auch die polaren Kräfte F_{vo} direkt mit den bestehenden Ober- und Grenzflächeneigenschaften der beteiligten Phasen in Verbindung bringen. Dabei versteht man unter den VAN DER WAALS-Kräften prinzipiell die zwischenatomaren Kräfte aufgrund der Fluktuation der Elektronen um den Atomkern und die dadurch entstehenden Dipole. Diese Kräfte sind somit immer vorhanden und direkt von den dispersen Ober- und Grenzflächenenergien der beteiligten Phasen ableitbar.

$$\frac{F_{vdw}^{||}}{A} = \frac{-C_H}{6\pi a^3} \quad (3)$$

$$C_H = 24\pi a_0^2 \gamma_i^d \quad (4)$$

Gleichung (3) beschreibt dabei als Beispiel die VAN DER WAALS-Kraft zwischen zwei parallelen Platten der Fläche A mit dem Abstand a . Die HAMAKER-Konstante ist dabei der stoffspezifische Parameter für die Stärke der Kraft und hängt gemäß Gleichung (4) von den dispersen Anteilen der Ober- oder Grenzflächenenergien γ_i^d und dem atomaren Abstand a_0 ab.

Unter den polaren Kräften versteht man hingegen Kräfte, die aufgrund von permanenten Dipolen innerhalb einer Phase entstehen. Als Beispiel sei an dieser Stelle Wasser genannt, das durch die hohe Elektronegativität des Sauerstoffatoms einen starken Dipolcharakter besitzt. Daher überlagern sich bei Wasser die VAN DER

WAALS-Kräfte als auch die polaren Kräfte. Bei nicht polaren Stoffen, wie zum Beispiel den Alkanen, sind hingegen keine polaren Kräfte neben den VAN DER WAALS-Kräften vorhanden. Die Berechnung der polaren Kräfte gemäß der Theorie nach VAN OSS für zwei parallele Platten erfolgt dabei nach folgender Gleichung:

$$\frac{F_{vo}^{||}}{A} = \frac{-w_{vo,0}^{||}}{\lambda} \exp\left(\frac{-a - a_0}{\lambda}\right) \quad (5)$$

Dabei ist λ der Abschwächungsparameter und $w_{vo,0}^{||}$ der polare Wechselwirkungsparameter, der wiederum von den polaren Anteilen der Ober- und Grenzflächenenergien der beteiligten Phasen abhängt.

$$w_{vo,0}^{||} = f(\gamma_i^+, \gamma_i^-) \quad (6)$$

Genau wie die Gleichungen (3) und (5) für den Fall zweier paralleler Platten können diese ebenfalls für beliebige andere bekannte Geometrien hergeleitet werden. Im Rahmen der Arbeit wurde dabei ein Ansatz entwickelt, mit dessen Hilfe man auf Grundlage einfach bestimmbarer Oberflächenrauheiten die Haftkraftverteilung auf Grundlage einfacher geometrischer Vorstellung näherungsweise berechnen kann.

Kapillare Haftkräfte

Für die Berechnung von kapillaren Haftkräften sind zwei Möglichkeiten vorhanden. Eine Möglichkeit ist die Berechnung der Haftkraft aus der Summe der sogenannten Randkraft F_{Rand} am Dreiphasenkontaktpunkt und der Kraft infolge des Unterdrucks innerhalb der Kapillare $F_{\Delta p}$.

$$F_{Kap} = F_{Rand} + F_{\Delta p} \quad (7)$$

Für die Berechnung beider Kräfte ist neben den Stoffdaten auch die genaue Geometrie der Partikel und der Kapillare erforderlich. Diese wiederum lässt sich exakt nur durch die LAPLACE-Gleichung berechnen, die die beiden Krümmungsradien der Kapillare R_1 und R_2 und mit dem Unterdruck innerhalb der Kapillare verbindet.

$$\Delta p = \gamma_{lg} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad (8)$$

Da das Lösen von Gleichung (8) nicht trivial ist, werden meist für die Berechnung der Kapillarkraft zur Vereinfachung mehrere Annahmen getroffen: unter anderem,

dass die beiden Krümmungsradien R_1 und R_2 als auch das Volumen der Kapillare konstant sind. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die maximal mögliche Kapillarkraft näherungsweise mit folgender Gleichung berechnen:

$$F_{Kap,max} = 2\pi\gamma_{lg}r_p^* \cos\theta^* \quad (9)$$

Dabei ist r_p^* der mittlere Partikelradius und θ^* der mittlere Kontaktwinkel der beiden Feststoffphasen gegenüber der Kapillare.

Da sich aber im Falle von gasgefüllten Kapillaren mit jeder Druckänderung auf Grund des idealen Gasgesetzes auch Volumenänderungen ergeben, ist Gleichung (9) für gasgefüllte Kapillaren nicht ohne weiteres anwendbar. Daher wurde im Rahmen der Arbeit ein Modell für die Berechnungen entwickelt, welches ein veränderliches Volumen der Kapillare mitberücksichtigt.

Messung von Haftkräften

Die im Rahmen der Arbeit ermittelten Haftkräfte zwischen den Partikeln und den Oberflächen wurden mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskops durchgeführt. Im Grundaufbau besteht dieses aus einer dünnen Blattfeder, auf deren Oberfläche ein Laser reflektiert wird. Erfährt die Feder eine Kraft und wird daher ausgelenkt, ändert sich der Reflektionswinkel des Lasers, was wiederum detektiert wird. Ist die Federkonstante der Blattfeder bekannt, kann anhand der detektierten Biegung die wirkende Kraft berechnet werden. *Abb. 3* zeigt ein mittels Rasterelektronenmikroskop aufgenommenes Partikel aus Aluminiumoxid, angeklebt an die dünne Blattfeder (Leim schwarz).

Ausgewählte Ergebnisse der Arbeit

Abb. 4 zeigt die gemessenen (durchgehende Linien) und berechneten (gestrichelte Linien) Verteilungen für ein Partikel gegen eine raue Oberfläche jeweils aus Aluminiumoxid. Die Berechnungen erfolgen dabei mit dem im Rahmen der Arbeit entwickelten Modell zur Berechnung von Haftkraftverteilungen auf Basis leicht ermittelbarer Parameter.

Allgemein lässt sich erkennen, dass die Verteilungen der Haftkräfte bei den hier untersuchten rauen Oberflächen teilweise zwei Größenordnungen umspannen. Die berechneten Kurven passen allgemein gut zu den gemessenen Verteilungen. Die Ausnahme ist dabei der Bereich der niedrigen Haftkräfte bei den beiden linken Kurven, wo die berechneten Kurven zu geringe

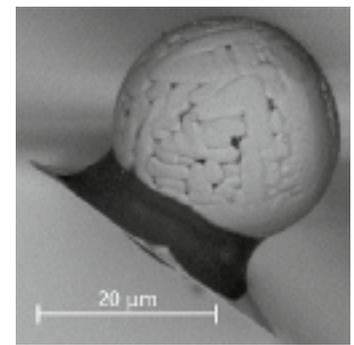
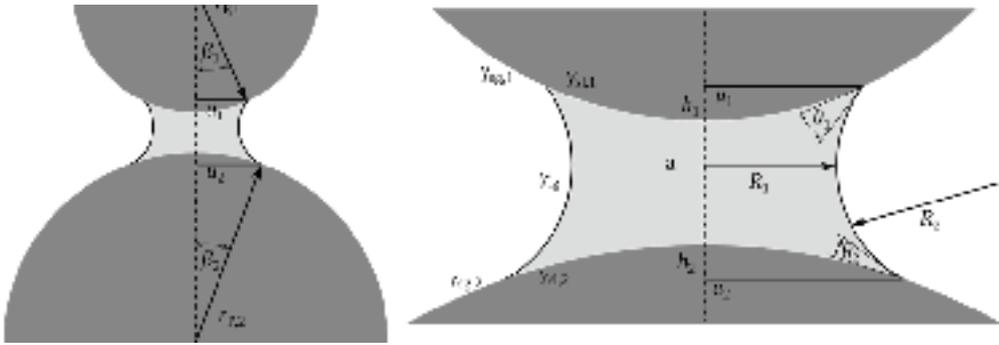


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Kapillarbrücke zwischen zwei verschiedenen großen Partikeln

Abb. 3: Partikel aus Aluminiumoxid an der Blattfeder

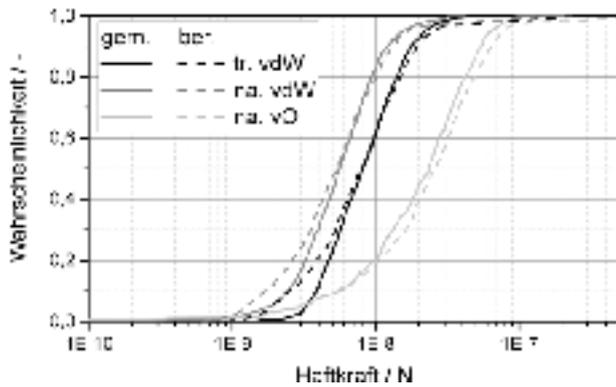


Abb. 4: Gemessene und berechnete Haftkraftverteilungen für das System Aluminiumoxid in verschiedenen Modifikationen

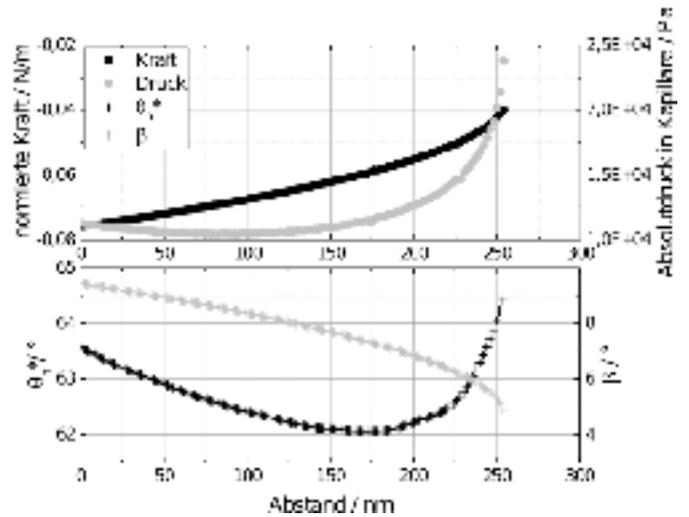


Abb. 5: Mit Hilfe des entwickelten Modells berechnete Kapillarkraft und Druck innerhalb der Kapillare sowie der Eintauchwinkel und Kontaktwinkel am Partikel

Haftkräfte zeigen. Die Abweichungen sind aber als vertretbar anzusehen, da die prinzipielle Größenordnung und der prinzipielle Verlauf erkennbar sind.

Die schwarze Kurve zeigt die Ergebnisse in trockener Umgebung, die dunkelgraue Kurve das gleiche System in wässriger Umgebung. Wie zu erkennen ist, nimmt die Haftkraft in wässriger Umgebung ab, ohne den Charakter der Verteilung zu ändern. Durch die Zugabe von Wasser wird die Grenzflächenenergie herabgesetzt und damit auch die HAMAKER-Konstante. Der Charakter der Verteilung ändert sich hingegen nicht, da nur VAN DER WAALS-Kräfte vorherrschen.

Für die hellgraue Kurve wurde das Aluminiumoxid mit einem Silan beschichtet. Dadurch wurde die Grenzflächenenergie erhöht.

Weiterhin werden durch die Kombination der unpolaren Beschichtung und Wasser die polaren Kräfte gemäß VAN OSS wirksam. Wie zu erkennen, geht damit einerseits eine deutliche Erhöhung der Haftkräfte als auch andererseits eine deutliche Änderung der

Kurvencharakteristik einher. Dies wird auch in der theoretischen Berechnung deutlich und liegt an der exponentiellen Abhängigkeit vom Abstand in den Gleichungen für die polaren Kräfte.

Abb. 5 zeigt hingegen den mit Hilfe des entwickelten Modells berechneten Verlauf der Kapillarkraft (schwarze Punkte) als Funktion des Abstandes der Partikel (Partikelradius jeweils $12,5\mu\text{m}$). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Haftkraft mit dem Entfernen der Partikel kontinuierlich nachlässt. Bei einem Abstand von ca. 250 nm implodiert die Kapillare, zu erkennen an dem plötzlich ansteigendem Druck innerhalb der Kapillare sowie an dem einbrechendem Eintauchwinkel β (graue Kreuze im unteren Bild).

Das entwickelte Modell kann neben dem Verlauf der Kraft, des Drucks sowie der Eintauch- und Kontaktwinkel auch den Verlauf der restlichen, in Abb. 2 gezeigten geometrischen Größen berechnen. Somit eignet es sich hervorragend für die Modellierung und das Studium der verschiedenen Einflussparameter.

Zusammenfassung

Im Rahmen der Promotionsarbeit wurden Haftkräfte zwischen rauen Oberflächen in Abhängigkeit der Benetzungseigenschaften untersucht. Es hat sich dabei einerseits gezeigt, dass in Abhängigkeit der Benetzung verschiedene Kräfte und Kraftmechanismen gemessen werden.

Weiterhin wurde deutlich, dass die Kräfte durch die rauen Oberflächen um bis zu zwei Größenordnungen verteilt vorliegen können. Es wurde daher ein Modell entwickelt, um diese Verteilungen auf Basis messbarer Oberflächeneigenschaften berechnen zu können. Mit einem weiteren erstellten Modell können die Haftkräfte aufgrund gasgefüllter Kapillaren berechnet werden. Dazu wurden die aus den Flüssigkeitsbrücken bekannten Ansätze um die ideale Gasgleichung erweitert, um das schwankende Volumen der Kapillare bei sich änderndem Druck mit berücksichtigen zu können.

Die somit entwickelten Modelle sind eine gute Grundlage für weitere Forschungen im Rahmen des SFB 920.

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.

Besuch der europäischen Sommerschule zu Energiefragen der Zukunft

Im Rahmen meiner Promotion am Institut für Experimentelle Physik beschäftige ich mich mit der elektrischen Kontaktierung des Verbindungshalbleiters Galliumnitrid (GaN) und mit dem Einfluss dieser metallischen Kontaktierung auf die elektronischen Eigenschaften des Halbleiters selbst.^(1,2) GaN gewinnt durch seine hervorragenden intrinsischen Eigenschaften (vor allem durch seine große direkte Bandlücke) von Jahr zu Jahr an Bedeutung für Anwendungen in der Opto-, Leistungs- sowie in der Hochfrequenzelektronik. Typische Anwendungen sind extrem energieeffiziente Bauteile wie z. B. LEDs, Konverter für Solar- und Windkraftanlagen, Netzadapter, Wechselrichter für den Bereich der Elektromobilität und Hochfrequenzanwendungen für den 5G-Mobilfunkstandard. In diesen Technologien übernimmt GaN immer mehr die Schlüsselrolle und wird somit einer der wichtigsten Bausteine für eine nachhaltige und zukunftsfähige Energienutzung.

Während meiner Promotion ist es mir äußerst wichtig, Kontakt zur GaN-Forschungsgemeinschaft über das eigene Institut hinaus zu haben. Deshalb war es mein Wunsch, auch in diesem Jahr die europäische Sommerschule *Summer School on Wide-Bandgap Nitride Devices* zu besuchen, an der Doktoranden vor allem aus Europa (insbesondere Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien), aber auch aus den USA und Asien teilnahmen. 2019 fand sie in der wunderschönen, in einem alten Kloster beheimateten, Universität Gent/Belgien vom 8. bis 11. Juli statt. Sie ist die Einzige ihrer Art, bei der auch mein Fachgebiet „Ohmsche Kontakte zu GaN“ diskutiert wird. Einige der Doktoranden kannte ich bereits aus den letzten beiden Jahren, und so war es eine sehr intensive Woche des Austauschs, der Vernetzung und der gegenseitigen Motivation, so dass meine sehr fachspezifische Arbeit wieder in ihren größeren Kontext gestellt wurde.

Das Kernthema der Sommerschule war der Halbleiter GaN in seiner Herstellung, Charakterisierung und Anwendung. Es ging also von der Kristallzüchtung über Defektcharakterisierung, Heterostrukturierung (zweidimensionales Elektronengas),

Bauelemententwicklung (*High-Electron-Mobility-Transistor*), Bauelementintegration in bestehende Silizium-Technologie, Bauteilverpackung im Endprodukt, Fehleranalyse des Bauteils und nicht zuletzt um den Einfluss verschiedener Umgebungsbedingungen auf das Endverbraucherprodukt. Denn gerade, wenn es um Anwendungen in der Automobilbranche und insbesondere um autonomes Fahren geht, müssen Fehler quasi ausgeschlossen werden. Dasselbe gilt für die Luft- und Raumfahrttechnik.

Dafür brachte die Sommerschule die wichtigsten europäischen Vertreter auf dem Gebiet der nitridischen Halbleiter aus Wissenschaft (u. a. Prof. O. Ambacher und G. Meneghesso) und Industrie (Siemens, Bosch, X-Fab, ON-Semiconductor) zusammen. Trotzdem fand sie in kleinem Rahmen statt: etwa 30 Doktoranden waren angereist, was den Austausch umso intensiver machte.

Zum Abschluss haben wir noch das Werksgelände des Halbleiterherstellers ON-Semiconductor in Oudenaarde/Belgien besucht, in dessen Werk Steuerelektronik für alle großen Autohersteller produziert wird und deren Werkshallen in den nächsten Jahren für die Herstellung von GaN-basierten Technologien aufgerüstet werden.

Der Besuch dieser Sommerschule wurde mir zum Teil durch ein Stipendium in Höhe von 300 € durch den Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg ermöglicht. Vielen Dank!

■ Valentin Garbe

→ <http://www.inrel-npower.eu/SummerSchool2019>

Veröffentlichungen

- 1 V. Garbe, J. Weise, M. Motylenko, W. Münchgesang, A. Schmid, D. Rafaja, B. Abendroth, and D. C. Meyer: Au-free ohmic Ti/Al/TiN contacts to UID n-GaN fabricated by sputter deposition, *J. Appl. Phys.* 121, 065703 (2017).
- 2 V. Garbe, B. Abendroth, H. Stöcker, A. Gavrilov, D. Cohen-Elias, S. Mehari, D. Ritter, and D. C. Meyer: Oxygen and hydrogen profiles and electrical properties of unintentionally doped gallium nitride grown by hydride vapor phase epitaxy, *Cryst. Res. Technol.* 50, 425 (2015).



Der Autor vor der Universität Gent (Hintergrund Mitte), gelegen im Stadtzentrum

Fachexkursion an die Hochschule Neubrandenburg

Im Rahmen des Studiengangs „Markscheidewesen und Angewandte Geodäsie“ fand auch in diesem Jahr vom 14. bis 18. Juli 2019 eine Fachexkursion an den Lehrstuhl für „Praktische Geodäsie und Instrumentenkunde“ der Hochschule Neubrandenburg statt.

Die dort angestellten Untersuchungen stehen im Zusammenhang mit dem Modul „Markscheiderisch-Geodätische Instrumententechnik“. Die Exkursionsgruppe bestand aus zwei Mitarbeitern des Instituts für Markscheidewesen und Geodäsie und vier Studierenden im dritten Semester. Im Einzelnen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- im Labor:
 - Kalibrierung von Präzisionsnivellierlatten (manuelle Ablesung und im automatischen Nivellierlattenkomparator)
 - Bestimmung der Achs-Fehler an Theodoliten an Kollimatoren
 - Bestimmen des Ziellinienfehlers und Ermittlung der Kompensator-Ablaufkurve an Präzisionsnivellierinstrumenten
 - Frequenzprüfung der elektronischen Distanzmesssysteme (EDM) moderner Totalstationen
 - Messpraktikum mit Vermessungskreiselsystemen und zudem
- in situ:
 - Prüfung der Additionskonstanten (Prismenkonstante) und EDM-Prüfung auf der ca. 1,5 km langen Kalibrierstrecke der HS Neubrandenburg in Ganzkow



Foto: Stefanie Schoppenhauer

Bestimmung des Ziellinienfehlers und der Kompensator-Ablaufkurve

Mit Hilfe der im Labor ermittelten systematischen Fehlerbeträge konnten diese an den aus Freiberg mitgebrachten Instrumenten – soweit möglich – vor Ort durch Justieren beseitigt oder ihr Einfluss gemindert werden. Bei einem Erfahrungsaustausch mit gemeinsamem Grillen fand die Exkursion einen gelungenen Abschluss.

Unser Dank gilt Herrn Professor Heger und seinen Mitarbeitern für die solide Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten sowie für die freundliche Unterstützung bei unseren Arbeiten. Weiterhin danken wir dem DMV e. V. und dem Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. für die finanzielle Unterstützung.

■ Tim Otto

Exkursion der AAPG und EAGE Student Chapter zur Firmenführung bei ENI in Mailand

Am 27. Juni 2019 durften die Freiburger Student Chapter der AAPG (American Association of Petroleum Geologists) und der EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers) das ENI-Hauptquartier in Mailand besuchen und dort an einer Firmenführung teilnehmen.

Insgesamt fuhren zwölf Studenten der TU Bergakademie Freiberg mit. Von 9 bis 15 Uhr konnten wir Einblicke in die Arbeitsabläufe der Firma erhalten. Unser Führer Riccardo Pessina zeigte uns zuerst die „Core Exhibition“, eine Ausstellung verschiedener Bohrkerne aus aller Welt und den zugehörigen Ölen, die aus der jeweiligen Formation gefördert werden.

Danach ging es weiter zum „GEO-LAB“. Dort wird Elektronenmikroskopie betrieben, um die Poren des Gesteins zu charakterisieren, aber auch um Aussagen über die Diagenese des Gesteins treffen zu können. Sie eignet sich außerdem zur Klärung wichtiger Fragen – z. B., wie die Bohrspülung beschaffen sein muss oder warum das Öl in einer Lagerstätte nicht richtig aus der Formation herausfließt.

Im GEOLAB besichtigten wir als

nächstes die Abteilung „Mineralogy and Chemical Analysis (XRD & XRF)“. Dort erfuhren wir spannende Details zur Röntgendiffraktometrie und Röntgenfluoreszenz, die der Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Proben dienen, um die Qualität der mineralogischen Daten zu verbessern. Damit kann dann schlussendlich die Reservoirqualität einigermaßen realistisch bewertet werden.

Im Anschluss nahm uns Riccardo mit zu seinem Büro, wo er uns eine Präsentation zum Thema „Theorie zur Analyse der Reservoir-Qualität“ vorführte. Mithilfe der Software *Geocosm Touchstone* kann das Alter des Gesteins anhand diverser petrophysikalischer Parameter abgeschätzt werden. Auf diese Weise können wichtige Fragen geklärt werden, z. B., ob genügend Öl im Gestein enthalten ist, damit eine Förderung finanziell lohnenswert ist.

Nachmittags stand ein Besuch im Bereich der Geochemie mit unseren Führern Danilo Dolci und Isabella Flores an. Sie zeigten uns verschiedene Labore und erklärten uns, was dort im Einzelnen

untersucht wird. Hauptsächlich geht es um die Untersuchung der geförderten Öle (Qualitätsbestimmung, Ölanteilermittlung, Bestimmung der Wirtschaftlichkeit des Reservoirs, Klärung der Frage, ob und in welcher Art und Weise verschiedene Reservoirs miteinander zusammenhängen), die Untersuchung des Erdölmuttergesteins (Ermittlung der Diageneserate des Gesteins durch Vitritreflexion oder in ihm enthaltener Sporen und Pollen) sowie um die Untersuchung von Erdölbegleitgas (Zusammensetzung, organischer oder anorganischer Ursprung, Gasanteil)

Letztendlich verabschiedeten wir uns von ENI nach einem sehr erlebnisreichen Tag. Alles in allem lernten wir sehr viel Neues, konnten spezielle Fragen stellen und erhielten einen Eindruck davon, was es bedeutet, für ENI zu arbeiten.

■ Annika Schmidt

Vielen Dank an ENI für diese interessante Exkursion und an unsere Sponsoren: den VFF (Verein Freunde und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg), die EAGE, die AAPG und das Institut für Geophysik und Geoinformatik.

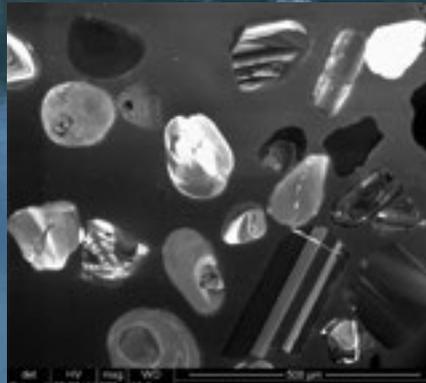
Schwermineralexploration im Murray-Becken

Martin Köhler

Schwermineralsande sind Schlüsselrohstoffe der Weltwirtschaft. Die in ihnen enthaltenen Wertelemente und Minerale werden in einer Vielzahl von Produkten wie Keramiken, Chemikalien, Farben und Metallen verwendet. Um die weltweite Nachfrage nach Zirkon, Rutil, Ilmenit u. ä. zu bedienen, müssen Prozesse und Ablagerungsbedingungen im Detail verstanden werden, damit neue Lagerstätten exploriert werden können. Der Großteil der weltweiten Schwermineralagerstätten ist an ehemalige sedimentäre Systeme geknüpft, sodass sich hier eine bemerkenswerte Schnittstelle zwischen Sedimentologie und Lagerstättenlehre darbietet!

Das 300.000 km² große intrakratonische Murray-Becken stellt seit dem Paläozän einen wesentlichen Ablagerungsraum für Sedimente in Südostaustralien dar und enthält signifikante Ressourcen an Schwermineralen, die stets im Zusammenhang mit ehemaligen pliozänen Küsten stehen (Keeling et al., 2016). Das Becken ist nahezu vollständig von Gebirgen und Höhenzügen umgeben, deren erodierte Gesteine durch Flüsse in das Becken transportiert werden und somit die Sedimentquelle bilden. Schwerminerale wie Zirkon, Rutil, Ilmenit und Monazit sind Minerale, die durch ihre hohe Dichte von $> 2,9 \text{ g/cm}^3$ in bestimmten Küstenabschnitten angereichert werden können, in denen die ansonsten eher quarzreichen Sande aufgrund ihrer geringeren Dichte von Strömungen und Wellen weitertransportiert werden. Besonders an exponierten Stellen, zum Beispiel in Folge von Verwerfungen, können sich bei passender Strömungsgeschwindigkeit und ausreichendem Sedimentangebot Schwermineraleisen in Strandwällen bilden. Im westlichen Murray-Becken erstrecken sich über 200 dieser Strandwälle der Loxton Sand-Formation über ein Gebiet von 135.000 km² (Miranda et al., 2009). Australien unterlag im Känozoikum starken klimatischen Schwankungen und das Klima wurde zunehmend trockener. In Verbindung mit schwankenden Meeresspiegeln und regionaler Neotektonik wurde die Region im Pleistozän stark verändert und die ehemaligen Strandwälle zunehmend von jüngeren Dünen überlagert.

Australien ist der Weltmarktführer im Abbau von Schwermineralsanden und



Kathodolumineszenzaufnahme einer Zirkonprobe, 320-fache Vergrößerung

besitzt die größten Ressourcen an Zirkon und Rutil (Britt et al, 2019). South Australia, der viertgrößte australische Bundesstaat, umfasst zwei Sedimentbecken mit signifikanten Schwermineralvorkommen: das Eucla- und das Murray-Becken. Im Rahmen eines sechswöchigen geowissenschaftlichen Forschungsaufenthalts an der Geological Survey of South Australia (GSSA) in Adelaide war es meine Aufgabe, vielversprechende Areale mittels Fernerkundung auszuwählen, Karten zu erstellen und Probepunkte zu setzen. Während zweier mehrtägiger Geländeaufenthalte wurden die ausgewählten Aufschlüsse – meist auflässige Sandgruben – besucht und zwölf Proben genommen. Die Sandproben wurden von mir in den Laboren der GSSA sowie der University of South Australia aufbereitet und die Schwerminerale separiert. Mittels Massenspektrometrie (LA-ICP-MS) bestimmte ich die Uran-Blei-Verhältnisse der Zirkone an der University of Adelaide, die Rückschlüsse auf deren Alter und Herkunft zulassen. Anhand dieser und weiterer Daten wie

der Korngrößenverteilungen, der Geochemie und der Korngeometrie sollen nun Rückschlüsse über potentielle Transportwege, Ablagerungsbedingungen und die Qualität der Schwerminerale gewonnen werden, um eine verbesserte Grundlage für weitere Explorationskampagnen seitens der Industrie zu schaffen.

Während meines Aufenthalts an der GSSA vom 24. April bis 4. Juni 2019 beeindruckte mich vor allem die gute Zusammenarbeit des Landesamtes mit Universitäten wie auch mit der Industrie sowie die Aufgeschlossenheit und Hilfsbereitschaft der Wissenschaftler vor Ort. Ganz herzlich möchte ich mich bei meinen australischen Kollegen, insbesondere bei Anna Petts und John Keeling, für die großartige Unterstützung und Betreuung bedanken. Ebenso bin ich sehr dankbar für die finanzielle Unterstützung seitens des Freundes und Förderer der Technischen Universität Bergakademie Freiberg e. V., des Förderkreises Freiburger Geowissenschaften sowie des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD).

Literatur

- Britt A., Senior A., Summerfield D., Hughes A., Hitchman A., Champion D., Huston D., Simpson R., Kay P., Sexton M. and Schofield A. (2019). Australia's Identified Mineral Resources 2018. Geoscience Australia, Canberra.
- Miranda J. A., Wallace M.W. and McLaren S. (2009). Tectonism and eustasy across a Late Miocene strandplain: the Loxton-Parilla Sands, Murray Basin, southeastern Australia. *Sedimentary Geology* 219, pp. 24–43.
- Keeling J. L., Reid A. J., Hou B. and Pobjoy R. (2016). Provenance of zircon in heavy mineral sand deposits, western Murray Basin, Report Book 2015/00031. Department of State Development, South Australia, Adelaide.



Martin Köhler, John Keeling, Dr. Baohong Hou und Dr. Anna Petts (v. l.) im Sandbruch Comaum



Beprobung der Loxton Sand-Formation am Flusskliff des Murray-River bei Loxton

„Halophiles 2019“ – die zwölfte internationale Konferenz zu halophilen Mikroorganismen

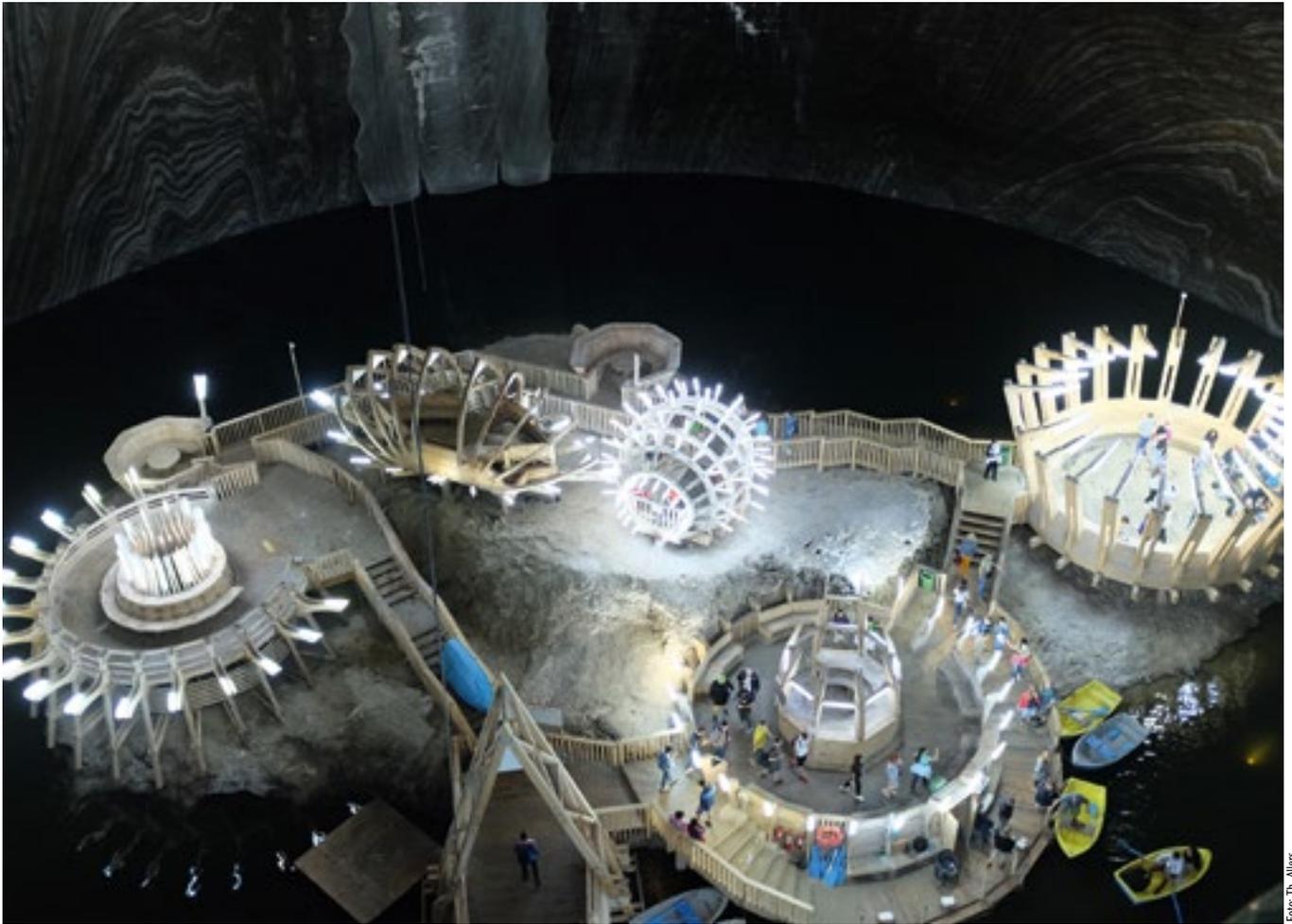


Foto: Th. Alers

Salzsee auf der Sole der Grube Terezia mit künstlicher Insel aus Rückständen der Salzförderung, Salina Turda, Siebenbürgen, Rumänien

Vom 24. bis 28. Juni 2019 fand in Cluj-Napoca, Rumänien, die Tagung „Halophiles 2019“ statt. Die alle drei Jahre ausgetragene Veranstaltung wurde diesmal von der Babeş-Bolyai-Universität Cluj organisiert. Gefördert wurde das Treffen unter anderem von der „International Society for Salt Lake Research“ und der „Federation of European Microbiological Societies“. Eingeladen und den Tagungsvorsitz hatte der Lehrstuhl „Molecular Biology and Biotechnology“ unter Leitung von Prof. Horia Banciu.

Der zur Tagung angenommene Beitrag der AG Umweltmikrobiologie an der TU Bergakademie Freiberg beschäftigt sich mit der Diversität und Zusammensetzung mikrobieller Lebensgemeinschaften in den hypersalinen und lithiumreichen Lösungen des Salar de Uyuni – des größten Salzsees der Erde: *Exploration of the prokaryotic diversity in the hypersaline and lithium-rich Salar de Uyuni by DNA-Metabarcoding*. In Zeiten zunehmender Elektromobilität ist es von großem Interesse,

die Salzseen des südamerikanischen Altiplano als potentielle oder bereits in Ausbeutung begriffene Lithiumquellen auch mikrobiologisch detailliert zu untersuchen. Der ca. 10.000 km² große Salar de Uyuni ist mit einem geschätzten Lithiumvorkommen von mindestens 5,4 Millionen Tonnen eine der ergiebigen Quellen für diesen Schlüsselrohstoff der aktuell führenden Batterietechnik.

Erst seit wenigen Jahren wird der Salar bezüglich seiner mikrobiellen Lebensgemeinschaften untersucht. In der vorgestellten Studie werden Ergebnisse der Untersuchung von halophilen Archaeen in ihrer Zusammensetzung an zwei nördlichen (unweit Tahua) und zwei östlichen (nahe Colchani) Standorten gezeigt. Für die Analysen zur Diversität und Taxonomie wurde die in der Arbeitsgruppe von Prof. Schlömann etablierte Hochdurchsatz-Sequenzieretechnik (Next-Generation-Sequencing) für kleine phylogenetisch

relevante DNA-Abschnitte eingesetzt. Die Ergebnisse belegen auffällig divers zusammengesetzte Lebensgemeinschaften in allen untersuchten Solelösungen. Es kommen ausschließlich Archaeen und interessanterweise keine halophilen Bakterien in diesen Extremhabitaten vor. Die Gattung *Halonotius* dominiert die aufgefundenen Gemeinschaften. Mit Tagungsteilnehmern aus Rumänien, Israel und Russland konnten Aspekte der Probenvorbereitung (Probenahme, DNA-Isolation, Erstellung von Bibliotheken aus der „DNA-Markersequenz“) sowie bioinformatische Fragen zur Datenverarbeitung im Anschluss an die Sequenzierung erörtert werden. Möglichkeiten einer weiterführenden Zusammenarbeit zu Fragen der Sequenzenauswertung wurden mit Kollegen des Akademieinstituts in Orenburg diskutiert.

Am letzten Konferenztage führte eine Exkursion die Tagungsteilnehmer in das



Foto: Th. Allers

Rudolf-Grube in der Salina Turda, das Zentrum des Salzbergwerks

unweit von Cluj/Klausenburg gelegene Salzbergwerk von Turda. Das älteste Salzbergwerk Siebenbürgens hat seinen frühen Ursprung wahrscheinlich in der Zeit, als die Provinz Dakien für 150 Jahre Teil des Römischen Reichs war. Historisch verbürgt ist die Salzgewinnung in Turda und Umgebung seit dem 11. Jahrhundert. Nach einer Blütezeit unter Habsburgischer Herrschaft kam die Salzförderung 1932 zum Erliegen. Im Anschluss daran wurde der Franz-Joseph-Stollen eine Zeitlang für die Lagerung und Reifung von Käse verwendet, bis das gesamte Bergwerk in einen Freizeitpark und ein großes Zentrum für Halotherapie umgewandelt wurde. Eine der vielen Touristenattraktionen in Turda ist der acht Meter tiefe Salzsee am Fuße der gigantischen Grube „Terezia“, auf dem man mit dem Ruderboot in der Sole paddeln und die beeindruckenden Muster an den Salzflözen studieren kann.

■ Götz Haferburg

Forschungsaufenthalt zur Optimierung von Enzymimmobilisierung in Polen

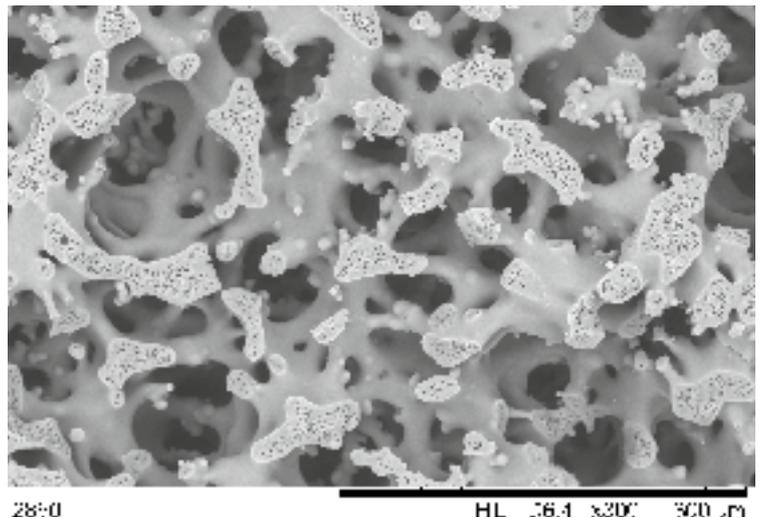
Vom 6. bis zum 17. Mai 2019 war ein Student der Angewandten Naturwissenschaft im Rahmen seiner Masterarbeit im Besuch an der Schlesischen Technischen Universität in Gliwice, Polen, um an der Immobilisierung von Enzymen zu forschen.

In Fortsetzung meiner Projektarbeit beschäftige ich mich mit der Immobilisierung einer Phenylacetaldehyd-Dehydrogenase aus dem in Freiberg entdeckten Bodenbakterium *Sphingopyxis fribergensis* Kp5.2. Dieses Enzym katalysiert die Umwandlung verschiedener Phenylacetaldehyde in Phenylelessigsäuren. Die bei dieser Reaktion entstehenden Produkte sind wertvolle Rohstoffe in der Lebensmittel- sowie Kosmetikindustrie und finden chemisch weiter modifiziert sogar Anwendung in der Pharmazie. Die Enzymimmobilisierung, d. h. die Bindung eines Enzyms an ein Trägermaterial, kann die Stabilität des Enzyms erhöhen und dessen Wiederverwendbarkeit ermöglichen. Dies ist ein wichtiger Schritt, um einen biotechnologischen Prozess zu etablieren, in welchem kostengünstig sowie umweltfreundlich Phenylelessigsäuren hergestellt werden können. In meiner vorangegangenen Arbeit habe ich mich bereits mit diesem spannenden Thema beschäftigt und konnte viele Erfahrungen auf diesem Gebiet sammeln sowie für dieses Enzym

bisher einmalige Ergebnisse produzieren. Jedoch konnte bei diesen Versuchen die katalytische Aktivität des Enzyms nicht in dem Maße wie gewünscht erhalten werden. Deswegen habe ich mich an die Schlesische Technische Universität in Gliwice begeben, um noch mehr über Enzymimmobilisierung zu lernen. Meine Kontaktperson vor Ort war Dr. Katarzyna Szymańska. Sie gehört mit ihrer Arbeitsgruppe zu den Projektpartnern des Freiburger Instituts für Biowissenschaften und ist spezialisiert auf die Immobilisierung von Enzymen. Durch den zweiwöchigen Forschungsaufenthalt habe ich einen tiefen Einblick darin erhalten, welche Möglichkeiten der Enzymimmobilisierung es gibt und welche Bedingungen verändert werden können, um diesen Prozess zu optimieren. Das neu erworbene Wissen konnte ich gleich erfolgreich vor Ort anwenden. Dabei gelang es mir, ein Immobilisat zu erzeugen, bei welchem die Enzymaktivität in hohem Maße erhalten blieb.

Danksagung: Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die mir bei diesem Unternehmen geholfen haben. Für die fachliche Betreuung geht ein herzlicher Dank insbesondere an Dr. Katarzyna Szymańska. Weiterhin bedanke ich mich bei dem Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e.V. sowie dem DAAD für die finanzielle Unterstützung, ohne die der Forschungsaufenthalt nicht möglich gewesen wäre.

■ Matthias Voitel



Rasterelektronenaufnahme der Porenstruktur eines Trägermaterials



Verschiedene Trägermaterialien mit immobilisiertem Enzym, getrocknet

St.-Barbara-Stipendium des Fördervereins VFF der TU Bergakademie Freiberg

Klara Schönfelder, Hans-Jürgen Kretzschmar

Im Herbst 2015 feierte die TU Bergakademie Freiberg ihr 250-jähriges Jubiläum als weltälteste Montanuniversität. In jenem Herbst und der folgenden Zeit erreichten auch hunderttausende Migranten ihr Fluchtziel Deutschland, darunter einige Studierwillige für die TU Bergakademie Freiberg.

Aufgabe des Stipendiums

Mit seinem Jubiläumsgeschenk an die Universität, der silbernen St. Barbara-Statue im Foyer des Rektoratsgebäudes fand der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. (VFF) für die kleineren, bronzenen Tischstatuen der St. Barbara neun hochherzige Spender, aus deren Gabe der St. Barbara-Stipendienfonds gebildet werden konnte. Daraus werden Migranten-Studierende an der Freiburger Universität finanziell unterstützt, um deren Studienanlauf zu erleichtern. Der Fonds konnte 2015 mit einem Kapital von rund 45 T€ starten. Bis zum August 2019 wurden davon rund 30 T€ ausgereicht.

Die ersten Barbara-Stipendiaten

Die Ausgangssituation der ersten an der Bergakademie immatrikulierten Geflüchteten war nicht leicht. Bei ihrem Studienbeginn existierten nur wenige spezifische Förderprogramme und Beratungsstellen. Die Bildungsintegration Geflüchteter stellte eine neue Herausforderung dar, deren Ausmaß zu diesem Zeitpunkt schwer einzuschätzen war.

Abu Erzhaev aus Tschetschenien und Rabeh Muhrez aus Syrien freuten sich sehr, als sie im Sommersemester 2016 als erste Barbara-Stipendiaten Laptops für ihr Studium überreicht bekamen. Dass die Spende durch das Barbara-Stipendium eine große Hilfe darstellte, bewies Herr Muhrez, der im März 2018 sein Masterstudium „Groundwater Management“ erfolgreich abschloss und mittlerweile als Projektmitarbeiter am DVGW-Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe auch im Berufsleben angekommen ist. Inzwischen sind an 30 Migranten-Studierende aus Syrien, Irak, Libyen, Eritrea und Ägypten weitere Laptops übergeben worden.

Erweiterte soziale Förderung

Mit dem Studieneinstieg und fortschreitender Studiendauer veränderten sich auch die Bedarfe der studierenden Geflüchteten. Der VFF ging dazu über, eine passgenaue und individuelle Unterstützungsmöglichkeit stets in Absprache

mit den fachlich Zuständigen, dem IUZ und den Studierenden selbst anzubieten. So gab es u. a. auch Teilstipendien, Fahrtkostenerstattungen sowie Gebührenerlasse für Exkursionen, Studienmaterialien und die Immatrikulation. Besonders gefördert wurden auch die Deutschkurse vor Studienbeginn für die neuen Migranten-Studierenden, an denen bisher 19 Studienanwärter teilnahmen.

Das Barbara-Stipendium wurde von den Studierenden bisher sehr dankbar angenommen. In den letzten beiden Jahren gab es jeweils einen Deutschlandstipendiaten aus der Gruppe der Geflüchteten. Herr Ghazi Ghazal und Herr Amir Mohammad, beide aus Syrien, zählen zu den glücklichen Geförderten, die mit großem Engagement und sehr guten fachlichen Leistungen überzeugen konnten. Das Barbara-Stipendium hat von Beginn an in hohem Maße zu ihrem Studienerfolg beigetragen. Aus Mitteln des Barbara-Förderfonds veranstaltete das IUZ im September 2018 ein interkulturelles Wochenende in der Jugendherberge Frauenstein. Die Veranstaltungstage widmeten sich der Vermittlung interkultureller Kompetenz durch das Aufzeigen kulturell bedingter Unterschiede, die Stärkung der zwischenmenschlichen Beziehungen und die Förderung bunten Miteinanders. Solche Begegnungen sind sehr wichtig, bauen vorhandene Unsicherheiten ab und verhelfen zur besseren Integration.

Ausblick

Zunehmend rücken neue Schwerpunkte in den hier kurz umrissenen Aufgabenbereich. Studienbegleitung und Übergang in den deutschen Arbeitsmarkt werden immer bedeutender und bedürfen einer genaueren Analyse. Der VFF unterstützt das IUZ in hohem Maße bei der Durchführung studienbegleitender Workshops zum Studienerfolg und Karrieretraining. Die Belange der Studierenden stehen dabei natürlich an erster Stelle, gute Studienleistungen werden honoriert und Chancen zum Übergang an den Arbeitsmarkt aufgezeigt und entsprechendes Bemühen unterstützt. Darüber hinaus verlagert sich der Fokus auch in den Wissenschaftsbereich. Geflüchtete Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit anerkanntem Abschluss fragen nach Möglichkeiten einer Promotionsförderung und akademischer Nachqualifizierung an. Diese Bereiche werden in Zukunft stärker betrachtet.

Der VFF, das IUZ und die Geflüchteten an der Bergakademie danken allen Stiftern und Förderern für die Zuerkennung des Barbara-Stipendiums. Es hat bisher viele Erfolge erzielt, Perspektiven eröffnet und Ideen gefördert. Wir hoffen, dass auch in Zukunft weitere Studierwillige davon profitieren können und die Möglichkeit erhalten, ein Studium an der TU Bergakademie Freiberg aufzunehmen.

Gedenktafel für Professor Heinrich Schubert enthüllt



Gedenktafel für Professor Heinrich Schubert

Über 70 Gäste nahmen am 23. Januar 2019 an der Einweihung der Gedenktafel für Herrn Professor Heinrich Schubert (1926–2018) im Foyer des Karl-Kegel-Baus teil. Professor Schubert wäre an diesem Tag 93 Jahre alt geworden. Der Geehrte war langjähriger Direktor des Instituts für Aufbereitung und später des Wissenschaftsbereichs Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik an der Bergakademie Freiberg. Er bildete über 500 Diplomanden aus und hat sein Fachgebiet mit fast 300 Veröffentlichungen sowie vielen Patenten nachhaltig beeinflusst. In seiner Laudatio würdigte Professor Dr. Urs Peuker, Prorektor für Strukturentwicklung an der TU Bergakademie Freiberg und Nachfolger von Heinrich Schubert am Institut, den am 9. April 2018 Verstorbenen. „*Er war ein ganz Großer! Jemand, der für seine Bergakademie gestanden hat. Heute ist ein Tag, an dem wir innehalten können und auf das phantastische Leben eines großen Wissenschaftlers blicken.*“

Die Tafel finanzierte dankenswerterweise Dr. Klaus Heeg, Mitglied des Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. Dr. Heeg hatte früher bereits die Gedenktafel für Professor Wolfgang Küntscher am Institut für Eisen- und Stahltechnologie angeregt und finanziert. Gegossen wurden beide Tafeln im Gießereinstitut der TU Bergakademie Freiberg.

An der Bergakademie wird an Heinrich Schubert bereits mit einem im Jahr 2010 geschaffenen Gemälde des Künstlers Christoph Wetzel im Senatssaal sowie mit einem Foto im Zeitstrahl des Universitätshauptgebäudes gedacht. Ab 2019 vergibt die Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik zudem den Heinrich-Schubert-Preis für herausragende fachliche Leistungen im Bereich der Mechanischen Verfahrenstechnik, der Mineralaufbereitung und des Recyclings. Mit dem Heinrich-Schubert-Preis wird das Fachgebiet der Aufbereitungstechnik weiterhin im allgemeinen Bewusstsein gehalten und weit über die Grenzen Freibergs hinaus bekannt gemacht.

■ Stefanie Preißler

© Stefanie Preißler

Chronik 2020

1645 – 375 Jahre

- (14.12.) Hannß Carl von Carlowitz geboren, Oberberghauptmann, begründet 1713 mit seinem Werk „Sylvicultura oeconomica oder hauswirthliche Anleitung zur Baumzucht ...“ in der Forstwirtschaft das Nachhaltigkeitsprinzip zur dauerhaften Versorgung mit Brennmaterialien im Montanwesen.

1720 – 300 Jahre

- (04.05.) Friedrich Wilhelm von Opper geboren, 1765-69 Oberberghauptmann, Mitbegründer der Bergakademie Freiberg

1745 – 275 Jahre

- Johann Gottlieb Kern †, Verfasser des ersten montanwissenschaftlichen Hochschullehrbuches „Bericht vom Bergbau“; vor der Veröffentlichung 1769 überarbeitet und ergänzt Oberberghauptmann F. W. von Opper sein Manuskript

1770 – 250 Jahre

- Andrej F. Derjabin, in Russland geboren, Student 1793/94, 1811 Direktor des Berg-, Salz-, Münz- und Hüttendepartements sowie bis 1817 Direktor des Bergkadettenkorps in St. Petersburg

1795 – 225 Jahre

- Erscheinen der ersten „Verhaltensregeln“ für Studenten
- Christian Friedrich Leschner geboren, Student 1814, Obermarkscheider in Freiberg, 1822/59 Lehrer für praktische Markscheidekunst
- (05.02.) Wilhelm Ritter von Haidinger geboren, Student 1817/18, Autor mehrerer Bücher über Mineralogie, 1849 erster Direktor der Geologischen Reichsanstalt von Österreich
- (18.05.) Christlieb Ehregott Gellert †, Bergrat, 1766/94 erster Lehrer für metallurgische Chemie an der neugegründeten Bergakademie, seit 1762 Oberhüttenverwalter (Oberaufsicht über Schmelzhütten im Freiburger Raum)

1820 – 200 Jahre

- (22.03.) Adolph von Morlot geboren, Student 1843/46, Schweizer Geologe und Prähistoriker, Mitbegründer der Inlandeistheorie für Norddeutschland
- (03.07.) Hugo Emil Schober geboren, 1870/82 Professor für Volkswirtschaftslehre

1845 – 175 Jahre

- Einführung von Abgangszeugnissen
- (09.01.) Heinrich Roessler geboren, Student 1862/64, 1923 Ehrendoktor, Direktor der Deutschen Gold- und Silberscheide-Anstalt Frankfurt/Main (Degussa)
- (01.02.) Johann Gottlob Franke geboren, Student 1797/1800, Schichtmeister und Zechenmeister in Freiberg, unterrichtet 1815/17 Registerführung
- (13.07.) Henrik Steffens †, Student 1799/1802, Professor in Kopenhagen, Halle, Breslau und Berlin, Naturphilosoph, Autor eines vierbändigen Handbuches der Mineralogie
- (07.04.) Rogier Diederick Marius Verbeek geboren, Student 1865/66, 1922 Ehrendoktor, Bergingenieur und Geologe, ab 1885 Hauptingenieur des Bergwesens von Niederländisch-Indien

1870 – 150 Jahre

- (10.01.) Heinrich Gottlieb Kühn geboren, Student 1804/09, Inspektor der Porzellanmanufaktur Meißen, erfand 1827 die Glanzvergoldung, 1849 Direktor der Manufaktur
- (11.03.) Rudolf Schenck geboren, 1930 Ehrendoktor, Professor für Chemie an den Universitäten Münster und Marburg

- (28.03.) Johann Carl Friedrich Bunge geboren, Student 1888/92, 1927 Ehrendoktor, Bergwerksdirektor Steinkohlengrube Limburg (Niederlande)

1895 – 125 Jahre

- Akademischer Verein „Romania“ gegründet
- Markscheider Klötzer-Stiftung errichtet; Verteilung der Zinsen des Stammkapitals von 5000 Mark als Stipendien
- (08.01.) Karl Haushofer †, Student 1859/61, Professor für Mineralogie am Polytechnikum bzw. an der TH München, ab 1889 deren Direktor
- (18.02.) Moritz Ferdinand Gätzschmann †, Student 1821/25, 1833-1934 nebenamtlich Lehrer für allgemeine Markscheidekunst; 1835/71 Lehrer, ab 1836 Professor für Bergbaukunde
- (25.02.) Alfred Wilhelm Stelzner †, Student 1859/64, 1874/95 Professor für Geologie, Lagerstätten- und Versteinerungslehre
- (13.05.) Eckley Brinton Coxe †, Student 1862/64, Gründer und Präsident des American Institute of Mining Engineers
- (28.06.) Georg Buderus †, Student 1858/60, Direktor der Buderusschen Eisenwerke, Lollar (Main-Weser-Hütte)
- (24.10.) Otto Schubert geboren, 1953/62 Professor für Bergbaukunde

1920 – 100 Jahre

- (14.05.) Hans Jürgen Rösler geboren, Student 1947/51, 1959/62 Dozent, ab 1961 Professor für Mineralogie, 1962/69 Professor für Mineralogie und Petrographie, 1969/85 Professor für Geochemie und Mineralogie, 1985 Ehrensenator
- (24.05.) Günter Viète geboren, 1959/68 Dozent für Allgemeine Geologie und Quartärgeologie, 1968/73 Professor für Geologie
- (01.06.) Werner Arnold geboren, Student 1942/43 und 1946/50, 1961/69 Professor für Bergbaukunde und Tiefbohrtechnik, 1969/85 Professor für Tiefbohrtechnik, Erdgas- und Erdölgewinnung, 1985 Ehrensenator
- (09.06.) „Stiftung zur Pflege der Leibesübungen an der Bergakademie Freiberg“ gegründet
- (14.07.) Rolf Müller geboren, 1978 Ehrendoktor, Technischer Direktor im VEB Schwermaschinenbau Lauchhammer
- (28.08.) Wassili W. Gluschko geboren, 1976 Ehrendoktor, Professor und Direktor des Wissenschaftlichen Forschungsinstituts für geologische Erkundung Kiew, Ukraine
- (22.09.) Fritz Rühs geboren, 1958/69 Dozent, ab 1959 Professor für Allgemeine Mathematik, 1969-1986 Professor für Analysis
- (23.09.) Erich Christ geboren, 1975/81 Professor für politische Ökonomie
- (30.10.) 1920 eigenständiges Promotionsrecht zum Dr.-Ing.; erste entsprechende Promotion am 22.12.1920 von Walter Schopper
- (27.12.) Johann Köhler geboren, 1951/86 Dozent, ab 1956 Prof. für Politische Ökonomie des Kapitalismus, 1967/70 Rektor, 1987 Ehrensenator

1945 – 75 Jahre

- (10.02.) Oskar Zdralek †, 1938/45 Professor für Elektrotechnik
- (20.02.) Edmund Gräfe †, 1924 Ehrendoktor, Fachmann der Braunkohlenveredlung
- (21.03.) Julius Emil Knudsen †, Student 1875/76, Hüttendirektor in Norwegen, ab 1909 Berg- und Hütteningenieur der Mitterberger Gesellschaft bei Bischofshofen
- (03.04.) August Wilhelm Schwemann †, Student 1884/85, Professor für Bergwissenschaft, Aufbereitung, Bergwirtschaftslehre und Bergrecht an der RWTH Aachen, 1922/25 deren Rektor

- (20.04.) Günther Heubel †, 1923 Ehrendoktor, Generaldirektor der F. C. Th. Heye Braunkohlenwerke GmbH, Annahütte/NL.
- (07.05.) kampflose Übergabe von Freiberg an die sowjetische Armee; vorübergehende Einstellung des Lehrbetriebes der Bergakademie
- (07.05.) Karl Alfons Jurasky † (erschossen durch Soldaten der Roten Armee), ab 1934 Dozent für Kohlenpetrographie und Paläobotanik, 1941/45 a. o. Prof. für Brennstoffgeologie
- (16.06.) Beginn des Vorlesungsbetriebes auf Beschluss des Senats; nach etwa sechs Wochen auf höhere Weisung erneut eingestellt (Wiedereröffnung erst am 8. Februar 1946)
- (Juli/August) im Auftrag der Sowjetischen Militäradministration (SMAD) Einrichtung „Wissenschaftlich-technischer Büros“, Beginn der sog. „Russenforschung“
- (17.08.) August Otto Krug †, 1902/07 Bergamtsrat und Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht, 1907 Bergamtsdirektor, 1919 zum Sächs. Finanzministerium in Dresden
- (16.09.) Carl Schiffner †, Student 1885/89, 1902-1930 Professor für Hüttenkunde, Elektrometallurgie und Probierkunde, 1917/19 Rektor
- (25.11.) Reinhold Freiherr v. Walther †, 1918/35 Professor für Organische Chemie und Chemie der Kohle, 1931/33 Rektor
- (27.12.) Ernst Wilhelm Just †, 1898-1900 Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht, als Ministerialdirektor und Abteilungsleiter im Sächsischen Finanzministerium in Dresden (ab 1917) bewirkte er viel für die Bergakademie, wie die Erlangung des eigenständigen Promotionsrechts und die Errichtung des Braunkohlenforschungs-Instituts, 1921 Ehrendoktor der Bergakademie

1970 – 50 Jahre

- (Februar/März) sog. „Februar-Revolution“ an der Bergakademie; Konsequenzen der Tätigkeit einer Kontrollgruppe des ZK der SED und des MHF sind u. a. Amtsenthebung des Rektors und dreier Fachdirektoren
- (06.02.) Anton Lissner †, 1945/55 Professor für Anorganische Chemie, 1960 Ehrensenator, 1965 Ehrenbürger der Stadt Freiberg
- (25.07.) Willy Oelsen †, 1963 Ehrendoktor, Professor und Direktor des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung, Düsseldorf
- (30.08.) Hans Froberg †, Student 1920/25 und 1931/32 (Promotion), Montangeologe und Bergingenieur in den USA und Kanada, 1966 Präsident der Mineralogischen Gesellschaft von Kanada
- (19.10.) Otto Emicke †, 1928/42 a. o. Professor für Walzwerkskunde und Transportwesen, 1942/46 o. Professor für Verformungskunde, 1949/56 erster Direktor des Forschungsinstituts für NE-Metalle in Freiberg, 1961 Ehrensenator

1995 – 25 Jahre

- 1995 Einrichtung Aufbaustudiengang Wirtschaftswissenschaften für Ingenieure, Mathematiker und Naturwissenschaftler
- (02.01.) Wolfgang Buchheim †, 1950/75 Professor für Theoretische Physik und Geophysik
- (13.02.) Manfred Hackeschmidt †, 1967/69 Professor für Strömungslehre und Wärmetechnische Grundlagen des Industrieofenbaus, 1969/71 Professor für Strömungs- und Modelltechnik, 1971/95 Professor an der HFV Dresden, ab 1992 an der TU Dresden

■ Roland Volkmer

Alexander von Humboldt – Nachlesen

Norman Pohl

Eine umfassende, vertiefte Beschäftigung mit Alexander von Humboldt war wohl noch nie so einfach zu bewerkstelligen wie heute. Laufende Forschungs-, Editions- und Ausstellungsprojekte bilden den Hintergrund für zusammenfassende Darstellungen wie vertieft behandelte Einzelaspekte seiner wissenschaftlichen Interessen und Leistungen, seiner Wirkungsgeschichte und Schriften zu einzelnen Lebensphasen. Auch in der Lehre der vergangenen zehn Jahre war dieser bedeutende Absolvent der TU Bergakademie Freiberg – im hiesigen Studium Generale – präsent, und seine Freiburger Zeit fand stets Interesse, sei es in der Literatur, in Filmdokumentationen oder bei inzwischen regelmäßig für ein interessiertes Publikum angebotenen Informationsveranstaltungen. Der nachfolgende Beitrag erschließt ohne Anspruch auf Vollständigkeit und aus der subjektiven Sicht des Autors Literatur, Dokumentationen und Netzangebote, um eine Annäherung an Alexander von Humboldt wie auch einen raschen Zugang zur Forschungsliteratur zu ermöglichen.

Orientierend ist das von Ottmar Ette 2018 herausgegebene Handbuch zu Leben, Werk und Wirkung. 48 Kapitel nebst Einführung und kurzer Biographie¹ zu den Schwerpunkten „Werke“, „Wissenschaften“, „Wissen“, „Weggefährten“ und „Wirkungen“ geben mit Zeittafel und Bibliografie den derzeit bestmöglichen Überblick. Noch immer empfehlenswert, wenn auch älteren Datums (2000) ist das reich bebilderte Werk von Otto Krätz: Alexander von Humboldt, Wissenschaftler, Weltbürger, Revolutionär. Von historischem Wert, aber noch immer mit Gewinn zu lesen, ist die zweibändige Darstellung von Hanno Beck (1959). Unübertroffen, um die zeit-historischen biographischen Interpretationen der Person Alexander von Humboldt zu erfassen, ist die Metabiography von Nicolaas A. Rupke (2005). „Humboldt forever“ lautet seine Schlussfolgerung, die Humboldts „verschiedene Leben“ in sechs Kapiteln als „*Liberal Democrat before the Empire Period*“, „*Wilhelminian and Weimar Kultur Chauvinist*“, „*Aryan Supremacist*“ der Nazi-Zeit², „*East Germany's Antislavery Marxist*“, „*West Germany's Cosmopolitan Friend of Jews*“ und „*Today's Pioneer of Globalization*“ als sich im Kern widersprechende, auf der jeweiligen zeithistorischen Interpretation basierende Entwürfe zeigt.

1 kanonisch aber: Plewe in NDB Bd. 10 (1974), S. 33-43

2 dazu auch Sylvia Paletschek 2001

Findet sich der letztgenannte Aspekt auch bei Ette wieder, indem dieser „*Das Mobile des Wissens*“ in einer „*Wissenschaft aus der Bewegung*“ kunstvoll und stilsicher herausarbeitet³, so sind jüngere Ansätze von Bettina Wulf zur Vereinnahmung von Humboldt als „*ersten Ökologen*“ – mit gleichem Recht könnten Artistoteles oder Theophrastos oder Plinius d.Ä. genannt werden – gleichsam als künftig Rupkes Werk anzufügende(s) Kapitel zu sehen. Es fehlte nur noch, Alexander von Humboldt als ersten „Klimaretter“ und gleichsam die Greta Thunberg des frühen 19. Jahrhunderts zu inszenieren, vielleicht eine „Aufgabe“ für Daniel Kehlmann. Die älteren Darstellungen von Kurt-R. Biermann dürfen sich noch des historischen Interesses erfreuen. Weite Verbreitung erfuhr die von Adolf Meyer-Abich verfasste Biografie.

Zur vertieften Befassung mit Humboldts wissenschaftlichem Werk eignet sich die von Hanno Beck verantwortete Studienausgabe⁴.

Oliver Lubrich edierte jüngst Alexander von Humboldts gesamtes publizistisches Werk⁵. Die von Ingo Schwarz initiierte und im Rahmen der Arbeit der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) fortgeführte Chronologie bietet vielfältige Recherchemöglichkeiten an⁶. Die Akademie gibt derzeit auch die Reisetagebücher der Mittel- und Südamerikareise Humboldts heraus⁷, woran sich wahrscheinlich die Edition der Sibirienreise anschließen dürfte. Auf die online-Publikation der Universität Potsdam und der BBAW, „HiN“: Humboldt im Netz, ist ebenso zu verweisen. Sie erscheint seit dem Jahr 2000 als Open-access-Projekt und trägt im halbjährlichen Rhythmus interessante Forschungsbeiträge zusammen⁸. Umfassende Darstellungen liefern die Bände der *Beiträge zur Alexander von Humboldt-Forschung*.

Für Freiberg-Interessierte bieten die von Ilse Jahn edierten Jugendbriefe

3 Ette, Alexander von Humboldt und die Globalisierung, 2009

4 Werke, Darmstädter Ausgabe, 7 Bände, 2. Aufl. 2008

5 Gesammelte Schriften, Studienausgabe in zehn Bänden, München 2019

6 <https://edition-humboldt.de/chronologie/index.xql>

7 dazu auch: Ulrike Leitner, Von Mexiko-Stadt nach Veracruz

8 <http://www.hin-online.de/index.php/hin>

eine Fundgrube. Auch sind die 1994 im Akademie-Verlag publizierten „Beiträge zur Alexander von Humboldt-Forschung – Band 18 = Studia Fribergensis 1“ hervorzuheben, die die Vorträge einer Konferenz vereinen, die 1991 aus Anlass des 200. Jahrestages von Humboldts Studienbeginn an der Bergakademie durchgeführt wurde. Immer noch beachtenswert ist das 1960 erschienene Freiburger Forschungsheft D 33, aus Anlass des 100. Todestages Alexander von Humboldts – mit dem Untertitel *Seine Bedeutung für den Bergbau und die Naturforschung*. Humboldts Verbindungen zum Montanwesen widmet sich auch ausführlich Ursula Klein in ihrem Werk *Humboldts Preußen. Wissenschaft und Technik im Aufbruch* (Darmstadt 2015). Ein Kleinod stellt das Begleitheft zur Ausstellung *Flo-rae Fribergensis specimen – Alexander von Humboldt* dar⁹. Beeindruckend ist die von Jens Kugler erarbeitete und darin veröffentlichte Aufstellung der von Humboldt zu seiner Freiburger Studienzeit befahrenen Gruben. Weiterführende Informationen bietet das Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg an¹⁰. Das Institut für Markscheidewesen der TU Bergakademie Freiberg dokumentierte die zweite Grubenbefahrung Humboldts 1791 vom Wiesenschacht zum Familienschacht in einer Video-Animation¹¹.

Fotofreunde aus Gentilly und Freiberg entführten in der Ausstellung *Humboldts Orte*¹² nach Paris und in die Freiburger Partnerstädte Clausthal-Zellerfeld und Wałbrzych. Eine Dokumentation in Form eines nachträglich erscheinenden Begleitheftes ist geplant.

Auf den Spuren Alexander von Humboldts durch Sibirien war der Titel einer weiteren Ausstellung der Universitätsbibliothek Georgius Agricola in Freiberg vom 29. August bis 20. Oktober 2019, inzwischen gefolgt durch eine Präsentation zu Humboldt und die Paläontologie im Eingangsbereich der terra mineralia.

Carola Wedel leistete mit ihrer Dokumentation „Die Brüder Humboldt und ihr Forum“ einen dokumentarischen Beitrag, der die Recherchen von Benedicte Savoy

9 14. Mai bis 27. August 2019, Universitätsbibliothek Georgius Agricola, Freiberg

10 <https://tu-freiberg.de/humboldt-250>

11 <https://youtu.be/g3P3cFhQSfg>

12 Nikolaikirche Freiberg, 2. September bis 4. Oktober 2019

und David Blankenstein nachverfolgt, um das Leben von Wilhelm und Alexander von Humboldt einem breiten Publikum filmisch näherzubringen¹³. Diese Dokumentation ist mindestens bis 28. April 2023 in der zdf-Mediathek verfügbar. Wilhelm und Alexander von Humboldt in ihrem Verhältnis als Brüder waren Thema von Manfred Geier.

Als „Nachbarregionen“ Freibergs sind das Riesengebirge mit der Schneekoppe und dem vorgelagerten Hirschberger Tal anzusprechen, die Humboldt 1830 besuchte (Zielnica 2004) wie auch Franken und die Region um Goldkronach, der sich insbesondere Frank Holl und Hartmut Koschyk intensiv widmeten. Zu Unrecht schon fast vergessen ist Humboldts Bericht *Über den Zustand des Bergbaus und Hüttenwesens in den Fürstentümern Bayreuth und Ansbach im Jahre 1792*, von Herbert Kühnert als Freiburger Forschungsheft D 23 1959 herausgegeben.

David Blankenstein thematisiert „Alexander von Humboldt und Frankreich“ in dem von ihm herausgegebenen Band *Mein zweites Vaterland* (Berlin 2015). *Polonica bei Alexander von Humboldt* bietet Krzysztof Zielnica dar (Berlin 2004). Den *Fuchsstollen in Wałbrzych* dokumentiert der gleichnamige Konferenzband der Stiftung Deutsch-polnische Zusammenarbeit aus dem Jahr 2001. Humboldt befuhr den Stollen während dessen Bauphase im Januar 1793. Auf Humboldts Spuren durch die Welt führen Margot Faak (nach Mittel- und Südamerika) sowie Hanno Beck (Reise durchs Baltikum nach Russland und Sibirien) und Oliver Lubrich („Zentral-Asien“). Das Herausgeber-Team Aranda, Förster und Suckow ist auf einer „Spurensuche“ mit Bezug auf *Alexander von Humboldt und Rußland* (Berlin 2014).

Beeindruckend sind die in bibliophiler Qualität erschienenen Bände zu Alexander von Humboldts Reisen, die der Eichborn-Verlag publizierte. Die Ausgabe des Kosmos ist in weiteren Varianten verfügbar.

Eine sorgfältige Aufarbeitung des historischen Unsinn im Werk von Daniel Kehlmann, *Die Vermessung der Welt*, lieferten Frank Holl und Ottmar Ette¹⁴. Knapp bilanziert: „*Der Beitrag* [von Frank Holl, anm. N.P.] *kommt zu dem Schluss, dass alle, die etwas für ihre Allgemeinbildung tun möchten, bei Die Vermessung der Welt an der falschen Adresse sind.*“ Kehl-

mann urteilt in eigenen Worten über sein Werk: „*Das Buch gibt sich als ernsthaftes Geschichtswerk aus und ist das Gegenteil davon.*“¹⁵ Dass Kehlmanns Buch inzwischen in 50. Auflage erschienen ist, sollte ernsthaft um historische Bildung und Wahrheit Bemühte dennoch nicht in die Sinnkrise führen.

Besser aufgehoben dürfen sich die Bildungsinteressierten bei Ottmar Ette, Frank Holl, Oliver Lubrich und Manfred Osten fühlen, die sich verschiedenen Aspekten aus Humboldts Werken und seinem Wirken widmen. Das von Ette herausgegebene „Buch der Begegnungen“ sei abschließend hervorgehoben.

Eine vollständige Übersicht der im Beitrag genannten – ausgewählten – Literatur bietet eine vom Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg betreute Webseite¹⁶, die auch noch weitere Beiträge über Alexander von Humboldt im Volltext bereitstellt.

Literaturliste

- Beck, Hanno (Hrsg.): Alexander von Humboldt. Reise durchs Baltikum nach Russland und Sibirien 1829. Edition Erdmann. Ausg. Wiesbaden 2009.
- Ette, Ottmar (Hrsg.): Alexander von Humboldt-Handbuch. Leben – Werk – Wirkung. Stuttgart 2018.
- Ette, Ottmar (2012): Alexander von Humboldt in Daniel Kehlmanns Welt. In: HiN – Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien (Potsdam-Berlin) XIII, 25, S. 34–40.
- Ette, Ottmar (Hg.): Alexander von Humboldt. Die Entdeckung der Neuen Welt. Zwei Bände im Schuber. Nach der Übersetzung aus dem Französischen, von Julius Ludwig Ideler ediert. Frankfurt am Main, Leipzig 2009.
- Ette, Ottmar (Hg.): Alexander von Humboldt. Reise in die Äquinoctial-Gegenden des Neuen Kontinents. Zwei Bände. Frankfurt am Main 1999.
- Ette, Ottmar; Lubrich, Oliver: Alexander von Humboldt. Über einen Versuch, den Gipfel des Chimborazo zu ersteigen. Frankfurt am Main 2006.
- Ette, Ottmar; Lubrich, Oliver: Alexander von Humboldt: Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Frankfurt am Main 2004.
- Faak, Margot (Hrsg.); Biermann, Kurt R. („einleitende Studie“): Alexander von Humboldt: Reise auf dem Río Magdalena, durch die Anden und Mexico. Aus seinen Reisetagebüchern. Teil I: Texte. 1. Aufl. Berlin (Ost) 1986; 2., durchgesehene und verbesserte Aufl., Berlin 2003 (Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung 8).
- Faak, Margot (Hrsg.): Alexander von Humboldt: Reise durch Venezuela. Auswahl aus den amerika-

nischen Reisetagebüchern. Berlin 2000 (Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung 12).

- Hamel, Jürgen; Tiemann, Klaus-Harro Tiemann (Hg.): Alexander von Humboldt. Die Kosmos-Vorträge 1827/28 in der Berliner Singakademie. Frankfurt am Main 2004.
- Holl, Frank (Hg.): Alexander von Humboldt. Es ist ein Treiben in mir: Entdeckungen und Einsichten. München 2009.
- Holl, Frank; Alexander von Humboldt. Mein vielbewegtes Leben. Der Forscher über sich und seine Werke. Ausgewählt und mit biographischen Zwischenstücken versehen von Frank Holl. Berlin 2009.
- Holl, Frank; Schulz-Lüpertz, Eberhard: „Ich habe so große Pläne dort geschmiedet.“ Alexander von Humboldt in Franken. Gunzenhausen 2012.
- Holl, Frank (2012): „Die zweitgrößte Beleidigung des Menschen sei die Sklaverei ...“ – Daniel Kehlmanns neu erfundener Alexander von Humboldt. In: HiN – Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien (Potsdam-Berlin) XIII, 25, S. 46–62.
- Humboldt, Alexander von: Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. 134 CDs. Sprecher: Gert Heidenreich. Frankfurt am Main 2004.
- Humboldt, Alexander von: Ansichten der Natur. Mit sechs farbigen Tafeln nach Aquatinta-Radiierungen aus dem Atlas Vues des Cordillères von Humboldt und A. Bonpland. Paris 1810. Frankfurt am Main 2004.
- Humboldt, Alexander von: Ansichten der Cordilleren und Monumente der eingeborenen Völker Amerikas. Frankfurt am Main 2004.
- Humboldt, Alexander von: Ansichten der Natur. Herausgegeben von Adolf Meyer-Abich. Stuttgart 1985. Derzeit neueste Ausgabe 2017.
- Humboldt, Alexander von: Abenteuer, Forscher, Universalgenie. Hörbuch. Von Reinhard Barth (Autor), Bernt Hahn (Sprecher), Thomas Krause (Sprecher), Dominik Freiburger und Ina Gercke (Sprecher). 4 CD. Dortmund 2008.
- Koschyk, Hartmut (Hrsg.) Tagungsband über das Historische Symposium „220 Jahre Humboldt in Franken“. Online-Publikation 2013.
- Leitner, Ulrike et al. (Red.): Studia Fribergensia. Vorträge des Alexander-von-Humboldt-Kolloquiums in Freiberg vom 8. bis 10. November 1991 aus Anlass des 200. Jahrestages von A. v. Humboldts Studienbeginn an der Bergakademie Freiberg. Berlin 1994 (Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung 18).
- Leitner, Ulrike (Hrsg.): Alexander von Humboldt: Von Mexiko-Stadt nach Veracruz. Tagebuch. Berlin 2005 (Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung 25).
- Lubrich, Oliver (Hg.): Alexander von Humboldt. Das große Lesebuch. Frankfurt am Main 2009.
- Meyer-Abich, Adolf: Alexander von Humboldt. Mit Selbstzeugnissen und Bilddokumenten. 19. Aufl., Reinbek bei Hamburg 2008.
- Osten, Manfred (Herausgeber): Alexander von Humboldt. Über die Freiheit des Menschen: Auf der Suche nach Wahrheit. Frankfurt am Main, Ausgabe 2005.
- Paletschek, Sylvia: The Invention of Humboldt and the Impact of National Socialism: The German University Idea in the First Half of the Twentieth Century, in: Szöllösi-Janze, Margit (ed.): Science in the Third Reich. Oxford, New York 2001 (German Historical Perspectives XII), p. 37–58.
- Plewe, Ernst: Humboldt, Alexander von, in: Neue Deutsche Biographie 10 (1974), S. 33-43.

13 <https://www.zdf.de/dokumentation/jahrhundertprojekt-museumsinsel/die-brueder-humboldt-und-ihre-forum-100.html>

14 HiN, Bd. 13, 2012

15 Daniel Kehlmann, Diese sehr ernsten Scherze. Poetikvorlesungen. Göttingen 2007, S. 22, zit. nach Frank Holl, „Die zweitgrößte Beleidigung des Menschen sei die Sklaverei ...“ – Daniel Kehlmanns neu erfundener Alexander von Humboldt, in: HiN 25 (2012), S. 46–62, hier S. 50, Fn 29

16 <https://tu-freiberg.de/humboldt-250>

Alexander von Humboldt als Pionier der Geothermie

Peter Kühn¹

In Freiberg widmete sich Humboldt praktischen Arbeiten in den Freiburger Gruben. U. a. führte er im Winter 1791/92 zusammen mit Freiesleben Messungen der Grubenluft-Temperatur in verschiedenen Tiefen durch. Das sind die ersten geothermischen Messungen in einem deutschen Bergwerk überhaupt.

Humboldt und Freiesleben beobachteten im Januar 1791 eine „lange Reihe“; sie fanden im „Kuhshacht“ und im „Segen Gottes Herzog Augustus“ bei 120 und 150 m Tiefe eine Lufttemperatur von 13 bzw. 14,8 °C, während die Außenluft im Januar Temperaturen von nur 3 bzw. 4 °C zeigte. Auch die späteren Temperaturmessungen in den sächsischen Bergwerken im Auftrag des Oberbergamtes durch Ferdinand Reich wurden von Humboldt angeregt. Bis 1798 führte A. v. Humboldt weitere Untersuchungen zur „*unterirdischen Meteorologie*“ durch. Zu nennen sind neben den Freiburger Messungen solche im „*Wunsiedler Revier bey Arzberg (98 gleichzeitige Beobachtungen in 13 Lachter Teufe und im Freyen; bisweylen täglich zweymal; vom 23sten September 1796 bis 13ten Januar 1797)*“, im Alexanderstollen am Fichtelgebirge und in weiteren europäischen Revieren. Humboldts Thermometer für diese Messungen stammten aus Leipzig. Das beweist ein Brief an seinen Freund Freiesleben in Freiberg aus Goldkronach und Bayreuth (20./21. November 1794): „... *Ich möchte auch gern 2 Thermometer haben, ganz mitelmäßige zu neuen Versuchen in der Grube. Sie brauchen nur etwas besser als die der*

herumziehenden Italiener zu sein. Wenn der gute Fischer sich doch nach dem Preise solcher Thermometer nach Réaum(ur) erkundigte. Die 3 Thermometer (die ich besitze) mag ich der Gefahr der Grube nicht anvertrauen.“

A. v. Humboldt sammelte bei diesen Messungen wichtige praktische Erfahrungen und sah die Temperatur in den Bergwerken nie über 28 °R steigen. Weitere Temperaturmessungen in Bergwerken führt Humboldt auf seiner Amerikareise (1799–1804) durch, und zwar in den Silberbergwerken von Mexiko und Peru. Sind die geothermischen Untersuchungen Humboldts vor 1799 weniger bekannt, so gehören seine amerikanischen Ergebnisse doch zu den klassischen der Geothermie. Die reiferen Vorstellungen Humboldts über die innere Wärme der Erde sind im „*Kosmos*“ niedergelegt. Humboldt steht hier vollständig auf vulkanistischen Positionen:

- die Erde war ursprünglich flüsig und sehr heiß,
- ihre Oberfläche hat sich bis auf die heutige Temperatur abgekühlt,
- die Temperatur der Erde hat einen stabilen Zustand erreicht und
- die Temperatur nimmt mit der Tiefe ununterbrochen zu, was für beträchtliche Tiefen nachgewiesen wurde, z. B. durch die Wärme der Wässer artesischer Brunnen, durch Gesteinstempe-

raturmessungen in Bergwerken und durch Beobachtungen vulkanischer Tätigkeit.

Humboldt berechnete die Tiefe der beginnenden „Schmelzhitze des flüssigen Erdinnern“ auf etwa 40 km. Nach seiner Rückkehr aus Paris (1827) regte Humboldt den preußischen Oberberghauptmann J. C. L. Gerhard an, in den Bergwerken des preußischen Staates Temperaturmessungen durchführen zu lassen. Diese erfolgten 1828/29 in zwölf Bergamtsbezirken. Im Weiteren erfolgten 1831/33 Temperaturmessungen im Bohrloch zu Rüdersdorf (Teufe 325 m) bei Berlin. Das für diese Messungen entwickelte „Geothermometer nach Magnus“ ist bei späteren geothermischen Untersuchungen mehrfach verwendet worden. Die Temperaturtiefenkurve von Rüdersdorf ist die älteste, zumindest eine der frühesten „Bohrlochmesskurven“ (1833!), neu interpretiert durch Kühn 1985.

Alexander von Humboldt hat sich seit seiner Studienzeit in Freiberg und bei allen sich auf seinen Reisen nur bietenden Gelegenheiten mit Temperaturmessungen beschäftigt, die ihn zu einem tiefen Verständnis der Problematik der inneren Wärme des Erdkörpers geführt haben. Die Geothermie als Wissenschaft verdankt Humboldt wesentliche Beiträge und zahlreiche Impulse für eine ganze Reihe bedeutender geothermischer Arbeiten.



Geothermometer nach Magnus. Ausstellungsstück in der Rüdersdorfer Kultur GmbH 2014

¹ Gekürzte Fassung aus „Ein Beitrag zur Geschichte der Geothermie“

Alexander von Humboldt in seiner preußischen Bergbeamtenuniform

Knut Neumann

Im Bestand der Technischen Universität Bergakademie Freiberg befinden sich drei Bilder, auf denen ihr früherer Student, der deutsche Naturforscher Alexander von Humboldt, in seinem preußischen Uniformrock abgebildet ist. Zwei dieser Bilder hingen über viele Jahre im Humboldtbaum der Bergakademie, das dritte Bild ließ im Jahr 2010/11 der damalige Rektor, Prof. Dr. Bernd Meyer, als eine weitere Kopie anfertigen. Beim ältesten der Bilder handelt es

sich um eine Kopie, die der Maler Rafael Salas aus Ecuador anfertigte. Vorlage war ihm das Gemälde „Humboldt stehend mit Buch“ von Antonio José Cortes, das dieser 1802 in Quito geschaffen hatte. Die Kopie hat Salas im Jahr 1871 ebenfalls in Quito gemalt.¹ Seit vielen Jahren gehört dieses Bild zum Gemäldebestand der Bergakademie Freiberg. Wie es jedoch nach Freiberg gekommen ist, konnte vom Autor bisher nicht festgestellt werden.

Das Salasbild wurde vor vielen Jahren von Ludwig Muhrmann restauriert. In den Jahren 2010/11 folgte eine durch Ivo Mohrmann, Professor an der Hochschule für bildende Künste Dresden, vorgenommene weitere Restaurierung. Bei der röntgentechnischen Untersuchung stellte dieser fest, dass auf dem Bild nachträglich Veränderungen vorgenommen worden waren. Wahrscheinlich war es Muhrmann, der das Humboldt-Bild verändert hatte – dies vor allem in den Bereichen der Halspartie, der Weste und der Hose. Er hat sich dabei sicherlich vom Original leiten lassen, denn schon José Cortes gestaltete die



Foto: TU Bergakademie Freiberg

Bild 1: „Humboldt stehend mit Buch“, Rafael Salas, Quito 1871



Foto: Ivo Mohrmann

Bild 2: Bild von Salas vor der Restaurierung



Foto: TU Bergakademie Freiberg

Bild 3: „Humboldt stehend mit Buch“, Paulus Schier, Leipzig 1913

Unterkleidung des von ihm dargestellten Humboldt einem Rollkragenpullover sehr ähnlich. Die besagte Veränderung korrigierte Mohrmann, auch nach Hinweisen von Kostümbildnern und Modehistorikern,² im Auftrag der TU Bergakademie zurück im Sinne der Fassung von Salas. Der damalige Leiter der Kustodie, Dr. Jörg Zaun, kommentierte diese neuerliche Veränderung wie folgt: „Die Abnahme der dilettantisch ausgeführten Übermalung bei dem Humboldtgemälde ist zwar relativ aufwendig, die Bedeutung des Gemäldes für die TU Bergakademie Freiberg und der ästhetische Gewinn durch die Abnahme der alten Übermalung aber sicher höher zu bewerten als der finanzielle Aufwand.“ Mit dieser Veränderung an der Halspartie, der Unterkleidung und der Farbe der Hose kam Mohrmann auch der damaligen Uniformvorschrift (Halsbinde mit Jabot und Weste) sehr nah.

Bei der ausführlichen Untersuchung vom 15. Oktober 2011 vermerkt Mohrmann zum Zustand des Bildes vor der Restaurierung:

- „Herstellung. Bildträger: Flachsgewebe, Leinenbindung; dunkelbraune Grundierung; aufgespannt auf Keilrahmen. Unterzeichnung: nicht sichtbar. Malschicht: Bleiweißhaltige Ölmalerei, Alla-Prima und Lasuren. Schmuckrahmen: Schmale Profilleisten aus Holz mit Goldfassung, Unterrahmen fehlt.
- Veränderungen. Wachsharz-doublierung, Gemälde aufgespannt auf neuen Spannrahmen, starke Verputzung, großflächige verfälschende Übermalungen (moderner Rollkragenpullover, Hose und Kinn), neuer Firnis-auftrag.
- Zustand. Bildträger: Risse in der Ori-

nalleinwand sind durch die Doublierung geschlossen. Malschicht: Fehlstellen sind im Röntgenbild erkennbar, keine Lockerungen, Übermalungen sind ästhetisch unbefriedigend. Firnis: leicht vergilbt, ansonsten gleichmäßiger Glanz. Schmuckrahmen: Vier Profilleisten sind ungeschickt zusammen genagelt, keine genügende Stabilität.

- Konservierungskonzept. Firnisabnahme, Abnahme der Übermalung, Entfernung alter Kittungen, Retusche, Firnis, Unterrahmen bauen, Profile aufleimen, Ecken ausbessern, Einrahmen.“

Als Fertigstellungstermin wird der Dezember 2010 genannt. Bis zu dieser erneuten Restaurierung hing das Bild im Humboldt-bau der Bergakademie, Bernhard-von-Cotta-Straße, in der paläontologischen Sammlung. In Anbetracht der Bedeutung, die Alexander von Humboldt für die TU Bergakademie Freiberg hat, legte der Rektor im Jahr der Restaurierung fest, dass das Humboldt-Bild von Salas künftig in seinem Dienstzimmer hängen solle. Als Ausgleich erhielt die paläontologische Sammlung eine Kopie des Salas-Bildes.

Auf der Basis eines Bildes, das Rafael Troya um 1870 als Kopie geschaffen hatte, erstellte im Jahr 1913 Paulus Schier eine weitere Kopie. Auf der Messingtafel, die sich auf dem Rahmen des Bildes befindet, ist folgender Text eingraviert: „Alexander von Humboldt, Das Original befindet sich im Besitz der Familie Aguirre in Quito und ist im Jahre 1802 daselbst gemalt. Dr. Alphons Stübel hat während seines Aufenthaltes in Ecuador 1870–1874 das Bild in Quito gesehen und von dem ihn begleitenden Maler Herrn Rafael Troya kopieren lassen. Dieses jetzt im Grassi-Museum Leipzig, Abteilung

für Länderkunde befindliche Portrait³ liess die Schwester des genannten Forschers Frau Oberbürgermeister J. Stübel geb. Stübel⁴ in Dresden für das geologische Museum der Kgl. Bergakademie zu Freiberg i/S. von dem Maler Paulus Schier in Leipzig a. 1913 nochmals kopieren.“ Das Bild befindet sich heute, im Jahr 2019, im Zimmer 311 des Humboldt-Baus der TU Bergakademie.

Das jüngste Bild, „Humboldt stehend mit Buch“ (im preußischen Bergbeamtenrock), schuf Prof. Ivo Mohrmann „in historischer Maltechnik“. Als Ausgleich für das Humboldt-Bild von Rafael Salas, das 2011 nach der Restaurierung in das Rektorzimmer der Akademie wechselte, erhielt die paläontologische Sammlung jenes Bild von genau der Größe des Salas-Bildes (52 × 38,5 cm).



Foto: Knut Neumann

Bild 4: „Humboldt stehend mit Buch“, Ivo Mohrmann, Dresden 2011



Foto: Colección del Museo Toisés del Palacio de Minería

Bild 5: Original von Rafael Jimeno y Planes

Mit diesem Bild hat die TU Bergakademie Freiberg nun drei Bild-Kopien in ihrem Bestand, die Humboldt im Rock der preußischen Bergbeamtenuniform nach den Vorschriften von 1777 zeigen, wobei alle drei auf das Original von Antonio José Cortes zurückgehen, das dieser im Jahr 1802 in Quito schuf und das noch heute in Ecuador in privatem Besitz ist.

Bei den Recherchen zu den Humboldt-Uniform-Bildern ist der Autor auf weitere acht Bilder gestoßen, die Humboldt in seinem Uniformrock zeigen. Zusammen mit den oben genannten sind es insgesamt elf: ein Original und zehn Kopien:

- „Humboldt stehend mit Buch“, Original von Antonio José Cortes, 1802 Quito, Quito⁵; Raphael Troya, um 1870 in Ecuador, (Leipzig) heute verschollen; Rafael Salas, 1871 Quito, Freiberg; Paulus Schier, 1913 Leipzig, Freiberg; Willy Illmer, 1959 Ort nicht bekannt, Bochum; Prof. Ivo Mohrmann, 2010 Dresden, Freiberg
- „Humboldt sitzend am Tisch“, Rafael Jimeno y Planes, 1803 Mexiko, Mexiko; José Maria Vazguos, Mexiko⁶, Mexiko
- „Humboldt mit verschränkten Armen“, Rafael Salas, 1871 Quito, New York/Rye.
- „Humboldt, Brustbild“, Ernst Sigmund von Sallwürk, 1942 Halle/Saale, Bochum; Ernst Sigmund von Sallwürk, 1944 Halle/Saale, Berlin

In Abstimmung mit dem Rektor der TU Bergakademie Freiberg Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht unternahm der Autor in den Jahren 2018/19 den Versuch, die „Humboldtuniform“ zu rekonstruieren, deren Rock und Hose Humboldt auf den oben genannten Bildern trägt und in der er



Foto: Museo de la Ciudad de México, Secretaría de Cultura/Gobierno del Distrito Federal

Bild 6: Kopie von José Maria Vazguos

sich während seiner Zeit im preußischen Staatsdienst mit weiteren nach Vorschriften festgelegten Kleidungs- und Ausrüstungsstücken kleiden musste.

Zu Beginn der Nachforschungen stellte sich aber ein Problem heraus: Zur preußischen Uniform, die Alexander von Humboldt in seiner Dienstzeit gemäß einem Befehl seines Vorgesetzten, Oberberghauptmann Friedrich Anton Freiherr von Heynitz,⁷ tragen musste und in der er auf Bildern aus der Zeit kurz nach 1800 dargestellt wurde, gab es bisher in der Literatur keine brauchbaren Hinweise. Es zeigte sich, dass die Aktenlage zur preußischen Uniform der Berg- und Hüttenleute aus der Zeit vor 1800 sehr dürftig ist.

Mit Unterstützung der Mitarbeiter konnte der Autor im Bergbaumuseum Bochum Texte zur Uniformvorschrift von 1777⁸, die bis 1804 mit Ergänzungen für alle preußischen Berg- und Hüttenleute im Staatsdienst Gültigkeit hatte, einsehen.⁹ Leider sind diese kurzgefassten Vorschriften, die der preußische Oberberghauptmann von Heynitz erlassen hatte, heute für die Herstellung einer solchen Uniform nur bedingt hilfreich. Deshalb mussten zusätzlich Uniformbestimmungen des Militärs¹⁰, Hinweise aus dem Modeschrifttum¹¹, Abbildungen aus der Zeit zwischen 1777 und 1804 und ferner Hinweise vonseiten heutiger Militäruniformexperten¹² herangezogen werden. Mit dem Marienberger Maßschneidermeister Markus Seiler wurde ein Fachmann für das Schneidern von Trachten und Uniformen gefunden, der aktiv an der Umsetzung des Projektes mitarbeitete.

Nach fast einem Jahr Recherchen und der Rekonstruktion der einzelnen Uniformteile gelang es, eine Uniform, wie

sie Alexander von Humboldt während seiner Dienstzeit tragen musste, herzustellen. Am 28. März 2019 war es geschafft: „Alexander von Humboldt“ alias Thomas Schmalz, Geschäftsführer des Freiburger Studentenwerks, trat in der preußischen Bergbeamtenuniform „des Alexander von Humboldt“ auf dem Freiburger Schloßplatz zur Verabschiedung der „Humboldtarche“ auf. Welche Kleinarbeit sich dahinter verbarg und welche Anstrengungen nötig gewesen waren, um die Uniform historisch möglichst getreu herzustellen, war an diesem Tag Nebensache bzw. konnte von den zahlreichen Besuchern kaum erahnt werden. Nach heute dem Autor vorliegenden Angaben, Unterlagen, Bildern und der auf diesen Grundlagen erfolgten Rekonstruktion kann die „Humboldt-Uniform“ wie folgt beschrieben werden:

- **Hut:** Sogenannter Dreispitz in schwarzer Farbe. Der Rand des Hutes ist mit einer goldenen Tresse besetzt, die links und rechts in einem Cordon endet¹³. Oben am Hut ist eine schwarze seidene Rose angebracht, über welcher eine Agraffe herabgeht. Die Agraffe besteht aus schwarzem Tuch, sie ist am Rand mit einer goldenen, schmalen Tresse besetzt. Unten wird sie mit einem goldenen Knopf (mit Schlägel und Eisen) befestigt. Unter dem Hut wird eine weiße Perücke getragen.

- **Rock:** Der braune Rock aus Tuch hat die Form eines französischen Oberrocks aus dem letzten Viertel des 18. Jahrhunderts und ist vollständig paillegelb gefüttert. Vorn, links und rechts wird der Rock mit einer zirka 7 cm breiten paillegelben Rabatte (Umschlag) geschmückt, auf der in den Knopflöchern von unten bis oben je acht goldene Knöpfe (Messing) mit den Insignien des Bergbaus „Schlägel und Eisen“ zu sehen sind. Das oberste Knopfloch läuft von oben nach unten, die anderen sieben verlaufen waagrecht auf jeder Rabatte. Die Knöpfe sind auf dem Rock in gleichen Abständen von der Taille an aufwärts bis kurz vor den Schulterstücken angeordnet. Oben sind die Rabatten ausgeschweift, in der Mitte mit einer Spitze. Diese Art der Rabatte ermöglicht auch ein teilweises bzw. ganz geschlossenes Tragen des Rockes. Links und rechts unterhalb der Taille sind Taschen mit geschwungenen Klappen auf den Rockschößen angebracht. Diese sind mit einem paillegelbem Vorstoß versehen. Die Ärmel sind mit paillegelben, ca. 8 cm breiten Manschetten abgeschlossen. Diese werden mit jeweils zwei Knöpfen geschlossen, ein dritter Knopf befindet sich darüber; er dient dem Verschluss des



Fotos ©: Knut Neumann

Bild 7: Thomas Schmalz in der „Humboldtuniform“, der von Knut Neumann rekonstruierten und von Markus Seiler geschneiderten preußischen Bergbeamtenuniform eines Oberbergrats auf dem Freiburger Schloßplatz



Bild 8: „Humboldtrock“ in teilweise geschlossenem Zustand

Ärmels oberhalb der Manschette. Alle Vorstöße des Rocks sind mit paillegelbem Stoff abgesetzt. Im Rücken, auf Höhe der Taille, befinden sich ebenfalls zwei Knöpfe, ca. 10 cm auseinander. Oben wird der Rock mit einem hohen Stehkragen (nach 1796 ein extra hoher Napoleonkragen) aus Tuch abgeschlossen, der ebenfalls paillegelb ist.

Auf beiden Schultern liegen sogenannte goldene, gestickte Epauletts (Schulterstücke) auf. Diese waren erst nach 1777 vorgeschrieben. Abgeschlossen sind sie mit 8 cm langen, goldenen Bouillonfransen, die über der Schulter hängen. Später wird beschrieben, dass auf den „*Epauletts die Namenszüge Seiner Majestät, mit der Königlichen Krone sind.*“¹⁴ Festgehalten werden die Schulterstücke durch einen Knopf mit Schlägel und Eisen auf der Schulter, kurz unter dem Kragen. Ergänzt wurde der Namenszug noch mit den Bergbauinsignien Schlägel und Eisen, die darunter platziert waren. Das Ganze war dargestellt auf einem Kupferstich von 1792, der den Oberberghauptmann von Heynitz in seinem Bergbeamtenrock zeigt.¹⁵

• **Weste:** Die Weste besteht aus paillegelbem Stoff. Sie reicht von unterhalb der Taille bis zum Hals und wird mit Knöpfen geschlossen, die kleiner sind als die am Rock. Auch diese Knöpfe tragen Schlägel und Eisen. Als einzigen Schmuck hat die Weste links und rechts vorn Taschen mit Klappen.

• Um den **Hals** werden eine weiße hohe Halsbinde und ein weißes Jabot getragen, dessen Spitzenteile aus der oben geöffneten Weste herauschauen.

• **Beinkleider:** Bei dem in der Vorschrift als Beinkleid bezeichnetem Kleidungsstück handelt es sich um die paillegelbe Kniebundhose¹⁶. Diese ist eng anliegend, ohne Eingriff und wird nicht vorn, sondern links und rechts am Bund bzw. hinten in Taillenhöhe geschlossen. Am Bein wird die Hose unter dem Knie außen mit vier Knöpfen in der Art der Westenknöpfe geschlossen. Ob Gamaschen und Kniebügel oder Stiefel vorgeschrieben waren, ist nicht bekannt. Da es aber für diese Uniform keine und auch nach 1804 (ab dem Jahr gibt es eine neue Uniformvorschrift für die Berg- und Hüttenleute in Preußen) keine Hinweise zu Gamaschen und Kniebügeln gibt, kann man von Stiefeln ausgehen, die zu dieser Uniform getragen werden mussten.

• **Bewaffung:** Zur Bewaffung erfährt man in den Beschreibungen nur, dass es sich um einen Degen mit stählernem Beschlag und Griff und ein Jahr später – in Ergänzung – um ein braunes und goldenes Portepeel¹⁷ handelt. Zum Koppel und zum Gehänge des Säbels werden keine Ausführungen gemacht. Um 1777 war das Degenkoppel u. a. aus schwarzem Leder oder Stoff und wurde mit einem Schlangenschloss geschlossen. Der Degen hing an einer einfachen Lederschlaufe mit



Bild 9: Epaulett, Vorlage von Knut Neumann, hergestellt von Markus Seiler

Haken. Das Koppel wurde unter der Weste getragen; damit war es nicht sichtbar.

Nach den Feierlichkeiten zum 250. Geburtstag von A. v. Humboldt im Jahr 2019 wird die nach dieser Vorlage geschneiderte Uniform, die von den Freunden und Förderern der TU Bergakademie Freiberg gesponsert wurde, in der Eingangshalle des Hauptgebäudes der Akademie den Besuchern gezeigt, später soll sie im Historicum ausgestellt werden.

Anmerkungen

- 1 Dr. Jörg Zaun, früher Leiter der Kustodie, TU Bergakademie Freiberg.
- 2 Prof. Mohrmann nach persönlichem Hinweis.
- 3 Dr. Brogiato, Heinz Peter: Leiter Bibliothek und Archiv, Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig, Hinweis: Bild ist in den Wirren des 2. Weltkriegs verloren gegangen.
- 4 Geborene Ida Julie Mathilde Stübel (* 10. August 1832 in Paußnitz bei Strehla; † 16. Juni 1919 in Dresden).
- 5 Es wird in der Reihenfolge angegeben: Maler, Entstehungsjahr und -ort, heutiger Standort.
- 6 Wann das Gemälde erstellt wurde, ist dem Museo de la Ciudad de Mexico nicht bekannt.
- 7 Freiherr von Heynitz, Friedrich Anton: War u. a. preußischer Oberberghauptmann vom 9. September 1777 bis zu seinem Tod am 15. Mai 1802.
- 8 montan.dok (Montanhistorisches Dokumentationszentrum beim Deutschen Bergbau-Museum Bochum/Bergbau-Archiv (BBA)): 120/154 Acta betreffend die Uniform der Berg- und Hütten-Offizianten 1777 bis 1804, Berlin: Abth. A Tit. IX, Sec.4, Nr. 101.Vol.1, 20. 12. 1777.
- 9 Winkelmann, Heinrich: Die Tracht des Bergmanns im Wandel der Zeit, Rohr-Post, Heft 4, Bochum, 1957.
- 10 Merta, Klaus-Peter: Die Uniformierung, Das Heerwesen in Brandenburg und Preußen von 1640 bis 1806, Brandenburgisches Verlagshaus, Berlin, 2001.
- 11 Loschek, Ingrid: Reclams Mode- & Kostümlerikon, Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1999, und von Boehn, Max: Die Mode, eine Kulturgeschichte vom Mittelalter bis zum Barock, Bruckmann, München, 1996.
- 12 Leipzig.
- 13 Montan.dok: 120/154 Acta betreffend die Uniform der Berg- und Hütten-Offizianten 1777 bis 1804, Berlin: Abth. A Tit. IX, Sec.4, Nr. 101. Vol.1, 06.04.1778, S. 66-68.
- 14 Montan.dok: 120/154 Acta betreffend die Uniform der Berg- und Hütten-Offizianten 1777 bis 1804, Berlin: Abth. A Tit. IX, Sec.4, Nr. 101. Vol. 2, 1804, S. 132-139.
- 15 Heinecke, J. C. G./Penningh, H. J: Friedrich Anton Freyherr von Heinitz, Kupferstich, 1792, Deutsches Historisches Museum, Inventarnr. Gr 55/2562.
- 16 Sogenannte Culotte.
- 17 Montan.dok: 120/154 Acta betreffend die Uniform der Berg- und Hütten-Offizianten 1777 bis 1804, Berlin: Abth. A Tit. IX, Sec.4, Nr. 101. Vol. 1, 06.04.1778, S. 66-68.

150 Jahre Periodensystem der Elemente: Freiberger Entdeckungen

Mike Haustein¹, Birgit Seidel-Bachmann², Annett Wulkow Moreira da Silva³

Im Jahr 1869 erschien in der renommierten „Zeitschrift für Chemie“ ein Artikel des russischen Wissenschaftlers Dmitri Mendelejew mit dem Titel „Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente“ [1]. Dieser Veröffentlichung in deutscher Sprache war eine russische Ausgabe vorausgegangen. Seither gilt diese kurze, noch nicht einmal eine ganze Seite füllende Abhandlung als Geburtsstunde des Periodensystems der Elemente (PSE). Es brauchte einige Schlüsselmomente, um dieser anfangs kaum beachteten Theorie zum Durchbruch zu verhelfen. Ein wesentlicher Beitrag dazu wurde in Freiberg geleistet. Außer auf die Entdeckung zweier Elemente durch Absolventen der Bergakademie und zweier weiterer Elemente durch hiesige Professoren direkt in Freiberg kann die Bergakademie auf interessante, bisher kaum bekannte Beziehungen zur Auffindung chemischer Grundstoffe verweisen. Wir wollen das Jubiläum „150 Jahre Periodensystem der Elemente“ zum Anlass nehmen, um an die jeweiligen, bislang nicht allzu oft gewürdigten Sternstunden der Wissenschaft zu erinnern.

Eine verschmähte Theorie

Die Idee, dass das Vorhandensein der Elemente einer natürlichen Systematik folgt, war alles andere als neu. Schon zu Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts befassten sich namhafte Wissenschaftler wie A. L. de Lavoisier, J. W. Döbereiner, L. Gmelin u. a. damit, eine Ordnung für die bekannten chemischen Grundstoffe aufzustellen. Diese Versuche konnten freilich nur soweit erfolgreich sein, wie die Elemente und ihre Eigenschaften bekannt waren. Anders betrachtet, musste sich die – heute unstrittige – Periodizität zwangsläufig dann zu erkennen geben, wenn eine ausreichende Anzahl von Elementen entdeckt war und hinreichend genaue Werte zu deren Atomgewicht vorlagen. Diese Erkenntnisschwelle wurde um die Mitte des 19. Jahrhunderts berührt. So enthält

J. A. Newlands 1864 gefundenes „Gesetz der Oktaven“ schon wesentliche Merkmale des modernen PSE. Gleiches könnte man von J. L. Meyers Atomgewichtstabelle sagen, die dieser im selben Jahr in seinem Buch „Die modernen Theorien der Chemie“ [2] vorstellte. Überhaupt finden sich in den Arbeiten Julius Meyers und Dmitri Mendelejews zahlreiche Analogien. Dennoch existiert ein ebenso wesentlicher wie entscheidender Unterschied in ihren Ausführungen zur Periodizität der Elemente. Anders als der deutsche Chemiker war der russische Gelehrte der Überzeugung, dass sein System gewisse Lücken offenbar werden ließ, woraus er den Schluss zog: „Es läßt sich die Entdeckung noch vieler neuer Elemente vorhersehen, z.B. Analoge des Si und Al mit Atomgewichten von 65 und 75“ [1]. In einer Folgeveröffentlichung aus dem Jahr 1871 geht Mendelejew noch weiter. So sagte er für einige der postulierten Elemente und deren Verbindungen maßgebliche chemische und physikalische Eigenschaften voraus. Besonders detailliert und umfangreich waren seine Prognosen für das noch aufzufindende Homologe des Siliciums, das er Eka-Si nannte.

Wer nun glaubt, die neue Theorie wäre mit offenen Armen aufgenommen und ihre Schöpfer mit Anerkennung überschüttet worden, irrt gewaltig. Die Veröffentlichungen Meyers und Mendelejews teilten zunächst das Schicksal anderer Artikel, die sich schon früher mit diesem Thema befasst hatten. Von den meisten Chemikern wurden sie belächelt oder schlichtweg ignoriert. Die Tragweite der Entdeckung des PSE, das zur Grundlage der Erklärung des Atombaus und des Reaktionsverhaltens der Elemente wurde und damit im Mittelpunkt aller theoretischen Überlegungen in den chemischen Wissenschaften steht, wurde erst viel später erkannt. So braucht nicht zu verwundern, dass die Bestätigung der Voraussagen Mendelejews zu den damals noch nicht identifizierten Elementen zum Prüfstein für die Periodizität wurde. Den finalen Beleg sollte ausgerechnet ein Freiburger Chemiker erbringen, der zur großen Gruppe jener Wissenschaftler zählte, die von dieser Theorie bisher kaum Notiz genommen hatten.

Germanium als *Experimentum crucis* für das PSE

Clemens Alexander Winkler (1838–1904) war ein echter Spross des sächsischen Hüttenwesens. Schon sein Vater, Großvater und Urgroßvater hatten leitende Positionen in den Blaufarbenwerken Niederpfannenstiel (heute Nickelhütte Aue) und Zschopenthal inne. In seiner Zeit als Hüttenmeister in Niederpfannenstiel von 1862 bis 1873 entwickelte Winkler die erste funktionsfähige Rauchgasentschwefelungsanlage, untersuchte das neu entdeckte Indium, stellte die ersten größeren Gussstücke von Nickel und Kobalt her und ermittelte die Zusammensetzung einiger neu aufgefundener Minerale des Schneeberger Kobaltfeldes [3]. Sein Können, oder besser: Seine unerreichte Perfektion in der anorganisch-chemischen Analyse sollte ihm, nachdem er 1873 zum Professor für Chemie an die Königl. Sächs. Bergakademie Freiberg berufen worden war, bei der Analyse eines neuen, recht merkwürdigen Minerals zustattenkommen.

Im September 1885 erreichten die Hauer der Fundgrube Himmelsfürst bei Brand und Erbsdorf einen reichen Anbruch von Silbererz. Den aufmerksamen Beamten des Bergwerks entging nicht, dass sich ein Teil der Substanz des Vorkommens von den bisher aufgefundenen Silbererzen unterschied. Es handelte sich um winzige Kristalle, die zu warzigen Aggregaten angeordnet waren und in Form von Krusten und Überzügen unedle Erze, wie Eisen- und Schwefelkies bedeckten. Das seltsame Mineral enthielt zwar zweifellos Silber, ansonsten war es aber alles andere als ansehnlich. Albin Weisbach (1833–1901), Professor für Mineralogie an der Bergakademie, war von Anfang an davon überzeugt, eine neue Spezies vor sich zu haben. Der augenscheinlich hohe Silbergehalt veranlasste ihn dazu, dem wenig ansehnlichen Mineral am 1. Oktober 1885 den charakteristischen Namen „Argyrodit“ zu geben.

Bei den ersten Versuchen, die chemische Zusammensetzung des neuen Minerals zu ermitteln, ergab sich eine Ungereimtheit. Theodor Richter (1824–1898), Professor für Lötrohrprobierkunde,

1 Dr. rer. nat. habil. Mike Haustein, Nickelhütte Aue GmbH, haustein@nickelhuette-aue.de

2 Birgit Seidel-Bachmann, TU Bergakademie Freiberg, IUZ, Birgit.Seidel@iuz.tu-freiberg.de

3 Annett Wulkow Moreira da Silva, TU Bergakademie Freiberg, Universitätsarchiv, Annett.Wulkow@zuv.tu-freiberg.de



Foto: M. Haustein

Eine Probe von Argyrodit, aus dem die Isolation des Germaniums gelang, befindet sich noch heute am Institut für Anorganische Chemie

bestimmte den Silbergehalt zu 73,5 Prozent. Er glaubte außerdem etwas Quecksilber gefunden zu haben, was insofern überraschen musste, als dieses Schwermetall in Freiburger Erzen bisher noch nie aufgefunden worden war. Weisbach gab sich mit diesem zweifelhaften Ergebnis nicht zufrieden und bat seinen Cousin und Freund Clemens Winkler gleichfalls um eine Analyse des neuen Minerals.

Übereinstimmend mit Theodor Richter fand Winkler 75 Prozent Silber, 17 Prozent Schwefel und tatsächlich Spuren von Quecksilber, das aber zusammen mit etwas Eisen, Arsen und Zink kaum mehr als ein Prozent ausmachte. Überrascht stellte der Chemiker einen Fehlbetrag von sieben Prozent fest, obwohl er die Analyse mit der gewohnten Gewissenhaftigkeit ausgeführt hatte. Sollte er etwas übersehen haben? Auf jeden Fall war eine solche Differenz in keiner Weise hinnehmbar, was ihn zur Wiederholung der Analyse veranlasste. Doch auch nach weiteren Versuchen – er führte insgesamt acht aus – stellte sich kein anderes Ergebnis ein. Die nächstliegende Erklärung, nämlich, dass sich ein Fehler, welcher Art auch immer, eingeschlichen haben könnte, widerstrebt dem routinierten Analytiker. Vielmehr stellte er die kühne Theorie auf, dass ein bisher unbekannter Stoff in dem merkwürdigen Mineral enthalten sein müsse, der sich dem Gang der Analyse entzog. Und was sonst als ein neues Element sollte das sein?

Doch der postulierte neue chemische Grundstoff widersetzte sich hartnäckig seiner Entdeckung. Systematisch untersuchte Winkler den Gang der Analyse – unter



Foto: K. Herklotz

Erste Germaniumsulfid-Fällung vom 6. Februar 1886. Das in seiner historischen Bedeutung kaum zu überschätzende Präparat aus Winklers Nachlass wird vom Institut für Anorganische Chemie in Ehren gehalten.

wiederholter Anwendung der verschiedensten qualitativen Nachweise. Doch er blieb erfolglos. Äußerst hinderlich wirkte sich die geringe Menge des verfügbaren Argyrodits auf den Fortgang der Untersuchungen aus, zumal das Mineral oft stark durch Antimon und Arsen verunreinigt war. Nach drei Monaten angestrengter Tag- und Nachtarbeit, in den Vormittagsstunden des 6. Februars 1886, gelang ihm schließlich der Durchbruch. Durch fraktionierte Fällung konnte Winkler eine kleine Menge des neuen Elements als Sulfid niederschlagen. Einen Teil dieser ersten, sozusagen historischen Fällung schmolz Winkler in ein Glasröhrchen ein. Es befindet sich noch heute an der Bergakademie, im Besitz des Instituts für Anorganische Chemie.

Noch am 6. Februar 1886 verfasste der Entdecker eine Mitteilung über das neue Element, die sehr zeitnah in den *Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft* erschien: „Nach mehrwöchentlichem, mühevollen Suchen kann ich heute mit Bestimmtheit aussprechen, dass der Argyrodit ein neues, dem Antimon sehr ähnliches, aber von diesem doch scharf unterschiedenes Element enthält, welchem der Name ‚Germanium‘ beigelegt werden möge.“ [4]

Nach einer kurzen Beschreibung einiger Eigenschaften des Germaniums und seines Oxids, Sulfids und Chlorids äußert Winkler die Vermutung, dass es sich um das von Mendelejew vorausgesagte Ekaantimon handeln könnte. Zu dieser irrigen Annahme kam er einerseits aufgrund der großen chemischen Ähnlichkeit des neuen Elements mit dem Antimon, andererseits war Winkler zu diesem Zeitpunkt mit der Theorie von der Periodizität nicht oder nur wenig vertraut. Der letzte Punkt wird durch eine am 12. Februar 1886 in Freiberg eintreffende Postkarte belegt, auf der der Freiburger Chemiker von dem in Breslau wirkenden Gelehrten Victor v. Richter (1841–1891) Hinweise zu den Veröffentlichungen Meyers und Mendelejews erhält [5]. Es ist unzweifelhaft, dass Winkler um diese nachgesucht hatte.

Auf jeden Fall war es Victor v. Richter, der aus der Mitteilung in den „Berichten

der Deutschen chemischen Gesellschaft“ heraus als erster die Identität des Germaniums richtig erkannte. In seinem zweiten Schreiben an Winkler vom 25. Februar 1886 äußert er ganz unmissverständlich: „Das Germanium, dessen Namen Sie als factischer Vater aufrecht erhalten müssen, ist das von Mendelejeff prognosticierte Element Ekasilicium, Es=73, das niedrigste Homologe des Zinns, in der ersten großen Periode zwischen Gallium (69,8) und Arsen (74,9) stehend.“ Mit Nachdruck fügt er hinzu: „Das Ekasilicium ist das von uns mit größter Spannung erwartete Element, und wird jedenfalls die weitere Untersuchung des Germaniums das prägnanteste EXPERIMENTUM CRUCIS für das periodische System abgeben.“ [3]

Auch Lothar Meyers Stellungnahme ließ nicht lange auf sich warten. Am 27. Februar 1886 teilt der Tübinger Professor Winkler mit, dass er die Entdeckung des Germaniums bereits in seiner Vormittagsvorlesung behandelt habe und keinen Zweifel daran hege, dass das neue Element mit dem Ekasilicium identisch sei. Er bezeichnet die Voraussagen Mendelejews als „kühn“, allerdings kritisiert er auch eine gewisse Selbstherrlichkeit des St. Petersburger Gelehrten. Insbesondere einem Teil der Voraussage, der die angebliche Ähnlichkeit von Ekasilicium und Titan betrifft, will Meyer nicht folgen. Und in der Tat war das genau der Punkt, der es dem sonst so genialen Russen anfangs erschwerte, das Germanium richtig in sein System einzuordnen. Es bleibt eine kuriose Fußnote, dass gerade Mendelejew in seiner ersten Reaktion auf die Entdeckung (Schreiben an Winkler vom 26. Februar 1886) an ein „Ekacadmium“ glaubte und die Identität des Germaniums mit Ekasilicium ausschloss [3].

Winkler selbst dürfte eher der Argumentation Richters und Meyers gefolgt sein, und schließlich räumte die Bestimmung des Atomgewichts die letzten Zweifel aus. Der Vergleich der Prognosen Mendelejews mit den experimentellen Befunden wurde zu einem Triumph für den russischen Gelehrten. Die Übereinstimmungen waren so überzeugend, dass

sie als unwiderlegbarer Beweis für die Richtigkeit der Lehre von der Periodizität der chemischen Elemente gewertet werden konnten. Bis zu Clemens Winklers Tod im Jahr 1904 stand dieser mit Dmitri Mendelejew in Kontakt. Die beiden Treffen mit dem russischen Gelehrten 1894 in Freiberg und 1900 in Berlin bezeichnete Winkler später sinngemäß als seine schönsten Erinnerungen. Bei der zweiten Zusammenkunft entstand auch das bekannte Foto der beiden Wissenschaftler.



Repro: M. Hausstein

Das bekannte Foto von Clemens Winkler mit Dmitri Mendelejew entstand 1900 beim Treffen der beiden Wissenschaftler in Berlin aus Anlass des 250-jährigen Bestehens der Preußischen Akademie der Wissenschaften.

Tab. 1: Gegenüberstellung der Voraussagen Mendelejews für das Eka-Silicium mit den am Germanium experimentell ermittelten Eigenschaften. Es ergibt sich eine beinahe lückenlose Übereinstimmung.

	Vorhersage 1871 Eka-silicium	Befund 1886 Germanium
Atomgewicht [g/mol]	72	72,6
Atomvolumen [ml/mol]	13	13,6
Dichte [g/ml]	5,5	5,35
Schmelzbarkeit	schwer schmelzbar	schmelzbar ca. 900°C
Oxid	EsO ₂	GeO ₂
Dichte Oxid [g/ml]	4,7	4,70
Chlorid	EsCl ₄	GeCl ₄
Dichte Chlorid [g/ml]	1,9	1,88
Sdpkt. Chlorid °C	57–100	83
Ethylverbindung	Es(C ₂ H ₅) ₄	Ge(C ₂ H ₅) ₄
Dichte Ethyl [g/ml]	0,96	0,99
Sdpkt. Ethyl °C	160	163

Die indigoblaue Linie

Während das Germanium seine Entdeckung der Erfahrung und dem Können eines klassischen Analytikers verdankt, war es im Falle des zweiten „Freiberger Elements“ eine neue Methode, die zu seiner Auffindung führte. Neben dem bereits erwähnten Chemiker Hieronymus Theodor Richter gilt der Physiker Ferdinand Reich (1799–1882) als sein

Entdecker. Eigentlich wollten die beiden Wissenschaftler im Sommer des Jahres 1863 nur prüfen, ob sich das zwei Jahre zuvor entdeckte Thallium auch in Freiberger Erzen und Hüttenprodukten findet. Das Element mit der charakteristischen grünen Spektrallinie war zu jener Zeit besonders deswegen in Fachkreisen sehr präsent, weil ein unerquicklicher, offen ausgetragener Prioritätsstreit um seine Entdeckung zwischen dem Franzosen Claude Auguste Lamy (1820–1878) und dem Engländer Sir William Crookes (1832–1919) entbrannt war. Die beiden Freiberger konnten noch nicht ahnen, dass auch sie Gefahr liefen, in einen solchen Disput verwickelt zu werden.

Wie Crookes in England bedienten sich auch Reich und Richter bei ihren Untersuchungen der damals hochmodernen, erst seit wenigen Jahren zur Verfügung stehenden Spektralanalyse. Die Überraschung war groß, als Richter in einem Präparat, das Reich aus der eisenschüssigen schwarzen Zinkblende der Himmelfahrt-Fundgrube hergestellt hatte, statt der grünen Thalliumlinie eine deutlich hervortretende blaue Emission fand, die keinem der damals bekannten 60 Elemente zugeordnet werden konnte. Den beiden Experimentatoren war schnell klar, dass sie zufällig auf ein neues chemisches Element gestoßen sein mussten. Es gelang ihnen, die fragliche Substanz in einer Probe so weit anzureichern, dass die besagte Linie nicht nur im Spektroskop äußerst intensiv hervortrat, sondern dass die Anwesenheit des neuen Elements durch die Blaufärbung der Brennerflamme schon mit bloßem Auge zu erkennen war.

Bei der Namensgebung orientierten sich die beiden Forscher am Vorbild anderer spektroskopischer Entdeckungen. So wurde die Bezeichnung „Thallium“ vom altgriechischen *thallos* – grüner Zweig abgeleitet. Ähnliches könnte man von den 1861 entdeckten Erdalkalimetallen Cäsium (lat. *caesius* – Blau des Himmels) und Rubidium (lat. *rubidus* – dunkelrot) berichten, die durch entsprechend farbige Spektrallinien auf sich aufmerksam machten. Was also lag näher, als für das Freiberger Element mit der dominanten indigoblaunen Spektrallinie die Bezeichnung „Indium“ zu wählen.

Während der Name des neuen Elements von niemandem beanstandet wurde, entspann sich um die Frage, ob nun Reich oder Richter den größeren Anteil an der Entdeckung hatte, in der Fachliteratur ein reger Disput. Zwar erblickte Theodor



Foto: K. Volke

Das Reich- und Richter-Denkmal im Freiburger Albertpark zeigt die beiden Wissenschaftler auf zwei Seiten eines Buches. Diese Darstellung unterstreicht den beiderseitigen Anteil der Freiberger Professoren an der Entdeckung des Indiums.

Richter die blaue Linie im Spektroskop als erster, allerdings hatte Ferdinand Reich, der farbenblind war und daher die spektroskopische Beobachtung seinem Mitarbeiter überlassen musste, die nötigen präparativen Vorarbeiten an der fraglichen Probe geleistet. Die heute zumeist vertretene Auffassung, dass beiden Forschern der gleiche Anteil an der Entdeckung zukommt, ist sicherlich gerechtfertigt, zumal es zwischen den beiden Wissenschaftlern niemals zu einer persönlichen Auseinandersetzung um diese Frage gekommen ist.

Nach Reich und Richter beschäftigte sich besonders Clemens Winkler in seiner Zeit als Hüttenchemiker im Blaufarbenwerk Niederpfaannenstiel sehr intensiv mit dem Indium. Seine Forschungen – u. a. entwickelte er ein vereinfachtes Darstellungsverfahren für das neue Element – gipfelten darin, dass das altehrwürdige Hüttenwerk zum ersten Indiumproduzenten der Welt wurde. Vertrieben wurde das exotische Metall über die noch heute existente Mohrenapotheke in Löbnitz. Von einem bedeutenden Absatz kann aber aufgrund der noch fehlenden Anwendungsgebiete wohl eher nicht ausgegangen werden. Auch bei der Aufstellung des PSE spielte das Element mit der charakteristischen blauen Spektrallinie keine herausragende Rolle. Es wurde später als dreiwertig von Meyer und Mendelejew in ihre Systeme eingeordnet [6].

Indium und Germanium als „Freiberger Elemente“ zu bezeichnen, ist schon deswegen zutreffend, weil sie nicht nur hier entdeckt wurden, sondern weil auch die entsprechenden Rohmaterialien aus der unmittelbaren Umgebung der alten Bergstadt stammten. Darüber hinaus existieren aber noch einige Verbindungen der Bergakademie hin zur Entdeckung weiterer Elemente. So wäre zu erwähnen, dass schon Carl Friedrich Plattner

(1800–1858), Professor für Hüttenkunde und Lötrohrprobierkunst an der Königl. Sächs. Bergakademie, bereits 1846 bei der Untersuchung des Minerals „Pollux“, eines Kaliumaluminiumsilikats von der Insel Elba, bei der Aufsummierung der Komponenten einen Fehlbetrag von sieben Prozent feststellte. Als Ursache vermutete er einen weiteren „Körper“, doch führte seine Suche nicht zum Erfolg. So blieb das im Mineral enthaltene Cäsium für weitere 14 Jahre verborgen [6]. Aber auch im Falle des Wolframs und des Vanadiums lassen sich solche Querverbindungen ziehen.

Erz aus Zinnwald und die Entdeckung des Wolframs

Bereits 1546 war Georgius Agricola aufgefallen, dass bestimmte Erze in der Lage sind, Zinnerze so zu verschlacken, dass sich aus ihnen kein Zinn mehr gewinnen lässt. Daher bezeichnete er diese als *lupi spumen* (lat. Wolfsspucke). Daraus entstand später die Bezeichnung Wolframit, wobei die Identität der beiden Bezeichnungen umstritten ist: Agricola sprach bei dem erzverschlackenden Mineral von einer leichten Substanz; der schwedische Mineraloge Johann Gottschalk Wallerius benannte 1747 das in Schweden mineralisch vorkommende Calciumwolframat als Tungsten (schwedisch für schwerer Stein). 1781 gelang es Carl Wilhelm Scheele durch salpetersauren Aufschluss aus dieser Verbindung das Wolframtrioxid (WO_3) zu gewinnen [7]. Auf Basis seiner Experimente vermutete er die Existenz eines neuen Elements im Tungsten – eine Erkenntnis, die er in Fachkreisen zirkulieren ließ. Aufgegriffen wurde sie von dem schwedischen Chemiker und Mineralogen Torbern Olof Bergman, der den ab Dezember 1781 bei ihm einen neunmonatigen Kurs absolvierenden Spanier Juan José Delhuyar (1754–1796) zu weiteren Untersuchungen anregte. Delhuyar nutzte die Gelegenheit seines Aufenthalts in Schweden, sich intensiv mit den dort ansässigen Fachkollegen zu Fragestellungen aus dem Bereich der Chemie und Mineralogie auszutauschen: Außer mit Scheele, mit dem er seine Ergebnisse aus Experimenten mit dem Tungsten diskutierte, trat er beispielsweise in Kontakt mit Peter Jacob Hjelm, dem Entdecker des Elements Molybdän (1782).

Profunde chemische Kenntnisse hatte Delhuyar gemeinsam mit seinem Bruder Fausto Fermín (1755–1833) während einer längeren Ausbildungszeit erlangt, die beide zunächst nach Paris – u. a. zum



Foto: Georg Ullrich

Gebäude des Real Seminario in Vergara – Wirkungsstätte von Fausto Delhuyar. Im Laboratorium der Institution entdeckte er gemeinsam mit seinem Bruder Juan José 1783 das Wolfram.

„Begründer der modernen Chemie“ Lavoisier – und anschließend von 1778 bis 781 nach Freiberg geführt hatte (Matr. 183 und 182). Ihre Studien folgten dabei ganz konkreten Zielstellungen: Während Juan José in „staatlicher Mission“ unterwegs war, die vorrangig die Industriespionage für militärische Zwecke zum Inhalt hatte, war Fausto Fermín für die Besetzung der Professur für Mineralogie und Metallurgie am 1776 im baskischen Vergara gegründeten Patriotischen Seminar vorgesehen [8]. Für diese Professur sollte zunächst Abraham Gottlob Werner gewonnen werden; dieses Ansinnen wurde jedoch von ihm und dem Freiburger Oberbergamt abgelehnt. Da man auch keinen anderen „fertigen“ Professor für Vergara finden konnte, entschlossen sich die Gründer der

Institution – die baskische Gesellschaft der Freunde des Landes –, einen Professor aus den Reihen des eigenen Nachwuchses heranzubilden und legten Freiberg als eine der Ausbildungsstationen fest [9].

Nach Abschluss ihrer Studien in Freiberg setzten die beiden Brüder ihre Ausbildung mit Besuchen von Montanrevieren der Habsburger Monarchie fort; bald teilten sich jedoch ihre Wege: Während Fausto im Herbst 1781 nach Vergara zurückkehrte, um – kaum 23jährig – die Lehre in den Fächern Mineralogie, Metallurgie und Bergbaukunst am Patriotischen Seminar zu übernehmen, brach Juan José nach Schweden auf [10]. Die ihm von der Regierung gestellte Aufgabe, Wissen zu neuen Technologien zur Herstellung von Kanonen und Munition zu erwerben und



Foto: Georg Ullrich

Das Museum „Laboratorium“ im Palacio Errekalde in Vergara zeigt eine Ausstellung zur Geschichte der baskischen Gesellschaft der Freunde des Landes, zu dem von ihr etablierten Seminar und den wissenschaftlichen Leistungen der an ihm wirkenden Gelehrten.



Quelle: [15], S. 111

Bleierz aus Zimapán, Hidalgo (Mexiko). Aus diesem, später Vanadinit benannten, Mineral gelang es Andrés del Río, das chemische Element Vanadium zu separieren.

nach Spanien zu transferieren, rückte er zugunsten eigener wissenschaftlicher Studien in den Hintergrund und trat in einen intensiven Gedankenaustausch mit lokalen Chemikern und Mineralogen.

Aus diesem Dialog und über gemeinsam mit seinem Bruder nach der Rückkehr aus Schweden in Vergara durchgeführte Experimente resultierte im Spätsommer 1783 die Darstellung sehr unreinen Wolframmetalls durch Reduktion seines Oxids mit Kohlenstoff; die beiden Brüder galten damit als Entdecker des Wolframs. Ähnlich wie bei den Entdeckern des Indiums, Reich und Richter, kam später die Frage auf, ob einer – und wenn ja welcher – der beiden Brüder den größeren Anteil an der Entdeckung des Wolframs hatte: Hier war es offensichtlich Juan José, der durch seinen Aufenthalt in Schweden einen Wissensvorsprung hatte. Interessant ist auch der Herkunftsort des Materials für ihre Experimente: Die verwendeten Erze stammten aus dem sächsischen Zinnwald [9].

Bemerkenswert ist die Namensgebung des Elements: Während sich im englischen und französischen Sprachraum die Bezeichnung Tungsten durchsetzte, gab die deutsche Bezeichnung „Wolfram“ dem Element das Symbol **W**. Chemisch rein wurde Wolfram erst später durch Reduktion des Oxids mit Wasserstoff in der Hitze dargestellt [7].

Fausto und Juan José Delhuyar galten zu ihrer Zeit als die besten Chemiker, Mineralogen und Bergsachverständigen Spaniens [9]. Die Verbindung nach Sachsen riss auch in der Folgezeit nicht ab. Während Juan José aufgrund seines eigenmächtigen Handelns in Schweden und der nur teilweise erfüllten Mission bei der spanischen Regierung zeitweise in Ungnade fiel und 1783 als Direktor des Bergbaus in das südamerikanische Vizekönigreich Neu-Granada (heute:



Quelle: [15], S. 66

Der Palacio de Minería in Mexiko-Stadt mit den Namenszügen von Delhuyar und Del Río – Inschrift: „ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS, ANTIGUO COLEGIO DE MINERÍA 1792“; über dem Eingangsportal (drei Türen): li. „Elhuyar“, mi. „Velazquez de Leon“ und re. „Del Río“)

Kolumbien) mit der Aufgabe, die Edelmetallproduktion zu steigern, versetzt wurde [11], kehrte Fausto nach Beendigung seiner Lehrtätigkeit in Vergara (1785) nach Freiberg zurück (1787). Wie seines Bruders sollte nun auch Faustos Wissen dem spanisch-kolonialen Bergbau zugutekommen: 1786 wurde er zum Generaldirektor des neuspanischen Bergbaus ernannt. Sein Aufenthalt in Freiberg diente in Vorbereitung dieser Aufgabe – neben dem Kennenlernen neuester Technologien und Methoden zur Edelmetallgewinnung und -verarbeitung sowie der Eruierung von Möglichkeiten ihres Transfers in das Gebiet der spanischen Monarchie – auch der Gewinnung von Montanexperten für Tätigkeiten im südamerikanischen Bergbau, die entsprechendes Fachwissen dort zur Anwendung bringen sollten. In Freiberg fand er ca. 30 junge Leute, hauptsächlich Steiger und Bergknappen, „die bereit waren, die Fahrt nach Amerika zu wagen“ [10]. Nach der Ankunft 1788 in Mexiko,

oblagen Fausto neben der Begleitung des Technologietransfers die Einrichtung und der Aufbau einer Bergbauhochschule, zu deren Gründung es 1792 kam und die die erste ihrer Art auf dem amerikanischen Kontinent wurde. Als ihr Gründungsdi- rektor orientierte sich Fausto bei seinen Vorschlägen in Fragen der Lehrinhalte und der Organisation stark am Freiburger Vorbild und nutzte Vorlesungsmitschriften und Publikationen aus Sachsen. Nur wenige Jahre nach der Etablierung der Hochschule wurde mit dem Bau eines eigenen Gebäudes begonnen, das jedoch erst 1813 endgültig fertiggestellt wurde: der heute noch das Stadtbild von Mexiko-Stadt prägende Palacio de Minería.

Eine Entdeckung, deren Widerruf und spätere Bestätigung

Einer der ersten Professoren, die eine Anstellung an der Bergakademie in Mexiko-Stadt fanden, war Andrés Manuel del Río (1764–1849).



Quelle: [15], S. 125

Skulptur von Andrés Manuel de Río aus dem ersten Bergakademie-Gebäude, unbekanntes Erstellungsdatum

Wie bereits Fausto Delhuyar hatte auch del Río als Stipendiat eine Studienreise durch Europa unternommen. Nach Ausbildungsjahren an der Bergbauschule in Almadén, der École des Mines und bei Lavoisier in Paris sowie an der Schemnitzer Bergakademie wurde del Río 1789 in Freiberg immatrikuliert (Matr. 333). Während seines Studienaufenthalts lernte er Alexander von Humboldt (1769–1859) kennen, der ihm als Kommilitone hohe Wertschätzung entgegenbrachte. Nach weiteren Stationen in Montanrevieren der Habsburger Monarchie, in Schottland, in Cornwall sowie in Paris – hier musste er als Wasserträger verkleidet vor den Revolutionären flüchten, während sein Lehrer Lavoisier verurteilt wurde und den Tod unter der Guillotine fand – wurde er im Auftrag der spanischen Regierung nach Mexiko-Stadt geschickt. Ab April 1795 unterrichtete del Río an der neugegründeten Bergakademie Chemie, Mineralogie und Geologie – übrigens unter Verwendung seiner Vorlesungsmitschriften aus der Studienzeit bei Abraham Gottlob Werner [12]. Del Río wird auch als „Vater der mexikanischen Mineralogie“ [13] bezeichnet.

Im Laboratorium der neuen Lehrereinrichtung in Mexiko entdeckte Manuel del Río 1801 das chemische Element Vanadium. Das Material für seine Experimente kam diesmal allerdings nicht aus Sachsen: del Río fand das neue Element in einem mexikanischen Bleierz, dem späteren Vanadinit. Er nannte es wegen

Gruppe												13	14	15	16	17	18
4	5	6	7	8	9	10	11	12				Al	Si	P	S		
Ti Titan 47,88 1,0 4,51	V Vanadium 50,94 1,0 4,51	Cr Chrom 51,996 1,7 7,14	Mn Mangan 54,938 1,0 7,44	Fe Eisen 55,845 1,0 7,87	Co Cobalt 58,933 1,0 8,89	Ni Nickel 58,693 1,0 8,90	Cu Kupfer 63,546 1,0 9,90	Zn Zink 65,38 1,0 7,24	Ga Gallium 69,723 1,0 9,90	Ge Germanium 72,630 1,0 7,24	As Arsen 74,9216 1,0 7,24	Se Selen 78,96 1,0 7,24	Br Brom 79,904 1,0 7,24	Kr Krypton 83,80 1,0 7,24	Rb Rubidium 85,468 1,0 7,24	Sr Strontium 87,62 1,0 7,24	
Zr Zirkon 91,224 1,0 4,94	Nb Niob 92,906 1,0 4,94	Mo Molybdän 95,94 1,0 4,94	Tc Technetium 98 1,0 4,94	Ru Ruthenium 101,07 1,0 4,94	Rh Rhodium 102,9055 1,0 4,94	Pd Palladium 106,42 1,0 4,94	Ag Silber 107,8682 1,0 4,94	Cd Cadmium 112,411 1,0 4,94	In Indium 114,818 1,0 4,94	Sn Zinn 118,710 1,0 4,94	Sb Antimon 121,757 1,0 4,94	Te Tellur 127,603 1,0 4,94	I Jod 126,90549 1,0 4,94	Xe Xenon 131,29 1,0 4,94	Cs Cäsium 132,90545 1,0 4,94	Ba Baryum 137,327 1,0 4,94	
Hf Hafnium 178,49 1,0 10,76	Ta Tantal 180,9479 1,0 10,76	W Wolfram 183,84 1,0 10,76	Re Rhenium 186,207 1,0 10,76	Os Osmium 190,23 1,0 10,76	Ir Iridium 192,222 1,0 10,76	Pt Platin 195,084 1,0 10,76	Au Gold 196,96657 1,0 10,76	Hg Quecksilber 200,59 1,0 10,76	Tl Thallium 204,384 1,0 10,76	Pb Blei 207,2 1,0 10,76	Bi Bismut 208,9804 1,0 10,76	Po Polonium 209 1,0 10,76	At Astatin 210 1,0 10,76	Rn Radon 222 1,0 10,76	Fr Francium 223 1,0 10,76	Ra Radium 226 1,0 10,76	
Rf Rutherfordium 261 1,0 10,76	Db Dubnium 262 1,0 10,76	Sg Seaborgium 263 1,0 10,76	Bh Bohrium 264 1,0 10,76	Hs Hassium 265 1,0 10,76	Mt Meitnerium 266 1,0 10,76	Ds Darmstadtium 267 1,0 10,76	Rg Roentgenium 268 1,0 10,76	Cn Copernicium 269 1,0 10,76	Fl Flerovium 270 1,0 10,76	Lv Livermorium 271 1,0 10,76	Uu Ununennium 272 1,0 10,76	Uub Unubium 273 1,0 10,76	Uut Ununtrium 274 1,0 10,76	Uuq Ununquadium 275 1,0 10,76	Uup Ununpentium 276 1,0 10,76	Uuq Ununseptium 277 1,0 10,76	Uuh Ununhexium 278 1,0 10,76

PSE (Ausschnitt) mit Kennzeichnung der vier chemischen Elemente, die durch Freiburger Professoren und Absolventen entdeckt wurden

der Vielfarbigkeit seiner Verbindungen zunächst Panchromium, später Erythronium, da sich seine Salze beim Ansäuern rot färbten.

Kurze Zeit danach bekam Andrés Manuel del Río in Mexiko Besuch von einem Bekannten aus seiner Freiburger Studienzeit: Alexander von Humboldt. Der preußische Gelehrte hatte einen Teil seiner großen Forschungsreise durch Mittel- und Südamerika hinter sich gebracht, weilte nun – 1803 – längere Zeit in Mexiko-Stadt und trat in intensiven Austausch mit Studenten und Lehrern des Colegio de Minería. Dies erwies sich für del Río leider nicht nur als positiv ... Alexander von Humboldt und später der französische Chemiker H. V. Collett-Desotils behaupteten nämlich, dass es sich bei dem von del Río entdeckten „neuen Element“ auf Grund ihrer Ähnlichkeit mit Chromverbindungen um verunreinigtes Chrom handeln würde. Sollte sich del Río tatsächlich geirrt haben? Er widerrief jedenfalls kurze Zeit später die Entdeckung des neuen Elements. Dass Del Río tatsächlich ein neues Element entdeckt hatte, wurde erst viel später (an-)erkannt.

Die „Wiederentdeckung“ des Elementes gelang 1830 dem schwedischen Chemiker Nils Gabriel Sefström. Er untersuchte Eisen aus der schwedischen Eisenerzgrube Taberg, indem er es in Salzsäure löste. Dabei entdeckte er neben anderen bekannten Stoffen ein „unbekanntes“ Element, das in manchen Eigenschaften dem Chrom, in anderen dem Uran ähnelte, aber nach weiteren Untersuchungen keines dieser Elemente war. Das „neue“ Element benannte er nach Vanadis, einem Beinamen der nordischen Gottheit Freyja. Kurze Zeit später konnte Friedrich Wöhler – einem Hinweis Alexander von Humboldts folgend – den Nachweis erbringen, dass Vanadium mit Erythronium identisch ist [14]. Als Entdecker des Vanadiums

gilt heute gerechterweise Andrés Manuel del Río. Die chemische Schule der Freiburger Bergakademie hat also nicht nur die Professoren Ferdinand Reich und Theodor Richter sowie Clemens Winkler als Entdecker des Indiums bzw. des Germaniums hervorgebracht, sondern auch internationale Chemiker wie die Brüder Fausto und Juan José Delhuyar sowie Andrés Manuel del Río zur Entdeckung chemischer Elemente, konkret des Wolframs und des Vanadiums, befähigt.

Literatur

- Mendelejew, D., Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente, Zeitschrift für Chemie, 12 (1869), 405f
- Meyer, L., Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik, VI. Maruschke & Berendt, Breslau 1864
- Haustein, M., Clemens Winkler – Chemie war sein Leben, VI. Harri Deutsch, Frankfurt/M 2004
- Winkler, Cl., Germanium, Ge, ein neues, nicht-metallisches Element, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 19 (1886), 210
- Winkler, Cl., Nachlass von Clemens Winkler, aufbewahrt in der Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg
- Schneider, H., Volke, K., Haustein, M., Über die in Freiberg entdeckten chemischen Elementgeschichte und Geschichten. In: Bergakademische Geschichten, Hrsg. D. Stoyan, Mitteldeutscher Verlag, Chemnitz 2015, 135–156
- <http://www.periodensystem-online.de/index.php?el=74&id=history>, abgerufen am 5.7.2019
- Gicklhorn, René: Nordenflicht und die deutschen Bergleute in Peru. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1963, 14
- Palacios Remondo, Jesús: Los Delhuyar. La Rioja en América. Biografía de los Hermanos Juan José y Fausto a través de fuentes y bibliografía. Logroño. 1992, 129
- Palacios, 172
- Gicklhorn, 16
- FFH AvH, Art. Watznauer, S. 23
- „Andrés Manuel del Río (1764–1849) – The Father of Mexican Mineralogy“, Elizabeth Ferry, in The Mineralogical Record 42.5 (October 2011), S. 487
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Vanadium>, abgerufen am 8.9.2019
- Escamilla González, Francisco Omar, Morelos Rodríguez, Lucero: Escuelas de minas mexicanas – 225 años del Real Seminario de Minería. México. 2017

Freiberger Forschungen zur Mechanochemie, zur mechanischen Aktivierung und zum mechanischen Legieren

Hanspeter Heegn¹, Brigitte Hoffmann

Einführung

Chemische und physikalische Stoffveränderungen und Reaktionen von Feststoffen, die durch Zuführung von mechanischer Energie erfolgen, sind von großer wissenschaftlicher und technischer Bedeutung. Neben Zerkleinerung, Dispergierung und Oberflächenvergrößerung zählen dazu auch Veränderungen im Kristallgefüge der Feststoffe, die zu einem erhöhten Energieinhalt führen und als mechanische Aktivierung bekannt wurden. Auch die als Mechanochemie, Tribochemie, mechanisches Legieren, Mechanofusion u. a. bezeichneten Effekte zählen dazu. Bereits vor mehr als 130 Jahren veröffentlichte CAREY LEA 1882 erste systematische Studien zu mechanisch induzierten Festkörperreaktionen von Silber- und Quecksilberhalogeniden. Vor 100 Jahren wurde von OSTWALD 1919 der Begriff „Mechanochemie“ als die Lehre von den Beziehungen der mechanischen Energieformen zur chemischen Energie in die Systematik der Chemie eingeführt. Schließlich bezeichnete schon SMEKAL 1937 die Gewinnung aktiver Festkörper durch Einwirkung mechanischer Kräfte als „Mechanische Aktivierung“.

Zur mechanischen Aktivierung von Feststoffen und zur Mechanochemie liegt inzwischen umfangreiche Literatur vor, die auch in einigen Monografien zusammengefasst ist.² Als ein Spezialgebiet hat sich in den letzten Jahrzehnten das mechanische Legieren und Amorphisieren von Metallen entwickelt³. Außer für grundlegende Untersuchungen, die teilweise in speziell entwickelten Apparaturen durchgeführt wurden, haben sich für die unterschiedlichsten Stoffsysteme spezielle Mühlen, oft als „Mechanoreaktoren“ bezeichnet, bewährt. Hinsichtlich der Charakterisierung der bei der mechanischen Beanspruchung erfolgten Elementar-, Mikro- und Makroprozesse sind im Laufe der Jahre immer diffizilere Untersuchungsmethoden eingesetzt worden. Zum Verständnis dieser Vorgänge trug das von THIESEN 1966 aufgestellte Magma-Plasma-Modell bei.

In Freiberg beschäftigt man sich mit diesem speziellen Gebiet der Festkörperchemie und der dazugehörigen Verfahrenstechnik seit Ende der 1950er Jahre bis in die Gegenwart.

Hier sollen die in Freibergern Instituten verfolgten Forschungsrichtungen und einige der wichtigsten Forschungsergebnisse vorgestellt werden. Dabei werden auch die jeweiligen gesellschaftlichen Verhältnisse beleuchtet, unter denen die Forschungen in den einzelnen Wirkungskreisen abließen und die teilweise von erheblichem Einfluss auf die Forschungsarbeiten waren.

Institut für Anorganische Chemie der Bergakademie Freiberg



Richard Schrader (1915–2003)

Prof. Richard Schrader, der ab 1955 das Institut für Anorganische, ab 1961 das Institut für Anorganische und Analytische Chemie leitete, widmete sich forschungsseitig ab Ende der 1950er Jahre einer neuen Arbeitsrichtung: der mechanischen Aktivierung/Mechanochemie – und ist damit der Erste, der sich in Freiberg intensiv mit diesem Gebiet der Festkörperchemie beschäftigte. Dabei war ihm von Anfang an wichtig – wie an der Bergakademie Freiberg üblich – neben der Grundlagenforschung die praktische Anwendung der Forschungsergebnisse schon bei der Themenwahl zu berücksichtigen. Unter seiner Leitung entstanden zahlreiche Diplomarbeiten und Dissertationen. Er war Initiator der Arbeitsgemeinschaft (AG) „Mechanochemie“, die Vertreter mehrerer Hochschulinstitute und der Industrie umfasste. Ziel

der AG war die komplexe Erforschung der Grundlagen und eine rasche Überführung erfolgversprechender Ergebnisse in die Praxis. Daneben bestand im Rahmen der in der DDR gegebenen Möglichkeiten eine gute Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Einrichtungen, z. B. verschiedenen Instituten der Deutschen Akademie der Wissenschaften (AdW), der TU Westberlin (Prof. Eberhard Gock), der ungarischen AdW Budapest (Dr. Juhasz), der damaligen AdW der Sowjetunion (Prof. J. Hint, Tallinn; Prof. V. V. Boldyrev, Novosibirsk; Prof. P. A. Rehinder, Moskau).

Auf der Basis von Überlegungen zur Thermodynamik und Kinetik des aktiven Zustands von Festkörpern wurden theoretische Grundlagen zum Aktivierungszustand von Festkörpern erarbeitet und durch experimentelle Untersuchungen untermauert. Es wurde aber auch gezeigt, dass zur Fundierung des Verständnisses der entsprechenden festkörperphysikalischen Zustandsgrößen noch weitere umfangreiche Forschungen erforderlich waren. Diese blieben jedoch Anderen vorbehalten.

Für eine umfassende Beschreibung der verschiedenen Energiezustände eines Festkörpers sind möglichst viele, meist physikalische Untersuchungsmethoden anzuwenden. Dabei interessieren sowohl der Grob- als auch der Feinstrukturbereich der Stoffe. Im Institut für Anorganische Chemie wurden dazu in der Anfangszeit zahlreiche Geräte besorgt, darunter auch schwer beschaffbare Apparaturen aus dem kapitalistischen Ausland (KA), aber einige Geräte entstanden auch im Eigenbau.

Zu den Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung des aktiven Zustands der unterschiedlichsten Feststoffe und Feststoffgemische, die oft in Kooperation mit anderen Instituten der Bergakademie oder anderen Forschungseinrichtungen (meist der AdW) eingesetzt wurden, gehörten: Oberflächenmessungen (BET), Sedimentationsanalyse, Dichtebestimmung, Mikroskopie, Elektronenmikroskopie, Kalorimetrie, Thermoanalyse (DTA, DTG, DSC), Kernspinresonanzmessungen, IR-Spektrographie und Röntgenographie. Der letztgenannten Methode kam dabei eine besondere Bedeutung zu, wobei als Messparameter Primärteilchengrößen, Gitterverzerrungen und Versetzungen,

1 Kontakt: Prof. Dr. rer. nat. habil. Hanspeter Heegn, hanspeter.heegn@gmx.de

2 z. B. BOLDYREV 1963, SCHRADER 1964, HEINICKE 1984, TKACOVA 1989, JUHASZ 1990, GUTMAN 1994, BALAZ 2000

3 z. B. BENJAMIN 1970, ARZT 1989, KOCH 1990

aber auch Stapelfehler im Gitter dienten. Modifikationsänderungen eines Festkörpers sowie der Übergang vom kristallinen in den amorphen Zustand infolge mechanischer Bearbeitung wurden ebenfalls quantitativ – auf Basis der Veränderung entsprechender Röntgeninterferenzen – ermittelt. Für Sekundärteilchen in kolloidalen Dimensionen wurde die Kleinwinkelstreuung zur Bestimmung ihrer Größenverteilung angewandt.

Unter Regie von Prof. Schrader wurden zahlreiche Festkörper und Stoffsysteme einer mechanischen Aktivierung unterzogen und anschließend hinsichtlich ihrer Reaktionsfähigkeit und anderer Effekte untersucht⁴. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, wenn hier alle Untersuchungsobjekte aufgezählt würden. Anhand einiger Beispiele soll aber gezeigt werden, welches auch technisch interessante Forschungsgebiet in Freiberg Ende der 1950er Jahre in Angriff genommen worden war.

Die untersuchte Stoffpalette reichte von Metallen (Fe, Co, Ni, W), über Metalloxide, -sulfide, -halogenide, -carbonate, -phosphate bis hin zu natürlichen Mineralien (Bauxit, Ton, Kalkstein, Kaolin, Quarzit, Chromeisenstein) und Stoffgemischen (Zement). Als Beispiele für mechanisch induzierte Aktivierungen und Untersuchungen des verbesserten Reaktionsverhaltens der mechanisch aktivierten Festkörper seien genannt: Katalysatoren (Ni/Fetthärtung, Ni/Benzol, Co/Benzol, NaCl/i-Propylchlorid, CuO/N₂O, Magnetit/CO, ZnO/H₂O₂, α-Fe₂O₃/H₂S), Zersetzungsreaktionen (CaCO₃ → CaO, CaF₂ → HF, MnO₂ → Mn), Sintervorgänge (Dolomit, MgO), Lösereaktionen (Chromeisenstein, Kaolinit, Ton, Quarz), Redox-Reaktionen (Quarz, Brauneisenstein, Magnetit), Hydratationsreaktionen (Zementklinkerphasen, Kalk-CaO), Einsatz grenzflächenaktiver Stoffe (Kiesabbrand, α-Fe₂O₃), Phasenumwandlungen (Calcit/Aragonit, α-PbO₂/β-PbO₂, γ-C₂S/β-C₂S).

Sicher nicht so ausgeprägt wie später am Forschungsinstitut für Aufbereitung der AdW der DDR, aber trotzdem auch in diesen Anfängen spielte bei den Untersuchungen der Einfluss des Aktivierungsaggregates eine wichtige Rolle. Zum Einsatz gelangten neben der Schwingmühle auch Strahlmühle, Desintegrator und Attritor.

Zahlreiche Untersuchungen wurden bis zur industriellen Reife geführt und patentrechtlich geschützt. Die guten

Beziehungen, die Prof. Schrader zur Industrie aufgebaut hatte, führten dazu, dass einige Betriebe großes Interesse an den Ergebnissen zeigten, beispielsweise der VEB Fluorchemie Dohna, der VEB Keramische Werke Hermsdorf oder der VEB WTK Meißen und die Zementindustrie. Umso bedauerlicher war es, dass dieser zukunftsträchtige Forschungszweig an der Bergakademie Freiberg abrupt abgebrochen werden musste.

1967 wurde Prof. Schrader aus politischen Gründen fristlos gekündigt, aber im März 1990 auf Veranlassung einiger seiner ehemaligen, ihm sehr nahe stehender Doktoranden rehabilitiert. Leider ließ es der Stolz von Prof. Schrader nicht zu, dass in diesem Zusammenhang sein aufrechtes Verhalten bei der ungerechtfertigten Beendigung seiner Lehrtätigkeit und seiner wissenschaftlichen Laufbahn an der Bergakademie Freiberg öffentlich gewürdigt wurde. Umso erfreulicher war es, dass er ein neues Wissenschaftsgebiet in Weimar fand und ihm dort Ehre zuteil und Anerkennung entgegengebracht wurde.

Forschungsinstitut für Aufbereitung Freiberg (FIA) der AdW der DDR

Die Wissenschaftler Dr. Hanspeter Heegn, Dr. Claus Bernhardt und Dr. Klaus Husemann waren in den 1970er bis Anfang der 1990er Jahre die wesentlichen Initiatoren von Forschungsarbeiten, die zum großen Teil durch entsprechende Programme zur Grundlagenforschung der DDR-Regierung gefördert wurden. Eine sehr gute Kooperation bestand mit dem Zentralinstitut für Physikalische Chemie der AdW in Berlin (Prof. Heinicke, Prof. Steinicke) – und international insbesondere mit dem Bergbauinstitut der Slowakischen AdW Kosice (Prof. Balaz, Prof. Tkacova), mit dem Institut für Geologie, Geophysik und Mineralogie der Sibirischen Abteilung der Russischen AdW Novosibirsk (Prof. Boldyrev, Prof. Yusupov) und mit der Keio Universität Yokohama, Japan (Prof. Senna). Mit Prof. Juhasz (Ungarn) wurde eine gemeinsam verfasste Monografie (JUHASZ 1978) in deutscher Sprache mit zahlreichen Beiträgen aus dem FIA Freiberg herausgegeben.

Die Forschungsarbeiten im FIA Freiberg wurden insbesondere mit Quarz, Kalkstein, Magnesit, Tonmineralen, Chalkopyrit und Eisenpulver als Modellschubstanzen durchgeführt, wobei zur mechanischen Aktivierung die unterschiedlichsten Zerkleinerungsmaschinen

zur Verfügung standen bzw. teilweise neu konzipiert und in eigener Werkstatt gebaut wurden. Dazu gehörten neben den herkömmlichen Trommelmühlen Schwingmühlen, Planetenmühlen, Walzenmühlen, Rührwerkskugelmühlen, Stiftmühlen, Desintegratoren und Strahlmühlen. Zusammenfassend konnte mit den Arbeiten⁵ nachgewiesen werden, dass neben der Intensität der Beanspruchung auch der Charakter der Beanspruchung, die in der jeweiligen Mahlanlage dominiert, von wesentlicher Bedeutung ist. Neben der durch die bei der Beanspruchung in den Mühlen erfolgenden Zerkleinerung werden Inhomogenitäten im Kristallgitter erzeugt, die eine Zunahme der inneren Energie der Feststoffe bewirken. Diese Problematik wurde im FIA detailliert untersucht. Eine geeignete Methode zur Bestimmung der Veränderungen der inneren Energie der mechanisch beanspruchten Feststoffe war die kalorimetrische Messung der Lösungswärmen. Zum Vergleich wurden mit einer eigens entwickelten sogenannten Kalorimetermühle vom Typ Kugelwärmühle die dem Mahlssystem zugeführte mechanische Energie und die beim Mahlen freigesetzte Wärme quantitativ bestimmt. Aus der Differenz zwischen zugeführter mechanischer Energie und umgesetzter Wärmemenge konnte die im Mahlprodukt gespeicherte Energie bestimmt werden (HEEGN 1983). Die Bilanzierung der beiden Energieanteile in Feinprallmühlen war ebenfalls ein Forschungsschwerpunkt (HUSEMANN 1979). Die Zusammenfassung der mittels Röntgendiffraktometrie, Teilchengrößenanalyse, Oberflächenbestimmung, Kalorimetrie und Lösungsuntersuchungen erhaltenen physikalisch-chemischen Daten erlaubte die Ableitung von Strukturmodellen mechanisch aktivierter kristalliner Materialien. Bei Schlag- und insbesondere bei Prallbeanspruchung wird die Primärkristallitgröße im gesamten Volumen der beanspruchten Teilchen stärker verringert als bei Druck- und Scherbeanspruchung. Bei letzterer konzentrieren sich die Strukturveränderungen auf die oberflächennahen Bereiche der Teilchen und schwächen sich zum Inneren hin ab. Die Zunahmen der akkumulierten Energie und der Lösungsgeschwindigkeit mit steigender spezifischer Oberfläche verlaufen konform, wobei aber zum Beispiel die in der Planetenmühle gemahlene Produkte

4 z. B. SCHRADER 1973

5 z. B. HEEGN 1974, BERNHARDT 1974, HUSEMANN 1976

eine stärkere Strukturstörung und damit höhere Reaktivität bei gleicher Oberflächengröße als die Schwingmahlprodukte zeigen. Für diese Unterschiede ist in erster Linie die unterschiedliche Kristallinität verantwortlich, die bei den Planetenmühlenprodukten kleiner ist als bei den Schwingmahlprodukten. Wenn dazu noch Trocken- und Nassmahlung verglichen werden, so führt bei gleichen Beanspruchungsbedingungen eine Nassmahlung zu größeren Oberflächenzunahmen und geringerer Strukturzerstörung als eine Trockenmahlung.

Die Erweiterung der Kenntnisse über die Beeinflussung der Struktur und Reaktivität durch Beanspruchung in unterschiedlichen Zerkleinerungsmaschinen ist von Bedeutung für zahlreiche technische Prozesse, bei denen feinerkleinerte Feststoffe eingesetzt werden. Wird eine vollständige Umsetzung der Stoffe angestrebt, wie z. B. bei der Auflösung, bei der Zersetzung, beim Einschmelzen oder bei der Synthese von neuen Verbindungen, kann eine Feinerkleinerung durch Prallbeanspruchung in Stift- oder Strahlmühlen zu insgesamt reaktionsfähigeren Produkten führen als eine andersartige Beanspruchung. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die in Stift- oder Strahlmühlen übertragbaren Energiemengen im Vergleich zu anderen Mühlen relativ niedrig sind, so dass als Alternative auf die Einstellung einer bevorzugten Schlagbeanspruchung, z. B. in Planetenmühlen oder Schwingmühlen, orientiert werden sollte. Wird dagegen nur eine teilweise Reaktion angestrebt, wie z. B. bei Sinterprozessen, bei Oberflächenreaktionen, bei katalytischen Prozessen, bei der Ausbildung von Binderphasen in Baustoffen oder Gießereiformstoffen, so ist die Erhöhung der Oberflächenreaktivität durch Druck- und Scherbeanspruchung insbesondere bei Nassmahlung günstiger (HEEGN 1990). Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen wurde auch ein Modell zur Beschreibung des Widerstands gegen Strukturveränderungen und der Härte kristalliner Festkörper (HEEGN 1987) entwickelt. Die Ergebnisse der Modellrechnungen wurden mit den aus der Literatur zugänglichen Ergebnissen zu MOHS-Härte und zur Mikrohärtigkeit kristalliner Festkörper verglichen und zeigten eine befriedigende Korrelation.

Gesellschaft für Verfahrenstechnik (GVT-FIA e. V.) und UVR-FIA GmbH

Das Forschungsinstitut für

Aufbereitung wurde im Zusammenhang mit der Abwicklung der AdW der DDR Ende 1991 geschlossen. Ausgewählte Forschungstätigkeiten wurden in den vorhandenen Laboratorien und Technikum-Anlagen von den beiden gemeinsamen Vereinen Gesellschaft für Verfahrenstechnik (GVT-FIA e. V.) und für Umweltverfahrenstechnik und Recycling (UVR e. V.) sowie ab 1996 von der UVR-FIA GmbH als privatwirtschaftlich positionierte ingenieurtechnische Einrichtung weitergeführt (HEEGN 2015). Unter Nutzung der Technik und der Spezialkenntnisse der hochmotivierten Wissenschaftler betraf dies auch die Arbeiten zur mechanischen Aktivierung im Rahmen von DFG- und BMFT-Projekten ab 1992 bis 2012 unter Leitung von Prof. Hanspeter Heegn. Die guten fachlichen und auch persönlichen Kontakte z. B. zur TU Clausthal (Prof. Gock, Prof. Schönert) und zur RWTH Aachen (Prof. Hoberg) waren dabei wesentlich für die positive Beurteilung der Forschungsarbeiten. Als Beispiel sei hier das DFG-Projekt zur mechanischen Aktivierung von Kohlenstoff angeführt. Durch mechanische Aktivierung konnte ein Aktivitätsniveau erreicht werden, das dem technischer Aktivkohlen (thermische oder chemische Aktivierung) entspricht (DALLMANN 1998). Dem Einsatz von mechanisch aktivierten Kohlen kann deshalb eine Perspektive gegeben werden, weil billige Rohstoffe verwendet werden, die Herstellung sehr viel effektiver gestaltet werden kann und das eingesetzte Material vollständig erhalten bleibt. Bei der thermischen Aktivierung kann dagegen mehr als die Hälfte des eingesetzten Rohmaterials durch Oxydation zu Kohlendioxid verloren gehen und gleichzeitig die Umwelt belasten.

Als weiteres Beispiel wurde im Rahmen eines BMBF-Verbundprojekts (Partner GfE Nürnberg, Dechema Frankfurt, MTU München, UVR FIA Freiberg) das mechanische Legieren von Titanium-Aluminid-Pulver und das Strangpressen zu Titan-Aluminid-Werkstoffen in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Strangpressen der TU Berlin und dem Institut für Metallkunde der TU Bergakademie Freiberg untersucht (HEEGN 1999). Das Hochtemperatur-Korrosionsverhalten des mit mechanisch legiertem Pulver hergestellten Werkstoffs ist ausgezeichnet. Als zusammengefasstes Ergebnis wurde eingeschätzt, dass dieses Werkstoffsystem und das pulvermetallurgische Herstellungsverfahren das grundsätzliche Potenzial dafür haben,

die für ihre Anwendung erforderlichen Eigenschaften zu erreichen.

Weitere Aktivitäten auf dem genannten Forschungsgebiet waren z. B. die mechanische Aktivierung und Feinerkleinerung von Metallen wie Eisen (THÜMLER 2011), von Precursoren für nanokristalline Werkstoffe (HEEGN 2003) sowie von Tricalciumphosphat für Biozement.

Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik der TU Bergakademie Freiberg

Auf Basis der im Forschungsinstitut für Aufbereitung vor 1992 gewonnenen Erkenntnisse wurden unter Leitung von Prof. Klaus Husemann (1993 bis 2008) in Zusammenarbeit mit Prof. Heegn von der UVR-FIA GmbH spezielle Untersuchungen zum mechanischen Legieren von Metallpulvern in einer Kugelwälmühle durchgeführt. Mit einem bereits früher verwendeten, nach dem Kugelwälmühlenprinzip funktionierenden Mahlbarkeitstestgerät mit tensiometrischer Energieerfassung wurden dabei die durch Variation von Drehzahl, Auflast und Mahldauer in den Stoffsystemen Kupfer/Titan, Eisen/Titan und Kupfer/Eisen erzielbaren Stoffveränderungen systematisch untersucht. Dabei erwies sich die spezifische Energie als wesentliche Einflussgröße. Anhand der spezifischen Energie gelang es auch, die mit anderen Mühlen erzielten Ergebnisse zu bewerten. Dies wurde z. B. mit Versuchen in der Scheibenschwingmühle und der Planetenmühle belegt. Neben der spezifischen Energie sind jedoch auch die Beanspruchungsart und das Beanspruchungsregime für die entstehenden Legierungszustände relevant. Mit dem erarbeiteten Kenntnisstand waren systematische Untersuchungen zu neuen Stoffkombinationen und Legierungssystemen möglich, so dass damit auch die Voraussetzungen gegeben waren, die zur Erarbeitung der Mahlverfahren für das mechanische Legieren erforderlichen Daten mit Blick auf ihre beabsichtigte technische Umsetzung zu erlangen (REINSCH 2007).

Zusammenfassung

Ausgehend von den Arbeiten unter Leitung von Prof. Schrader wurden von weiteren Freiburger Forschern wesentliche Beiträge zum Verständnis der Vorgänge bei der mechanischen Beanspruchung, aber auch zur technologischen Nutzung der mit ihr verbundenen Effekte insbesondere auf folgenden Gebieten erarbeitet:

- Strukturveränderungen von Feststoff-

- fen bei mechanischer Aktivierung
- Reaktivität von mechanisch aktivierten Stoffen
 - Mechanochemische Reaktionen und mechanisches Legieren
 - Wirkung von Beanspruchungsbedingungen in Mühlen als „Mechanoreaktoren“ und die Ermittlung von Energiebilanzen
 - Schlussfolgerungen für die Maschinenentwicklung.

Erkenntnisse zur Mechanoaktivierung wurden beispielsweise gewonnen bei keramischen Rohstoffen, Metallpulvern, mineralischen Rohstoffen, Bioprodukten, Metalloberflächen (Tribogalvanik), Katalysatoren, Kohlenstoff. Auf dem Gebiet der Mechanosynthese gehörten z. B. Carbide, Nitride, Boride, Hydride, Mischoxide und Silikate, anorganische Komplexe, organische Verbindungen, Legierungen und intermetallische Verbindungen sowie Oberflächenreaktionen zu den Untersuchungsgegenständen. Hinsichtlich der Maschinenentwicklung wurden wesentliche Erkenntnisse zur Wirkungsweise von Schwingmühlen, Kugelmühlen, Planetenmühlen, Stiftmühlen, Wälzmühlen u. a. erarbeitet. Dabei wurden die für die mechanische Aktivierung und das mechanische Legieren entscheidenden Prozessvariablen Art, Intensität und Dauer der mechanischen Beanspruchung in unterschiedlichen Mühlen für zahlreiche Stoffsysteme untersucht. Wenn die Energie der Einzelbeanspruchung einen vom Stoffsystem abhängenden Schwellenwert übersteigt, hängt der Aktivierungsfortschritt von der insgesamt zugeführten Energie ab. Auf der Basis bekannter Maschineneinstellungen und technologischer Bedingungen können die Beanspruchungsverhältnisse in den einzelnen verwendeten Mühlen charakterisiert, die zu erwartenden Effekte bewertet sowie die Möglichkeiten und Grenzen des technischen Einsatzes von Mühlen zur mechanischen Aktivierung abgeschätzt werden.

Von großer Bedeutung war auch die Anwendung und Weiterentwicklung von Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung der mechanisch aktivierten Stoffsysteme (Röntgendiffraktometrie, Granulometrie, Oberflächenbestimmung, Kalorimetrie u. a.) sowie zur Modellierung der Prozesse. Angesichts des Umfangs der Arbeiten konnten hier nur Beispiele für Forschungsprojekte und wesentliche Ergebnisse der Forschungsteams aus Freiberg behandelt werden.

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass auf

dem beschriebenen Forschungsgebiet eine sehr gute internationale Zusammenarbeit und reger Wissensaustausch stattfand, was durch das Auftreten der beteiligten Wissenschaftler auf internationalen Kongressen, die Kooperation mit Partnerinstitutionen im In- und Ausland und den Austausch von Wissenschaftlern dokumentiert ist. Die Forschungsleistungen in Freiberg waren auch die Basis des guten Ansehens und der auch schon vor 1989 bestehenden guten Kontakte zu führenden Wissenschaftlern beispielsweise in den Technischen Hochschulen Clausthal, Braunschweig und Aachen, so dass auch nach der politischen Wende in den Nachfolgeeinrichtungen des Forschungsinstituts für Aufbereitung und an der TU Bergakademie die Arbeiten im Rahmen öffentlich geförderter Projekte weitergeführt werden konnten.

Literatur

- LEA 1882** Carey Lea, M.: Disruption of the Silver Haloid Molecule by Mechanical Force. *Phil. Mag.* 1892, 34, 46-50.
- OSTWALD 1919** Ostwald, W.: in *Handbuch der Allgemeinen Chemie*, Band 1, Akademische Verlagsgesellschaft mbH. Leipzig 1919, 70.
- SMEKAL 1937** Smekal, A.: Grundvorgänge der Hartzerkleinerung. *Zeitschrift VDI* 81 (1937) 1321-1326.
- BOLDYREV 1963** Boldyrev, V.V.: Einfluss von Kristalldefekten auf die Geschwindigkeit der thermischen Zersetzung von Kristallen. Tomsk 1963, 246 Seiten.
- SCHRADER 1964** Schrader, R. und Mitarbeiter: Mechanische Aktivierung von Festkörpern. *FFH A* 2923, Leipzig 1964.
- HEINICKE 1984** Heinicke, G.: *Tribochemistry*. Akademie-Verlag, Berlin 1984.
- TKACOVA 1989** Tkacova, K.: *Mechanical Activation of Minerals*. Elsevier, Amsterdam – Oxford – New-York – Tokyo 1989.
- JUHASZ 1990** Juhasz, Z.; Opoczky, L.: *Mechanical Activation of Minerals by Grinding*. Akademiai kiado, Budapest 1990.
- GUTMAN 1994** Gutman, E. M.: *Mechanochemistry of Solid Surfaces*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore 1994.
- BALAZ 2000** Balaz, P.: *Extractive Metallurgy of Activated Minerals*. Elsevier Science B.V., The Netherlands, 2000.
- BENJAMIN 1970** Benjamin, J.S.: Dispersion Strengthened Alloys by Mechanical Alloying. *Metall. Trans.* 1970, 1, 2943.
- ARZT 1989** Arzt, E.; Schultz, L. (Editors): *New Materials by Mechanical Alloying Techniques*. DGM Informationsgesellschaft 1989.
- KOCH 1991** Koch, E. E.: *Mechanical Milling and Alloying*. *Materials Science and Technology – A comprehensive treatment – Vol. 15 Processing of Metals and Alloys*, Verlag Chemie Weinheim (1991) pp. 194-245.
- THIESSEN 1966** Thiessen, P. A.: *Physikalisch-chemische Grenzflächenmechanik, Mikro- und Submikrovorgänge*. Abhandlungen der DAW zu Berlin Klasse Chemie, Geologie und Biologie (1966) 5, S. 15-50.

SCHRADER 1973 Schrader, R.; Hoffmann, B.: Änderung der Reaktionsfähigkeit von Festkörpern durch vorhergehende mechanische Bearbeitung. In: *Festkörperchemie – Beiträge aus Forschung und Praxis*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1973 Hrsg.: Prof. Wladimir Boldyrew, Novosibirsk und Prof. Klaus Meyer, Jena.

JUHASZ 1978 Juhasz, Z. (Editor): *Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung mechanisch aktivierter Festkörper*. Köz dok Budapest 1978.

HEEGN 1974 Heegn, H.; Bernhardt, C.; Gottschalk, J.; Husemann, K.: Aktivierungseffekte bei der Zerkleinerung von Quarzsand und Kalkstein in verschiedenen Labormühlen. *Chemische Technik, Leipzig* 26 (1974) 11, S. 696-701.

BERNHARDT 1974 Bernhardt, C.; Gottschalk, J.; Heegn, H.; Husemann, K.: Vergleichende Untersuchungen zur mechanischen Aktivierung von Quarz in einigen Labormühlen. *Silikattechnik, Berlin* 25 (1974) 6, S. 183-186.

HUSEMANN 1976 Husemann, K.; Bernhardt, C.; Heegn, H.: Feinmahlung und mechanische Aktivierung von Eisenpulver. *Powder Technology, Lausanne* 14 (1976), S. 41-49.

HEEGN 1983 Heegn, H.; Bernhardt, C.; Tkacova, K.; Sekula, F.: Neue Erkenntnisse zur Energiebilanz der Zerkleinerung. *Neue Bergbautechnik, Leipzig* 13 (1983) 4, S. 216-220

HUSEMANN 1979 Husemann, K.: Bilanzierung der theoretischen und messbaren Energieanteile in Feinprallmühlen. *Chem. Techn.* 31 (1979) 2, 75-79.

HEEGN 1990 Heegn, H.: Mechanische Aktivierung von Festkörpern. *Chemie-Ing.-Technik* 62 (1990) 6, S. 458-464.

HEEGN 1987 Heegn, H.: Modell zur Beschreibung des Widerstandes gegen Strukturveränderungen und der Härte kristalliner Festkörper. *Crystal Research & Technology, Berlin* 22 (1987) 9, S. 1193-1203.

HEEGN 2015 Heegn, H.: Aufbereitung und Recycling in Freiberg, Rückblick und Perspektive aus Anlass des 60. Jahrestages der Gründung des Forschungsinstituts für Aufbereitung und der Neugründung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie. *ACAMONTA – Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg*. 22 (2015) S. 165-170.

DALLMANN 1998 Dallmann, W.; Heegn, H.; Otto, S.: Erzeugung von Aktivkohle durch mechanische Aktivierung. *Freiberger Forschungshefte A841* (1998) S. 89-102.

HEEGN 1999 Heegn, H.; Müller, K. B.; Koch, M.: Strangpressen von mechanisch legiertem Titan-Aluminid-Pulver. *Zeitschrift ALUMINIUM* 75 (1999) Teil 1: Heft 1/2, S. 50-58, Teil 2: Heft 4, S. 308-314.

THÜMLER 2011 Thümler, S.; Kamptner, A.; Heegn, H.: Erprobung von Zerkleinerungsverfahren für metallisches Eisen zur Präparation von Dispersionen für die Bodensanierung. Vortrag Tagung Aufbereitung und Recycling, Freiberg 2011.

HEEGN 2003 Heegn, H.; Birkeneder, F.; Kamptner, A.: Mechanical Activation of Precursors for Nanocrystalline Materials. *Crystal Research and Technology* 38 (2003) 1, pp. 7-20.

REINSCH 2007 Reinsch, E.; Husemann, K.; Heegn, H.: Mechanisches Legieren von Metallpulvern in einer Kugelwälzmühle. *Aufbereitungstechnik* 48 (2007) 4, S. 35-53.

Vom kartierenden Geologen zum weltbekannten Professor

Zum 100. Todestag von Carl Richard Beck

Götz P. Rosetz, Gerhard Heide

Nach kurzer schwerer Krankheit starb am 18. August 1919, viel zu früh im 61. Lebensjahr, Carl Richard Beck, Professor für Geologie und Lagerstättenlehre an der Bergakademie in Freiberg. Die Studenten trauerten um einen überaus beliebten Hochschullehrer, der noch zwei Monate vor seinem Tod eine geologische Exkursion ins Erzgebirge, seine geliebte Heimat, geleitet hatte. Die Bergakademie verlor einen Professor, der mit seinem Lehrbuch über Erzlagerstätten den Namen der Bergakademie in alle Welt trug, und auch die Stadt Freiberg erinnerte an seinen Einsatz für den damals größten Institutsbau in der Brennhausgasse und sein Eintreten für den Erhalt eines Bergwerkes nach Aufgabe des Freiburger Bergbaus.

Geboren wurde Beck am 24.11.1858 in Niederpfannenstiel, heute ein Ortsteil von Aue. Schon frühzeitig erwachte sein Interesse am Beobachten der Natur, an Wanderungen. Sein Vater, ebenfalls ein Naturfreund, unterstützte und förderte seinen Sohn, zum Beispiel kaufte er ihm bei der Mineralienniederlage in Freiberg eine Kollektion von Erzgebirgsmineralen. Pflanzen und Steine interessierten ihn sehr, und so ist es nicht verwunderlich, dass Beck nach seinem Abitur ein naturwissenschaftliches Studium aufnahm. Zunächst studierte er in Freiburg Biologie, dann in Leipzig Geologie, Petrographie und Botanik. Im Jahre 1883 erwarb er in Leipzig mit der Arbeit „Das Oligozän von Mittweida mit besonderer Berücksichtigung seiner Flora“ die Doktorwürde, ein Jahr später legte er noch das Oberlehrerexamen ab.

Die Freude am Naturbeobachten und ein seltenes pädagogisches Talent prägten fortan sein Berufsleben. Zunächst fand er in seiner elfjährigen Tätigkeit als kartierender Sektionsgeologe in der Geologischen Landesanstalt von Sachsen ein reiches Betätigungsfeld. Mit der für Beck charakteristischen Gründlichkeit, der genauen Beobachtung und der umfassenden Begutachtung der Befunde erarbeitete er in dieser kurzen Zeit 15 Sektionen der geologischen Spezialkarten mit den entsprechenden Erläuterungen. Die selbstbestimmte Arbeit in der Natur – er durchstreifte das ganze Erzgebirge und auch das Elbsandsteingebirge –, abends der Kontakt mit Ortsansässigen in kleinen Dorfgaststätten, das alles kam den



Dr. Beck als kartierender Geologe in Sachsen

Neigungen Becks entgegen. Diese Zeit zählte zu den glücklichsten seines Lebens, sicher auch weil er heiratete und zwei Söhne bekam.

Das Jahr 1895 war für das Leben von Beck besonders bedeutsam. Der Sektionsgeologe Dr. phil. Carl Richard Beck wurde von Se. Majestät dem König von Sachsen ab dem 1. Oktober 1895 zum ordentlichen Professor an der Bergakademie Freiberg für Geologie und Lagerstättenlehre berufen. Die Berufung erfolgte auf den Lehrstuhl des am 25. Februar desselben Jahres verstorbenen Prof. Dr. Alfred Wilhelm Stelzner (1840–1895) und kam wohl vor allem durch die Fürsprache des damals bedeutenden sächsischen Geologen Prof. Dr. Hermann Credner (1841–1913), seinem Leipziger Lehrer und Förderer, zustande. Für Beck bedeutete das eine sehr große Umstellung: Statt einsamer Naturwanderungen und Beobachtungen galt es nun, einen Lehrbetrieb aufzubauen. Vorlesungen, Übungen und vor allem Exkursionen – sie waren für ihn ein wichtiges Element der Lehre – mussten zusammengestellt, vorbereitet und ständig weiterentwickelt werden; sein ausgeprägtes pädagogisches Talent

war gefordert. Zurückgreifen konnte er auf die gediegene geologische und petrographische Ausbildung in Leipzig, seinen reichen Erfahrungsschatz als kartierender Geologe in Sachsen und nicht zuletzt auf die schon damals sehr bedeutenden geowissenschaftlichen Sammlungen, die seine Vorgänger angelegt hatten. Als erste Frucht seiner neuen Tätigkeit kann man den „Geologischen Wegweiser durch das Dresdener Elbtal“ von 1897 ansehen, einen Exkursionsführer, der exaktes geologisches Wissen leicht verständlich formulierte und so zu Erkundungen des Elbsandsteingebirges anregte. Das Buch erlebte mehrere Auflagen, ein Reprintdruck folgte 2018.

Ein Lehrgebiet war für Beck ausgesprochenes Neuland: die Erzlagerstättenlehre. Mit einer bewundernswerten Energie und nicht nachlassendem Fleiß arbeitete er sich in dieses Spezialgebiet ein. Er befuhr zunächst in Freiberg und im Erzgebirge zahlreiche Bergwerke, arbeitete die von Cotta und seinem Vorgänger Stelzner angelegte Lagerstättenammlung durch, sammelte aus aller Welt Literatur über Erzlagerstätten und baute so seine Vorlesung auf. Notizen von Stelzner wie auch dessen Manuskript zu einem größeren Werk haben die Erben von Stelzner nicht Beck, sondern dem Assistenten von Stelzner, Bergeat (1866–1924), übergeben. Lediglich der damals schon betagte Geheime Bergrat Karl Herrmann Müller (1823–1907), liebevoll „Gangmüller“ genannt, unterstützte ihn mit Anregungen und Hinweisen.

Die Semesterferien nutzte Beck, um ausländische Lagerstätten kennenzulernen. Im Jahre 1897 waren es die Lagerstätten des Urals in Russland im Rahmen der Exkursionen des Internationalen Geologenkongresses, 1898 eine Forschungsreise nach Norwegen und Schweden, 1902 ging es nach Italien zur Insel Elba und in die Toskana, 1905 besuchte er Lagerstätten in Bosnien sowie in der Herzegowina, 1907 folgten Griechenland mit der Insel Thasos und die Türkei.

Die intensive Beschäftigung mit der Lagerstättenlehre, die Auswertung der gewaltig angewachsenen Literatur und vor allem die Nutzung der Mikroskopie bei der Analyse von Probenmaterial brachten

Beck auf die Idee, für die Ausbildung der Studenten ein umfangreiches Lehrbuch über die Erzlagerstätten zu verfassen. Schon im Jahre 1900 erschien seine „Lehre von den Erzlagerstätten“ im renommierten Verlag Gebrüder Bornträger, Berlin.

Clemens Winkler (1838–1904), der damals berühmteste Freiburger Professor, beglückwünschte seinen jungen Kollegen mit den Worten: *„Ich bin glücklich, dass Sie Ihr Werk noch ermöglicht haben! Auch ohne die Aufzeichnungen unseres verewigten Kollegen Stelzner sind Sie in glänzender Weise zum Ziel gelangt, und Sie können stolz darauf sein, aus eigener Kraft ein Werk geschaffen zu haben, das in der ganzen Welt begeisterte Aufnahme finden und unserer Bergakademie zu neuem Ruhm gereichen wird.“* Als erster hatte Winkler bereits im Oktober 1900 die Bedeutung dieses Werkes erkannt. Der junge Freiburger Professor Beck (42 Jahre) wurde dadurch über Nacht weltbekannt und mit Ehrungen überhäuft.

Bereits 1903 folgte eine 2. stark überarbeitete Auflage – das Buch erschien in zwei Bänden –, und 1907 eine ebenfalls überarbeitete 3. Auflage. Letztlich gab nach dem frühen Tod von Beck sein Schüler Dr. Georg Berg (1878–1946) unter Benutzung sämtlicher hinterlassener Aufzeichnungen, eine Kurzfassung der 3. Auflage unter der Bezeichnung *Abriß der Lehre von den Erzlagerstätten* im Jahre 1922 im gleichen Verlag heraus. Die französische Übersetzung nahm Prof. Octave Chemin (1844–1930) vor, sie erschien bereits 1904, und ein Jahr später übersetzte der bekannte amerikanische Geologe Walter Harvey Wedd (1862–1944) das Buch ins Englische. Die englische Ausgabe von Becks zweibändigem Werk erlebte in den USA zwölf Auflagen. Sie wurde im Jahre 2015 von amerikanischen Wissenschaftlern in die Reihe *Basiswissen der Zivilisation* aufgenommen und erschien als Reprint der Auflage von 1905 bei Andesit Press (USA). In der ganzen Welt wurde das Buch als lang ersehnte Grundlage für das Auffinden von Erzlagern angesehen, Prospektoren nannten es ihre „Bibel“.

Es häuften sich die Ehrungen für Beck. So wurde er Ehrenmitglied des American Institute of Mining Engineers und der Geological Society of South Africa, er bekam die Ehrendoktorwürde der Universität von Genf, der Montanistischen Hochschule von Leoben und der Universität von Toronto und wurde ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig.

Eine besondere Ehrung, über die er sich sehr freute, war 1905 die Einladung der British Association for the Advancement of Science zu einer mehrmonatigen Südafrika-Reise. Wissenschaftler der verschiedensten Disziplinen nahmen daran teil, und Beck genoss sogar die lange Schiffsreise (jeweils 17 Tage) auf der komfortablen „Kildonan Castle“ im Kontakt mit interessanten Wissenschaftlern. Ausführlich und sehr lebendig berichtete er in geografischen Zeitschriften über die Stationen dieser Reise. Seine geowissenschaftlichen Beobachtungen flossen auch in die 3. Auflage seiner Lagerstättenlehre ein.

Ebenfalls mehrere Monate dauerte seine Reise 1913 nach Nordamerika zum XII. Internationalen Geologenkongress in Toronto. Er wurde dort zum Vizepräsidenten gewählt, und wie bereits erwähnt, von der Universität mit dem Ehrendoktorat ausgezeichnet. Auf dieser Reise besuchte er zahlreiche Lagerstätten in Kanada und den USA, sammelte bzw. bekam Erststufen geschenkt und schickte sie kistenweise nach Freiberg.

Auch seine Heimat, das Königreich Sachsen, ehrte ihn mit Orden und der Ernennung zum Geheimen Bergrat durch den König.

Trotz all dieser Ehrungen blieb Beck weiterhin in seinem Auftreten bescheiden und zurückhaltend, er stellte nie seine großen Leistungen in den Vordergrund, so berichteten es seine Studenten. Auf Exkursionen waren sie von ihrem Professor begeistert, wenn er mit großer Geduld ihre Fragen beantwortete und abends dann ausgelassen mit ihnen in fröhlicher Runde zusammensaß und Studentenlieder sang. Beck war nicht nur ihr Lehrer, der ihnen Kenntnisse vermittelte und sie zum Forschen anregte, sondern auch Freund, der mit großem pädagogischen Geschick schwierige Probleme zu lösen half. So entstand eine „Schule Beck“.

Sein übergroßes Arbeitspensum, verbunden mit enormem Fleiß gestattete es ihm nicht – wie allgemein üblich – am gesellschaftlichen Leben der Professoren teilzunehmen. Er lebte zurückgezogen, lediglich mit dem Mineralogen Albin Weisbach und dem Chemiker Clemens Winkler pflegte er engere Kontakte.

Vielleicht hat es ihn überrascht, als er zum Rektor der Bergakademie für die Wahlperiode 1911–1913 gewählt wurde. Er engagierte sich auch in dieser Funktion mit der ihm eigenen Intensität. So kämpfte er für den Bau eines repräsentativen



Prof. Beck als Rektor der Bergakademie Freiberg

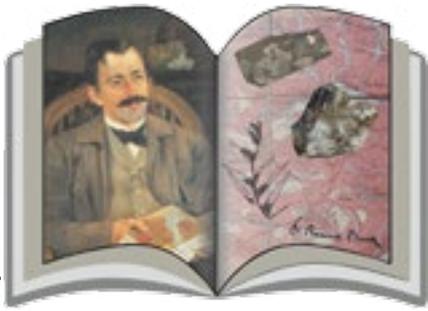
Quelle: TU Bergakademie Freiberg

Institutsgebäudes (Werner-Bau) und nahm auch nach der erteilten Baugenehmigung entscheidenden Einfluss auf die Innenausgestaltung des Gebäudes. Ferner forderte er nach der für das Jahr 1913 beschlossenen Schließung aller Freiburger Bergwerke für die Bergakademie den Erhalt eines Bergwerks zu Ausbildungszwecken.

Der 1. Weltkrieg brachte auch für Beck einschneidende Veränderungen und viel Leid. Seine Lagerstättenforschungen wurden durch die abbrechenden weltweiten Kontakte stark behindert und kamen fast zum Erliegen. Assistenten und Hilfsarbeiter, aber auch seine beiden Söhne, wurden zum Militärdienst einberufen. Der Tod seines jüngsten Sohnes Johannes im Oktober 1915 hat ihn tief bewegt; er konnte diesen Verlust nie verschmerzen.

Zwar freute er sich über sein neues Institut, zugleich kam aber mit dem Umzug und der Neugestaltung der Lagerstättenammlung eine Riesenarbeit auf ihn zu. Nur sein Studienfreund Prof. Bruno Doß (1861–1909), ein aus Riga im Krieg aus einem Internierungslager geflohener Geologe, konnte ihn einige Monate beim Aufbau der Sammlungen unterstützen. Es galt, den vorgesehenen Termin der Einweihung des Instituts durch den sächsischen König am 29. Juli 1916 zu halten. Beck war während des Krieges weiterhin als Lagerstättengutachter sehr gefragt, und er freute sich, 1916 – also mitten im Krieg – noch einmal ins neutrale Schweden reisen zu können, um die Eisenerzgruben Språkla zu begutachten. Aber sein bis dahin überaus starkes Interesse an der Lagerstättenlehre nahm durch die kriegsbedingten Einschränkungen ab, und er vertiefte sich zunehmend in die

Collage: Martina Schwarzbach



Die Sonderausstellung zum Leben und Schaffen Richard Becks im Abraham-Gottlob-Werner-Bau, Brennhausgasse 14, ist vom 12. November 2019 bis 25. Juni 2020 zu sehen.

Paläobotanik, sein Lieblingsfach seit seiner Studienzeit. Die letzten beiden wissenschaftlichen Veröffentlichungen, insgesamt waren es rund 100, befassten sich mit Farnen im Paläozoikum.

Nach dem Krieg begann er mit großer Freude, sein Lehrprogramm wieder in vollem Umfang aufzunehmen. Er ergänzte es sogar um eine Vorlesungsreihe „Geologie“ für die Freiburger Bevölkerung, zu jener Zeit ein beispielgebendes Vorhaben. Es blieb bei einem Semester; der Tod ereilte ihn am Ende des Sommersemesters 1919. Der „Freiberger Anzeiger“ vom 22. August 1919 berichtet ausführlich über die beeindruckende Beisetzung des Geheimen Bergrates Prof. Dr. Beck.

Sein 100. Geburtstag im November 1958 war für die Bergakademie Freiberg Anlass zu einer großen akademischen Gedenkfeier, auf der das Wirken Becks und seine weltweite Ausstrahlung gewürdigt wurden. Anschließend fand eine feierliche Kranzniederlegung an seinem Grab auf dem Donatsfriedhof statt. Im folgenden Jahr haben fast zeitgleich die Städte Freiberg und Aue eine Straße zu Ehren von Dr. Richard Beck benannt. Vom 12. November 2019 bis zum 25. Juni 2020 würdigen die Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg das verdienstvolle Wirken von Carl Richard Beck mit einer Sonderausstellung zu seinem 100. Todestag im Foyer des Abraham-Gottlob-Werner-Baus, „seinem“ Institutsbau.

Quellen und Literatur

- 1 Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg, Aktenzusammenstellung durch Roland Volkmer
- 2 Otto Stutzer: Richard Beck in Zeitschrift für praktische Geologie, 1919, Heft 10, S.149-153
- 3 Carl Beck: Der Geologe und Lagerstättenforscher Richard Beck in Sächsische Heimatblätter, 1962, S. 560-566
- 4 Oscar Oelsner: Zum 100. Geburtstag von Richard Beck in Bergakademie 1958, Heft 11, S. 606-607

Zum 200. Todestag von Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra Ein tatkräftiger und engagierter Bergmann als „Wohltäter Marienbergs“ im Erzgebirge Gerd Grabow

Unter den 19 Studierenden, denen die Bergakademie im Jahr ihrer Gründung 1766 ihre Pforten öffnete, ist an erster Stelle Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra inskribiert worden, ein Mann, dem es beschieden war, seine reichen, auf der Hochschule erworbenen Kenntnisse zum Segen des sächsischen und des Harzer Erzgebirges anzuwenden zu können.

Von Trebra wurde am 5. April 1740 als ältester Sohn des herzoglich-weimarischen Hofjunkers Christoph Heinrich von Trebra in Allstedt geboren und besuchte die Klosterschule zu Roßleben. Danach absolvierte er an der Universität Jena neben der ihm „weniger angenehmen Juristerei“ philosophische, mathematische und naturwissenschaftliche Studien, um dann am 8. März 1766 ein Gesuch an das Oberbergamt in Freiberg um Aufnahme an die neugegründete Bergakademie zu richten, welches ihm als Ersten genehmigt wurde. Hier hörte er bei Gellert Metallurgie und Mineralogie, bei Bergamtsassessor Richter Markscheide- und Bergbaukunde und bei Charpentier Kartenzeichnen und unternahm die vorgeschriebenen Grubenbefahrungen.

Am 15. April 1767 wurde er als Auditor in das Oberbergamt berufen und zog nun mit einer Revisionskommission von Revier zu Revier um zahlreiche Missstände aufzudecken und zu beseitigen. Diese müssen zum Teil haarsträubender Art gewesen sein. Bei diesen Untersuchungen, die zur Versetzung, Degradierung und Entlassung zahlreicher Beamter führten, zeichnete sich von Trebra derart aus, dass ihm vom Oberberghauptmann von Heynitz das Amt eines Bergmeisters in Marienberg angeboten wurde, welches er am 1. Dezember 1767 antrat. Durch größte Entschlossenheit und rücksichtslose Bestrafung aller Schuldigen brachte er den gänzlich heruntergekommenen Marienberger Bergbau in zwölfjähriger Tätigkeit zu neuer Blüte und hob sein Silberausbringen zu noch nie dagewesener Höhe.

Neben diesen Tätigkeiten wurde er

1770 Bergkommissionsoberrat am Oberbergamt in Freiberg und stieg 1773 zum Vizeberghauptmann auf. Bei seinem Aufenthalt in Ilmenau, wo er den dortigen Bergbau kennenlernen wollte, traf er auf Goethe, zu dem sich ein freundschaftlicher Kontakt entwickelte.

Als Bergmeister in Marienberg führte er mehrere technische Neuerungen ein, so den ungarischen Hunt und die Wassersäulenmaschine als Ersatz für den Pferdegöpel. Er führte eine Krankenversicherung für die Bergleute und das Tragen des schwarzen Berghabits ein. Er verbesserte die Abbautechniken und steigerte somit die Ausbeuten. Von Trebra führte soziale Erleichterungen für die notleidenden Bergleute ein. Neben einer straffen



Friedrich Wilhelm Heinrich von Trebra

Betriebsorganisation kümmerte er sich um die Wiederaufnahme des dortigen Bergbaus sowie um einen geregelten Schulunterricht der Bergmannskinder. Für dieses soziale Engagement wurde er „Wohltäter Marienbergs“ genannt.

1776 erhielt er von der Herzoglich-Weimarischen Kammer den Auftrag, zusammen mit dem Kunstmeister Mendel den gänzlich heruntergekommenen Bergbau in Ilmenau zu untersuchen. Das Gutachten über die Wiederaufnahme des Ilmenauer Bergbaus erstattete von Trebra am 11. Juli 1776. Im Jahr 1779 wurde er als Bergmeister nach Zellerfeld im Harz berufen, wo er 1791 zum wirklichen Königlich-Großbritannischen und Kurbraunschweigisch-Lüneburgischen Berghauptmann aufrückte. Auch im Harz hat er in vielen Beziehungen außerordentlich segensreich gewirkt.

Unbekannt aus welchen Gründen, legte von Trebra im Jahre 1795 sein Amt nieder und zog sich auf sein Stammgut Bretleben an der Unstrut zurück, wo er Schafzucht betrieb, den Hanfanbau vervollkommnete, die Branntweinbrennerei verbesserte und eine Salpeter- und Stärkefabrik anlegte.

Nach dem Tod des Vorstands des Oberbergamtes, Benno von Heynitz, am

30. April 1801 in Freiberg, erinnerte man sich da selbst des noch in höchstem Ansehen stehenden früheren Vizeberghauptmanns von Trebra und berief ihn durch Verordnung vom 15. September 1801 unter sehr günstigen Bedingungen zum Oberberghauptmann.

Bereits am 23. September 1801 wurde er im Beisein einer überaus großen Zahl von Berg- und Hüttenbeamten, Knappschaftsältesten und Obersteigern in sein Amt feierlich eingeführt. Hier entfaltete er nun aufs Neue eine intensive technische Verwaltungstätigkeit, wobei er sich auch um scheinbar kleine Dinge kümmerte. Es sei nur erwähnt, dass er eine Bergfaktorie zum billigen Einkauf von Materialien

schuf, die Wiederaufnahme des Halsbrücker Bergbaus durchsetzte und den hohen Silberverlusten bei den Freiburger Hütten nachging. Kennzeichnend für seine ihm bis ins hohe Alter verbliebene impulsive Art ist die Antwort, die er mit 78 Jahren dem damals 68-jährigen Friedrich August auf seine Frage: „Wie geht’s, Trebra?“, gab: „Körperlich ganz gut, Ew. Majestät, aber die Geisteskräfte, find ich, nehmen ab, wenn man über 60 Jahre hinaus ist.“ Es geschah dies im Jahre 1818 anlässlich eines großen Bergaufzugs in Dresden beim 50-jährigen Regierungsjubiläum des Königs.

Gesellig und von liebenswürdigem Wesen, übte er in seinem Hause eine große

Gastfreundschaft, wobei auch Dichtung, Schauspiel und Musik eifrig gepflegt wurde. Neben seiner amtlichen hat von Trebra auch eine umfangreiche schriftstellerische Tätigkeit entfaltet. In einem Beitrag schildert er in anschaulicher Weise seine Zeit in Marienberg. Von Trebra war Mitbegründer der ersten wissenschaftlichen Gesellschaft für Bergbaukunde (1786 bis 1791).

Am 16. Juli 1819 starb von Trebra, 79 Jahre alt, tief betrauert von seinen Untergebenen und zahlreichen Freunden, u.a. auch von Goethe. Ein großer „Serpentinenwürfel“ als Zeichen von Charakterfestigkeit im Guten und Bösen, bezeichnet seine letzte Ruhestätte auf dem Donatsfriedhof zu Freiberg.

Zum 150. Todestag: Carl August Junge – ein Praktiker auf dem Gebiet der Markscheidekunst

Karl-Heinz Löbel, Gerd Grabow, Elias Wegert

Carl August Junge wurde am 19. Juni 1821 in Frankenau bei Mittweida geboren. Nach dem gewöhnlichen Dorfschulunterricht bezog er mit 14 Jahren das Schullehrerseminar in Freiberg. Seine erste Anstellung führte ihn nach Elterlein als Elementarlehrer. 1846 wurde er zunächst Bürgerschullehrer in Chemnitz, wechselte jedoch bald darauf als Lehrer für Mathematik und Praktische Geometrie an die Königliche Gewerbeschule.

1855 erwarb er den Titel eines Dr. phil. in Leipzig und erhielt einen Ruf als zweiter Professor der Mathematik neben Julius Ludwig Weisbach (1806–1871) an die Bergakademie Freiberg. Nachdem er 1855 nur Höhere Mathematik und Arithmetik lehrte, übernahm er schon im folgenden Jahr eine Vorlesung über Darstellende Geometrie. 1859 widmete er sich auch der Praktischen Markscheidekunst, die bis dahin der Bergamtsmarkscheider Christian Friedrich Leschner gelehrt hatte. Ab 1860 unterrichtete er darüber hinaus auch Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichsrechnung.

Carl August Junge erkannte, dass für die nachhaltige Vermittlung der Praktischen Markscheidekunst ein adäquat ausgestatteter Lehrapparat (instrumentelle Ausstattung) erforderlich ist. Dem Aufbau dieses „Markscheiderapparates“ galt sein unermüdliches Streben. Die Schwierigkeiten, dafür die nötigen Mittel zu erhalten, sind mit gegenwärtigen Verhältnissen sicherlich durchaus vergleichbar. Er legte damit den Grundstein für die, bis in unsere Zeit hinein, bedeutende und umfangreiche Sammlung historischer

markscheiderischer- und geodätischer Vermessungsinstrumente am Institut für Markscheidewesen und Geodäsie der TU Bergakademie Freiberg.

Während J. L. Weisbach die Instrumente für die 1842 bis 1844 durchgeführte Triangulation zum Bau des Rothsönberger Stollens bei Bergmechanikus Lingke in Auftrag gegeben hatte, kooperierte C. A. Junge vornehmlich mit der Manufaktur von Mechanikus Osterland. Die ersten Veröffentlichungen in der *Berg- und Huetttenmaennischen Zeitung 1860* sind „Ueber die Ablenkung der Magnethadel durch Eisenbahnschienen“ und „Osterland’s Patentmarkscheiderzeug“. In dieser Zeitung publizierte er danach regelmäßig:

- 1861: „Beschreibung eines neuen Markscheidergoniometers“ (von Junge konstruiert und von Osterland gebaut),
- 1862: „Ueber das Bestimmen der Saigerteufe mit Hilfe der gespannten Schnur, des Gradbogens und der Kette oder des Messbandes“,
- 1863: „Ueber das Nivelliren in der Grube“, „Ueber das Uebertragen der Mittagslinie durch saigere Schächte in die Grube“ und
- 1869: „Beschreibung eines neuen Messisches“.

Der aus heutiger Sicht bedeutendste Beitrag gelingt ihm mit seiner Veröffentlichung in der *Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der Königl. Sächs. Bergakademie zu FREIBERG* mit dem Titel: „Ueber



Carl August Junge
(1821–1869)

den Unterricht in der praktischen Markscheidekunst an der Bergakademie“.

Ein Zitat sei an dieser Stelle gestattet:

„Den ausgedehnteren Theil in der praktischen Markscheidekunst bilden die mit demselben verbundenen praktischen Uebungsarbeiten, zu deren Ausführung an allen Wochentagen über Tage, in der Grube und im Markscheidesaal Gelegenheit

geboten wird. Bei diesen Uebungsarbeiten erhalten die Studierenden in vollständiger Weise Gelegenheit, sich mit dem Gebrauch, dem Bau, der Zusammensetzung, der Prüfung und Berichtigung der verschiedensten Messinstrumente bekannt zu machen und sich selbstständig in der Ausführung der markscheiderischen Vermessungen nach verschiedenen Methoden zu üben. Es sollen hierdurch die künftigen Markscheider vor Einseitigkeit bewahrt und nicht bloß zum selbstständigen Arbeiten, sondern auch zu einem selbstständigen Urtheil über die Auswahl der zweckmässigsten Methoden und Instrumente bei markscheiderischen Vermessungen befähigt werden.“

Diese Zeilen weisen Carl August Junge als einen glühenden Mitstreiter für Weisbachs „Neue Markscheidekunst“ aus. Eine Ablösung der bis dahin in der Praktischen Markscheidekunst lehrenden, konservativen Markscheider war dringend geboten, vertraten diese doch im Regelfall die alte, handwerklich dominierte „Ziehmarkscheidekunst“. Es ist

deshalb auch nicht verwunderlich, dass Junge und Weisbach zwei Lehrer und Wissenschaftler waren, die mit Achtung und Respekt zusammenarbeiteten. Ohne Carl August Junge hätte sich der „Große Weisbach“ ab 1862 wahrscheinlich nicht so intensiv als einer der drei Kommissare der Vermessung der sächsischen Abteilung der „Mitteleuropäischen Gradmessung“ widmen können. Die Abbildung zeigt beide im Kreise ihrer Markscheider-Studenten.

Die in diesem Beitrag erwähnten Veröffentlichungen, müssen auf die aus heutiger Sicht wichtigsten beschränkt bleiben. Eine, die jedoch nicht unerwähnt bleiben darf, ist die *Projection einer Eisenbahnlinie zwischen Tharandt und Freiberg nebst Variante*, veröffentlicht in *Der Civilingenieur* (Bd. 12/1866), eine ingenieurtechnische Meisterleistung Junges.

In einem Nekrolog in der *Berg- und Huettenmaennischen Zeitung* vom 6. August 1869 heißt es: „Am 24. Juni 1869 verschied nach mehrmonatlichen Leiden Herr Dr. ph. Carl August Junge, zweiter Professor der



Studierende der Markscheidekunst mit C. A. Junge (links) und J. L. Weisbach (rechts) am Instrument

© Altbestand der Universitätsbibliothek Georg Agricola, Nachlässe

Mathematik und Lehrer der praktischen Markscheidekunst an der Bergakademie Freiberg.“

In den Grabreden wurde er „ein rastloser Forscher auf dem Gebiet der Wissen-

schaften“ genannt und von Prof. von Cotta als „ein reichbegabter Mann, ein Märtyrer der Wissenschaft“ bezeichnet. Die Stadt Freiberg ehrte sein Andenken, indem sie eine Straße nach ihm benannte.

Serviceeinrichtung und Wirtschaftsbetrieb der Bergakademie – Otto Felix Edlmann und die Mineralienniederlage der Bergakademie Freiberg, 1933 bis 1945

Marie Vigener¹

Von 1767 bis 1956 war die „akademische Mineralienniederlage“ eine ungewöhnliche Einrichtung der Bergakademie Freiberg. Als staatliche Verkaufsstelle für Mineralien, Gesteine und Fossilien sollte sie durch den Ankauf und Tausch von Mineralien die Schau- und Lehrsammlung der Universität erweitern und dabei möglichst auch Gewinne für die Kasse der Bergakademie erwirtschaften. Die Mineralienniederlage war Teil der Universität, verkaufte ihre Waren jedoch in einem öffentlich zugänglichen Ladengeschäft. Seit 1916 befand sich das Geschäft in der Brennhausgasse – mit Verkaufs- und Präsentationsflächen, Lager und eigenem Eingang. Von dort aus versandte die Mineralienniederlage ihre Ware auch ins In- und Ausland.

Die Mineralienniederlage bestand fast 180 Jahre. Dennoch war bisher wenig über sie bekannt, abgesehen von ihrer Entstehung aus der Sammlung der Universität und ihren ersten Jahren. Zur späteren Organisationsstruktur, Mitarbeitern, Lieferanten und Kunden wurde bisher kaum etwas veröffentlicht. Bis heute befinden sich Restbestände des ehemaligen

Warenlagers an der TU Bergakademie Freiberg. Nach dessen Auflösung gelangten die verbliebenen Bestände an Mineralien in die geowissenschaftlichen Sammlungen der Bergakademie, die Erwerbs- und Verkaufsakten in das Universitätsarchiv.

Die Sammlungen waren nun Ansatzpunkt für ein Forschungsprojekt, das sich intensiver mit der Mineralienniederlage befasste. Es bestand der Verdacht, dass während der Zeit des Nationalsozialismus Raubgut in die Sammlung gelangt sein könnte. Zwischen 1933 und 1945 wurden Jüdinnen und Juden, politische und weltanschauliche Gegner verfolgt und systematisch um ihren Besitz gebracht. Neben Verordnungen zur Ablieferung von Gold, Edelsteinen und Kunstwerken, hohen „Entschädigungszahlungen“ der jüdischen Bevölkerung und anderen Schikanen der Enteignung fiel schließlich der gesamte Besitz emigrierter oder deportierter Jüdinnen und Juden an den nationalsozialistischen Staat, der ihn verwertete. Oft fungierten dabei staatliche Stellen als Helfer. Die Netzwerke und Praktiken der Enteignung und anschließenden

Verwertung des Raubgutes sind bisher weitgehend noch unerforscht.

In den vergangenen Jahren hat sich das Bewusstsein dafür geschärft, dass sich nicht nur in Kunstsammlungen, Museen und Bibliotheken, sondern auch in universitären Sammlungen „verfolgungsbedingt entzogenes Kulturgut“ befindet. Die Koordinierungsstelle für wissenschaftliche Universitätssammlungen in Deutschland hat daher mit dem Deutschen Zentrum Kulturgutverluste ein Förderformat entwickelt, das diese Sammlungen bei der Provenienzforschung unterstützt. Im Rahmen eines solchen „Erstcheck Provenienzforschung in universitären Sammlungen“ wurden nun auch die Geschichte und die Bestände der Freiburger Mineralienniederlage näher untersucht.

Die wichtigste Informationsquelle für diese Untersuchung waren die Akten und Unterlagen der Mineralienniederlage im Archiv der Universität. Diese gaben einen Einblick in die Organisationsstruktur, Informationen über das Personal und detaillierte Angaben über die An- und Verkäufe zwischen 1933 und 1945. Das Ergebnis

¹ Kontakt: marie_vigener@yahoo.de

war erfreulich, denn die Recherchen lieferten keinerlei Anhaltspunkte dafür, dass über die Mineralienniederlage wissentlich mit Raubgut gehandelt worden wäre. Die verkauften Waren stammten aus dem Mineralienhandel, aus privaten Sammlungen und aus Lagerstätten bzw. Bergbaubetrieben. Es ergaben sich keine Hinweise darauf, dass die Mineralienniederlage von Notverkäufen oder Enteignungen profitiert haben könnte. Nicht auszuschließen ist allerdings, dass Waren wie die Edelsteine, die die Mineralienniederlage beispielsweise bei Juwelieren in Idar-Oberstein ankaufte, aus Enteignungen stammten. Hier zeigte sich ein erhebliches Defizit, mit dem die Provenienzforschung in universitären Sammlungen oft konfrontiert ist. Denn in vielen Disziplinen, die an und mit Objekten forschen und lehren, spielt zwar der Fundkontext eines Objekts eine wichtige Rolle. Die Wege jedoch, auf denen die Objekte in die Sammlungen gelangten sowie die einschlägigen Absatzmärkte, Sammlernetzwerke oder Handelsrouten sind für die disziplinäre Forschung meist nicht von Interesse und daher häufig nicht erforscht. Ebenfalls wenig ist über die Netzwerke der Enteignung und anschließenden „Verwertung“ von Schmuck und Juwelen während der Zeit des NS-Regimes bekannt.

Im Rahmen des „Erstchecks“ konnten hierzu leider keine weiterführenden Untersuchungen angestellt werden. Das Projekt förderte jedoch weitere Erkenntnisse über die Mineralienniederlage in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zutage. Es zeigte sich beispielsweise, dass die Freiburger Einrichtung eine feste Größe im Mineralienhandel mit einem großen Netzwerk aus langjährigen Handelspartnern und einem exzellenten Ruf war.

Dieser ausgezeichnete Ruf – das ergibt sich aus den Unterlagen – geht maßgeblich auf Otto Felix Edelmann zurück, der von 1920 bis 1957 Direktor der Mineralienniederlage war. Edelmann, Jahrgang 1879, nannte sich in einem handgeschriebenen Lebenslauf einen „*der ersten Arbeiterstudenten in Freiberg*.“² Die Aussage war – 1950, in der frühen DDR – vielleicht politisch motiviert, aber in der Sache wahrscheinlich richtig. Während einer Mechaniker-Ausbildung, unter anderem bei Siemens und Halske in Berlin, holte er sein Abitur nach und studierte danach in Freiberg.

Direktor Edelmanns Aufgaben waren

2 Handschriftlicher Lebenslauf, Personalakte Otto Felix Edelmann I Kd 1899, Archiv der Bergakademie Freiberg.

vielfältig: Er kaufte Mineralien an, stellte thematische Kollektionen zusammen, ließ auch Schmuckstücke nach Wunsch herstellen, wurde von Sammlern mit der Suche nach besonderen Einzelstücken beauftragt und häufig um die Einschätzung von Einzelstücken und ganzen Sammlungen gebeten. Er verfügte über ein weitreichendes Netzwerk, sein Lieferanten- und Kundenkreis blieb über Jahrzehnte hinweg konstant. Er selbst schrieb, seine Stellung verlange „*umfangreiche Kenntnisse in Mineralogie, Kristallographie, Geologie, Petrographie, Paläontologie, Lagerstättenlehre, Lötrohrprobierkunde, und Chemie ...*“.³

Direktor Edelmann äußerte sich in den Akten und Unterlagen an keiner Stelle zum Nationalsozialismus. Er war allerdings schon seit 1921 Freimaurer. Die Freimaurer hatten eine humanistische, aufklärerische Grundausrichtung und waren demokratisch organisiert. Während der NS-Zeit galten sie als ideologische Gegner des Nationalsozialismus. In völkischen Kreisen war zudem die Idee einer „jüdisch-freimaurerischen Weltverschwörung“ verbreitet. Edelmanns Freiburger Loge, die St. Johannes-Loge zu den drei Bergen, wurde zeitgleich mit allen anderen Logen im Reich 1935 aufgelöst. Die Bibliothek der Loge wurde geplündert; Bücher aus diesem Bestand gelten heute in der Provenienzforschung als Raubgut.⁴ Es gibt keine Hinweise auf eine direkte Diskriminierung oder Schikanieierung Edelmanns, weil er Freimaurer war.

Als Edelmann aus Altersgründen 1957 in den Ruhestand ging, wurde die Mineralienniederlage aufgelöst. Das hatte unterschiedliche Gründe: Einen fachlich ähnlich versierten Nachfolger zu finden war nicht einfach. Außerdem hatte sich die Mineralienniederlage seit ihrer Gründung als nicht profitabel erwiesen, was zu der Entscheidung beitrug. Schon 1931 war es zu einem Beschluss des Senats der Bergakademie gekommen, die Mineralienniederlage wegen ihrer dauerhaften Verluste aufzulösen. Edelmann hatte damals mit Hilfe des Finanzministeriums seine Einrichtung retten können, indem er erfolgreich mit der Bedeutung der

3 Personalakte Otto Felix Edelmann I Kd 1899, Archiv der Bergakademie Freiberg. Brief in Zusammenhang mit seiner Nachfolgeregelung an Frau Ministerialdirektor Dr. Dyck, Ministerium für Volksbildung, 21.10.1949.

4 https://provenienz.gbv.de/Loge_zu_den_3_Bergen_im_Orient_Freiberg_in_Sachsen. Bücherei, hier ist der Stempel der Bücherei der Loge unter Provenienznachweisen für Raubgut genannt.

wissenschaftlichen Sammlungen argumentierte. 1938 versuchte dann das vorgesetzte Volksbildungsministerium, die Mineralienniederlage als profitables Unternehmen zu etablieren. Dieser Versuch versandete allerdings nach Ausbruch des Zweiten Weltkriegs aus Mangel an Personal. Und nicht zuletzt war ein Nachfolger aus politischen Gründen schwer aufzutreiben: 1946 war es an der Bergakademie „*unmöglich, eine fachlich geeignete Kraft zu finden, die nicht der NSDAP angehörte*“, wie der Rektor klagte und damit ein Licht auf die politische Vita vieler Hochschulangehöriger warf.⁵ So unterzeichneten die Professoren für Mineralogie, Hellmut von Philipsborn, und Geologie, Friedrich Schumacher, im November 1933 das Bekenntnis der deutschen Professoren zu Adolf Hitler und positionierten sich damit zum neuen Staat.⁶ Sie waren in die Aufsicht der Mineralienniederlage eingebunden und betrachteten diese hauptsächlich als eigene Serviceeinrichtung. Mit Edelmann gab es immer wieder Auseinandersetzungen um die Rolle der Mineralienniederlage. Anfang 1933 argumentierte von Philipsborn unverhüllt damit, dass Edelmann sich den „*geänderten Zeitumständen*“ – also offenbar dem nationalsozialistischen Staat – nicht anpassen könne.⁷ Dennoch gelang es Edelmann, seine Einrichtung ohne wesentliche Veränderungen auch im NS-Staat weiterzuführen, wenn auch mit Unterstützung der vorgesetzten NS-Ministerien. Mit diesem Befund hat die Untersuchung zur Mineralienniederlage im Rahmen eines „Erstchecks“ auch einen Beitrag zum Verständnis von Universitätsstrukturen während des Nationalsozialismus geleistet. Eine zukünftige weitere Untersuchung der Akten der Mineralienniederlage, die in ihrer Vollständigkeit einen faszinierenden Blick in die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Verhältnisse der Zeit und in die Geschichte der Bergakademie ermöglichen, wäre auch unter anderen Fragestellungen sicherlich lohnenswert.

5 Handschriftlicher Vermerk, 7.8.1946, Personalakte Otto Felix Edelmann I Kd 1899, Archiv der Bergakademie Freiberg.

6 Eine Liste der Unterzeichner unter <http://pressechronik1933.dpmu.de/aufstellung-zu-den-unterzeichnern-des-appells-andie-gebildeten-der-welt-11-11-1933/>. Die Unterzeichnung ist nicht gleichzusetzen mit bedingungsloser Unterstützung des NS-Staates: Unter den Unterschriften befinden sich auch spätere Gegner des Regimes. Dennoch positionierten sich die Unterzeichner.

7 Ebd., Philipsborn, 28.2.1933.

Sabine Ebert: Zwei exklusive Essays zu Freibergs Historie. Jubiläumsedition der ersten Freiburger Stadtschreiberin

In zwei kurzen Abhandlungen von insgesamt 51 Seiten behandelt Sabine Ebert als erste Freiburger Stadtschreiberin Themen ihrer großen Romane über die Gründung Freibergs und die Ereignisse des Jahres 1813. Sie verlässt damit die Welt der Belletristik in Richtung Geschichtswissenschaft.

Im Essay 1 kommentiert sie ihre Romane über die Anfänge Freibergs und diskutiert die Person des Locators Christian und den Zusammenhang der Ereignisse in und um Freiberg mit der Regierungszeit des großen Kaisers Friedrich Barbarossa. Brisanter ist der Essay 2. Mit Recht kritisiert sie darin das heutige Stillschweigen über die Befreiungskriege in der allgemeinen Geschichtsschreibung und in der lokalen Freiburger – über eine „bewegte und folgenreiche Epoche, über die die meisten Deutschen kaum etwas wissen“. Sie setzt sich stark ein für die Anerkennung der Verdienste des Generals Johann Adolph von Thielmann, Schwiegersohn des ersten Freiburger Mathematikprofessors und Berghauptmanns Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier und kritisiert massiv den ersten König Sachsens, Friedrich August den Gerechten, dessen Denkmal sie in Dresden täglich vor Augen hat. (Thielmann spielte eine entscheidende,

positive Rolle vor der Schlacht von Belle Alliance/Waterloo.)

Es handelt sich hier um zwei Essays, also sind Literatur- und Quellenangaben nicht zu erwarten. Aber heutzutage könnte man doch wichtige Quellen und Literaturangaben ins Netz stellen. So würde der Rezensent gern einmal den Bericht über die Pflege preußischer Verwundeter durch Gottlob Abraham Werner auf dem Freiburger Obermarkt nachlesen. Wie es scheint, hat das Freiburger Rathaus Sabine Ebert keinen Lektor an die Seite gestellt. So gibt es im Essay 2 einige ärgerliche Druckfehler.

Das besprochene Werk sei allen empfohlen, die Interesse an der Geschichte Sachsens und Deutschlands haben – sowohl den vielen treuen Lesern Sabine Eberts zur Vertiefung ihres Wissens als auch denen, die nicht die Zeit aufbringen, all ihre Romane zu lesen.

Sabine Ebert. Zwei exklusive Essays zu Freibergs Geschichte.

Silberstadt im Silberausch. Jubiläumsedition der ersten Freiburger Stadtschreiberin. Hrsg. vom Oberbürgermeister der Stadt Freiberg 2018.

→ www.silberausch.de

■ Dietrich Stoyan

Das Saturnfest 1719 im Plauenschen Grund bei Dresden

Jens Kugler

1719, vor genau dreihundert Jahren, veröffentlichte Daniel Defoe die 1. Auflage seines Bestsellers Robinson Crusoe. Dieses Buch gehört heute zur Weltliteratur und es kennt hierzulande fast jedes Kind. Doch es ist ein völlig anderes Ereignis, das Sachsen zu diesem Zeitpunkt beschäftigte und bis heute geprägt hat: Europas glanzvollste Hochzeit. 41 Tage inszenierte August der Starke Größe und Macht Sachsens – opulent, spektakulär, teuer. Immerhin heiratete sein Sohn eine Tochter des Kaisers. Die Kosten zur Vorbereitung und Durchführung dieses Spektakels beliefen sich auf 6 Millionen Taler. Diese unvorstellbar große Summe entsprach einer Silbermenge von etwa 117 t.

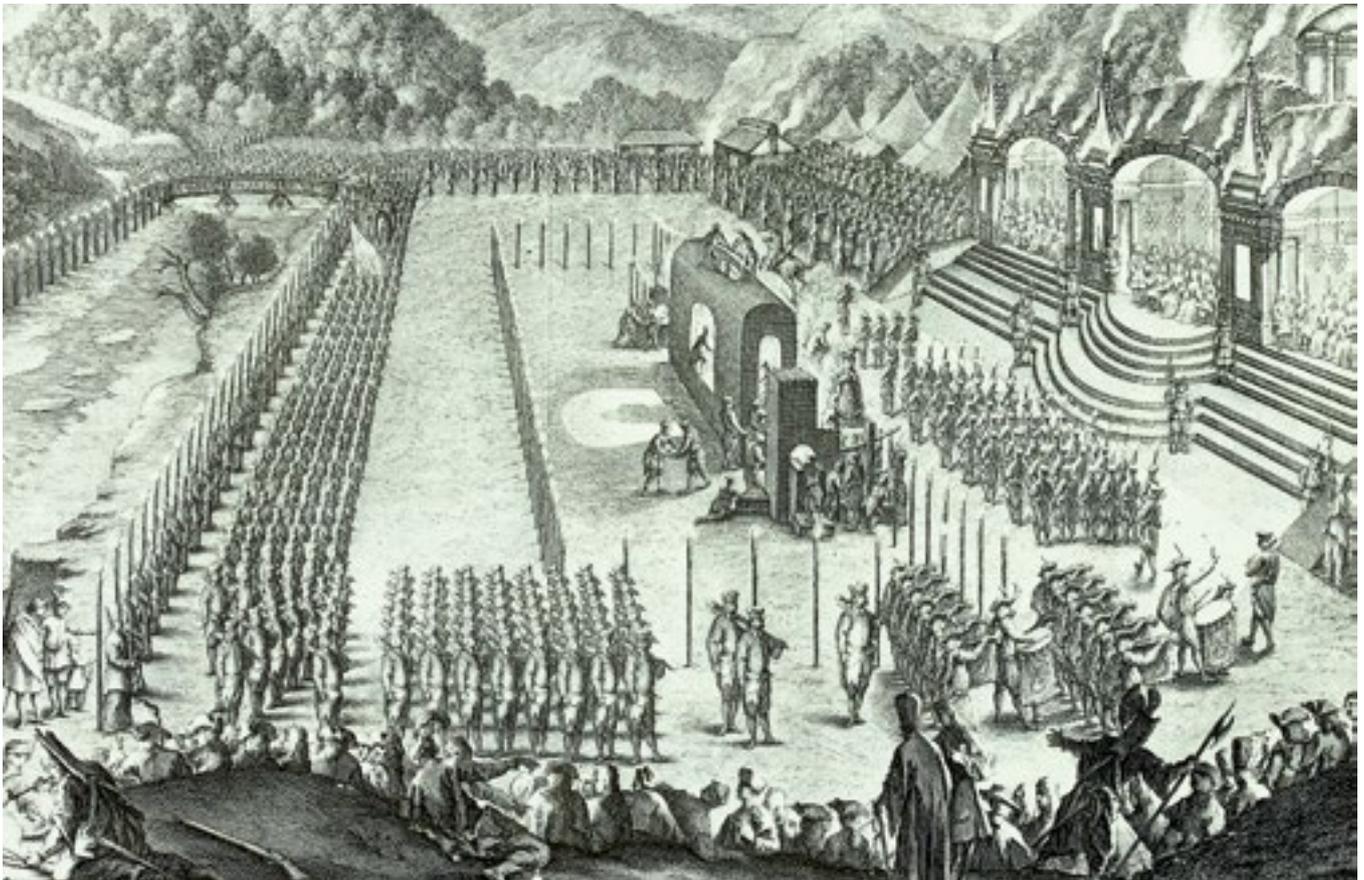
Das Ereignis hinterließ eine Vielzahl von Sachzeugen, denn August der Starke ließ umbauen oder neu errichten: das Dresdner Schloss mit dem neu eröffneten prachtvollen Audienzgemach, den Dresdner Zwinger, das Schloss Pillnitz, das Taschenberg-Palais oder das Japanische Palais, die man zwar kennt, aber nicht mit dieser Jahrhunderthochzeit in Zusammenhang bringt. Auch die großen kulturhistorischen Traditionen des Erzgebirges, darunter die bekannten erzgebirgischen Bergparaden oder die erzgebirgische Volkskunst mit ihren Pyramiden, Schwibbögen, Räuchermännern, Bergmann und Engel werden heute mit dieser Hochzeit in Zusammenhang gebracht. Doch welche



Die Beschreibungen der Hochzeitsfeierlichkeiten im Jahr 1719 gab es in deutscher, französischer und italienischer Sprache. Titelbild des Exemplars der SLUB Dresden, Hist.Sax.C.1650

Verbindung gab es zum sächsischen Montanwesen? Die ökonomische Macht Sachsens gründete sich über Jahrhunderte zum großen Teil auf das Montanwesen, das daher im Rahmen der Hochzeit

entsprechend präsentiert werden sollte. Dazu ist ein kleiner historischer Exkurs in die sächsische Bergbaugeschichte notwendig. Spätestens seit dem 16. Jahrhundert hatte sich in Sachsen der sogenannte Bergstaat herausgebildet. Er war strukturiert und straff organisiert. Heute fasst man das unter dem Begriff „Direktionsprinzip des Montanwesens“ zusammen. Es scheint paradox, wenn man einerseits auf die Befreiung der Berg- und Hüttenleute vom Militärdienst verweist, zugleich aber die Subordination der Berg- und Hüttenleute in militärähnliche Strukturen Realität waren. Letztlich war auch die Uniformierung der Bergleute, beginnend mit dem Bergaufzug 1719, ein entsprechender Ausdruck dafür. Der Landesherr war zugleich der oberste Vertreter des Montanwesens und konnte so persönlich bzw. über die eingesetzten Verantwortlichen unmittelbar in wesentliche Entscheidungen eingreifen. Das bezog sich nicht nur unmittelbar auf das Montanwesen, sondern auch auf tangierende Bereiche, wie das Floßwesen oder die Waldwirtschaft. Außerdem besaß der Landesherr das Recht zur Vermünzung der gewonnenen Metalle. Berg- und Münzregal waren somit die entscheidenden rechtlichen Instrumente des sächsischen Landesherrn, das Direktionsprinzip der



Die vollständig angetretene Bergparade vor dem königlichen Festzelt im Plauenschen Grund. Aus dem Werk von Andrea Zuchi nach Carl Heinrich Jacob Fehling. Radierung, Kupferstich SKD Dresden, Kupferstich-Kabinett Inv.-Nr. 153248

Garant für die kontinuierliche und planmäßige Entwicklung des Montanwesens. Das sächsische Montanwesen besetzte über sehr lange Zeiträume einen führenden Platz im europäischen Bergbau.

Bereits seit dem 15. Jahrhundert fanden außergewöhnliche Silberstufen unbearbeitet ihren Eingang in die Sammlungen des Landesherrn oder wurden verarbeitet bzw. als Repräsentation an andere Herrscher verschenkt. Solche Stücke finden sich heute in den Schatzkammern anderer europäischer Herrschaftshäuser. Immer wieder gab es zu besonderen Anlässen Bergaufzüge, bei denen sich die Berg- und Hüttenleute präsentierten. Das Mitführen von Produkten oder von Funktionsmodellen war dabei eine Besonderheit.

Das Jahr 1719 bildete den glanzvollen Höhepunkt in der sonst an politischen und militärischen Misserfolgen nicht armen Regierungszeit des Kurfürsten König August. Grund dafür war die Vermählung des sächsischen Kurprinzen Friedrich August mit Maria Josepha, der Tochter des 1711 verstorbenen österreichischen Kaisers Joseph I. – perfekt inszeniert und politisch clever. Ebenso wie sein älterer Bruder Karl IV. hatte der Kaiser keine männlichen Nachkommen. Die Erbfolge

sollte deshalb auf seine später berühmte Tochter Maria Theresia übergehen. Mit der Hochzeit besaß nun der wettinische Stammhalter in der Erbfolge tatsächlich eine, wenn auch nur geringe Chance, auf den Kaiserthron. Die Hochzeit sollte diesen möglichen Machtanspruch anmelden und war Teil eines lang gehegten Planes von Kurfürst August. Dieser Plan mag entstanden sein, als er mit Teilen seiner Armee, an der Seite des österreichischen Kaisers Joseph I. in Ungarn gegen die Türken kämpfte. Bereits 1697 gelang es durch diplomatisches Geschick und mit dem Einsatz von viel Geld, die polnische Königskrone zu erhalten. Zugleich zögerte er nicht, zum katholischen Glauben zu wechseln. Nach seiner Krönung in Krakau trug August nunmehr die Bezeichnung August II. Problematisch war aber eine fehlende direkte Landverbindung zwischen Sachsen und Polen. Als einziger Garant für diese Verbindung galt die Habsburger Monarchie, weswegen August bereits frühzeitig entsprechende Kontakte in Wien suchte und diese mit der Hochzeit zu sichern gedachte.

Zu den nach Dresden geladenen Hochzeitsgästen gehörten sieben Fürsten, 300 Grafen, 200 Barone und über 500 Edel-

leute, die von ihren Familienangehörigen, Dienern und Bediensteten begleitet wurden. Dazu kam eine Vielzahl von Akteuren, die Teilnehmer an den Feierlichkeiten waren.

Verantwortlich für sämtliche Abläufe war der Oberhofmarschall Freiherr Woldemar von Löwendal (1660–1740). Er war zugleich Zeremonienmeister. Die künstlerische Leitung oblag Carl Heinrich Jakob Fehling. Alles stand unter einer Vielzahl von Symbolen. U. a. nutzte man die alchimistischen Sinnbilder von Sonne, Mond, Venus, Mars, Jupiter, Merkur und Saturn.

Weit weniger prunkvoll war die eigentliche Vermählung im kaiserlichen Wien, die nicht im Stephansdom, sondern „nur“ in der Wiener Hofkapelle vollzogen wurde. Und August der Starke erhielt zu seinem Ungemach noch nicht einmal einen Platz in der ersten Reihe der Hochzeitsgäste zugewiesen. Die dagegen in Sachsen vorbereitete und inszenierte Feier sprengte hinsichtlich ihres Umfangs alle bekannten Rahmen. Schon die Einholung der Braut über Pirna nach Dresden war eine einzigartige Inszenierung. Über einen Monat folgten, beinahe täglich, sich einander überbietende und großartige Veranstaltungen. Dazu gehörten Aufführungen von



Ausschnitt aus der kolorierten Zeichnung der Bergparade und der Annotation: Schichtmeister führe 300 Mann Berghäuer. Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg, Wissenschaftlicher Altbestand

Komödien und Opern ebenso wie Jagden, Wettkämpfe, Reiterspiele oder blendende Feuerwerke. Den alles überstrahlenden und krönenden Abschluss bildete am 26. September das bis heute berühmte Saturnusfest im Plauenschen Grund.

Das Saturnusfest wurde am Eingang des Plauenschen Grundes vor den Toren der Stadt Dresden inszeniert und sollte die Quelle des sächsischen Reichtums eindrücklich demonstrieren. Das Fest sollte ursprünglich am Wochentag des Saturn (Saturday, Samstag) stattfinden, musste aber aufgrund des „üblen Wetters“ um mehrere Tage verschoben werden.

Am Nachmittag des 26. September trafen die Gäste an der Brücke des Hegerreiters im Plauenschen Grund ein, um eine dreiteilige Inszenierung – eine Jagd, eine Opernaufführung und die große Bergparade – zu erleben. Begonnen wurde mit einer Treibjagd, bei der Hasen, Rotwild und Hirsche einen Bergsporn hinabgetrieben und von den Gästen zur Strecke gebracht wurden. Im weiteren Verlauf der Jagd wurde von einem Felsen weiteres Rotwild, ein kapitaler Hirsch und ein Bär heruntergetrieben. Der Bär, der den Sturz überlebte, wurde letztlich standesgemäß von August dem Starken erlegt. Nach dem Ende dieser „lustigen Jagd“ begab man sich zum unweit aufgebauten Theaterplatz. Hier wurde eine nicht überlieferte italienische Komödie aufgeführt, in der ein Bergwerk und eine Jagd im Zentrum standen. Dieser Aufführung folgte ein Festessen im „Tempel des Saturn“, einem aus Holz und Leinwand aufgebauten Festzelt, das von außen einen Berg und von innen einen Palast darstellte. Die Sichtseite zum Paradeplatz war geöffnet. Unzählige

Öllämpchen, Schmuckelemente und Skulpturen verzierten das Zelt und das Umfeld. Den Hauptsaal krönte die Zeichnung des Saturns mit der Sense des Kronos als Gott der Lebenszeit, aber auch mit einer Bergbarte, einer Erzstufe und den Insignien des Montanwesens. Spiegel vergrößerten die Raumwirkung des Festzeltes und der festlichen Beleuchtung. Die Festtafel war mit zahlreichen Modellen des Bergbaus und des Hüttenwesens dekoriert, das erzeiche Gebirge durch Berge aus Tragant (Zuckerwerk) symbolisiert.

Glanzvoller Höhepunkt des Saturnusfestes war ein Bergaufzug. Von der Coschützer Höhe marschierten in der Nacht insgesamt mehr als 1.650 Berg- und Hüttenleute durch eine Schlucht in das Tal der Weißeritz. Angeführt wurde die Parade von Freiherr Woldemar von Löwendal. Er trug die 1678 von Samuel Klemm in Freiberg für Kurfürst Johann Georg angefertigte Paradeuniform, die man heute im Grünen Gewölbe bewundern kann. Den Bergleuten ging eine Kompanie sächsischer Soldaten, die in Uniformen von Janitscharen (Eliteeinheit der osmanischen Armee) und türkischen Musikern gekleidet waren, voran. Die Berg- und Hüttenleute folgten einer festgelegten Hierarchie und trugen ihr Geleucht bzw. Fackeln. Thematisch waren sie militärisch exakt in Rotten zu 36 bzw. 48 Personen geordnet. Neben dem Gezähe führten sie Produkte des sächsischen Montanwesens mit. Dazu gehörten Proben von Gold, Silber, Kupfer, Blei, Wismut, Marmor, Serpentin, Perlen u. a.

Besondere Attraktion waren große Schauberge und Maschinen. Dazu gehörte der Nachbau eines Bergwerks in

dem beispielsweise Bergleute mit Schlägel und Eisen arbeiteten. Ein Schmelzofen war vorbereitet und wurde vor den Blicken der Anwesenden abgestochen. Bei dem dritten Modell erzeugte man vor den Augen der Gäste Blicksilber. Anschließend wurden vorbereitete Silberrohlinge zu Auswurfjetons ausgeprägt und den Gästen zugeworfen. Insgesamt dauerte die Bergparade und das Spektakel der Vorführung mehr als zwei Stunden.

Nachweislich während der Bergparade im Plauenschen Grund geprägter Auswurfjeton. Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg, Wissenschaftlicher Altbestand, Numismatische Sammlung



Heute informiert über die Ereignisse ein ausgesprochen prächtiger Kupferstichband. Raymond Leplat zeichnete die detaillierten Entwürfe im Vorfeld der Feierlichkeiten, die später in großformatigen Kupferstichen vervielfältigt wurden. Doch auch in Freiberg gibt es 300 Jahre nach dieser festlichen Veranstaltung noch eine Vielzahl von Sachzeugen der Jahrhunderthochzeit. Das sicher bedeutendste Zeugnis ist eine 38,4 m lange Zeichnung der Bergparade, die heute, ebenso wie einige der Auswurfjetons, im wissenschaftlichen Altbestand der Universitätsbibliothek der TU Bergakademie Freiberg aufbewahrt wird. Nicht zuletzt existieren auch im Bergarchiv Freiberg eine Vielzahl von Akten und historischen Unterlagen, die sich unmittelbar auf die Vorbereitung und Durchführung der Bergparade beziehen.

Prof. Dr. Gerhard Roewer verstorben

Die TU Bergakademie Freiberg, der Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg (VFF) e. V. und der Ortsverband Freiberg der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) trauern um Prof. Dr. Gerhard Roewer. Er starb am 28. April nach langer Krankheit im Alter von 79 Jahren.

Prof. Dr. Roewer wurde am 14. Dezember 1939 in Drosedow mitten in der Mecklenburgischen Seenplatte geboren. Nach dem Abitur am Gymnasium Neustrelitz studierte er an der TH Merseburg von 1958 bis 1963 und war hier in Folge, auch nach seiner Promotion 1968, als wissenschaftlicher Assistent und Oberassistent tätig. 1980 folgte die Habilitation zur Thematik „Fotoreduktion von Metallkomplexen“. Im gleichen Jahr begann er eine Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Filmfabrik Wolfen und arbeitete ab 1981 an der TH Leuna-Merseburg auch als Dozent.

Am 1. September 1988 wurde Prof. Dr. Roewer schließlich auf die Professur „Anorganische Chemie“ an die TU Bergakademie nach Freiberg berufen. Er übernahm hier zunächst die Leitung des Wissenschaftsbereiches „Anorganische Chemie“. Durch die Freiburger Silicium-Industrie initiiert begann er zudem ein für ihn vollkommen neues Forschungsgebiet aufzubauen – die „Siliciumchemie“. Zahlreiche Forschungsprojekte, Publikationen, Dissertationen und studentische Abschlussarbeiten waren der Grundlagenforschung gewidmet und beschäftigten sich beispielsweise mit der Siliciumabscheidung und der Entwicklung neuer Silan-Stoffgruppen.

Ab dem Jahre 1990 hat er den Studiengang Chemie als Studiendekan, Prodekan und Dekan der Fakultät für Chemie und Physik mit auf den Weg gebracht und modernisiert. Auch an der Schaffung des neuartigen, erfolgreichen Studienganges „Angewandte Naturwissenschaft“ im Jahre 1996 hatte er

maßgeblichen Anteil. Die Lehre und die Beziehungen zu den Studierenden waren Prof. Dr. Roewer immer außerordentlich wichtig und seine spannenden und experimentellen Vorlesungen sehr beliebt. Viele seiner Absolventen sind heute in der Siliciumindustrie tätig und tragen ihr in Freiberg erlerntes Wissen in die Welt. Auch nach seiner Emeritierung im Jahr 2005 stand er weiter Studierenden, Doktoranden, Vertretern von Industrieunternehmen und Kollegen von anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen beratend zur Seite. In den letzten Jahren befasste er sich auch erfolgreich mit Problemen der pharmakologischen Chemie und der Biogaserzeugung.

Gerhard Roewers Verdienste für die Bergakademie erstrecken sich aber nicht nur auf sein Engagement in Lehre und Forschung. Über viele Jahre wirkte er in der demokratischen Universitätsverwaltung mit, war Vorsitzender des GDCh-Ortsverbandes Freiberg sowie seit 1999 engagiertes Mitglied im Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. Im Jahr 2004 wurde er in den VFF-Vereinsvorstand gewählt und übernahm 2005 die Chefredaktion der vereinseigenen Zeitschrift „ACAMONTA“, die unter seiner Leitung eine hochgeschätzte und weit geachtete Anerkennung erreicht hat.

Für sein Engagement und seine Leistungen erhielt der verdiente Chemie-Professor die St. Barbara-Medaille 2009 des Fördervereins, die Universitätsmedaille 2011 und den Ehrenberkkittel der Universität im Jahr 2014.

Wir blicken in tiefer Trauer und mit großer Dankbarkeit auf das Wirken von Prof. Dr. Gerhard Roewer zurück und werden sein Andenken in ehrender Erinnerung behalten.

*Das Rektorat der TU Bergakademie Freiberg,
der Förderverein VFF und
der Freiburger Ortsverband der GDCh*

Nachruf für Prof. Dr. Karl-Armin Tröger

Am 2. Januar 2019 verstarb Prof. Dr. Karl-Armin Tröger in Freiberg – kurz nach der Vollendung seines 87. Lebensjahres. Karl-Armin Tröger war bis zu seinem Ruhestand 1997 Hochschullehrer und Geologe am Geologischen Institut der Bergakademie Freiberg (später TU Bergakademie Freiberg).

Karl-Armin Tröger wurde am 30. November 1931 in Melun bei Paris geboren und wuchs in Plauen (Vogtland) und Dresden auf. Wir hatten mit Prof. Tröger engen Kontakt noch bis November 2018. Herr Tröger hat viel über seinen Werdegang und seine Arbeit erzählt. Er hatte schon als Schüler Steine im Plauenschen Grund gesammelt und sich 1950 zum Studium an der Bergakademie beworben – zu einer Zeit, als es „ein Glück, eine Ehre war, dort zu studieren“. Er bewarb sich nicht nur, sondern sandte auch eine Abhandlung über seine geologischen Untersuchungen mit. Da sollten die Freiburger sehen, was für einer er war. Er wurde zu einem



Karl-Armin Tröger

* 30. November 1931, † 2. Januar 2019

Gespräch nach Freiberg eingeladen. Sparsam und arm, wie die Familie damals war, fuhr er zuerst mit der Straßenbahn nach Freital-Hainsberg und ging dann zu Fuß nach Freiberg. Er kehrte vermutlich auf die gleiche Weise nach Dresden zurück.

1955 schloss Karl-Armin Tröger sein Studium mit seiner Diplomarbeit zu

sedimentologisch-paläontologischen Untersuchungen der Kreide des Plauenschen Grundes in Dresden ab (ausgezeichnet mit der Agricola-Medaille). Nach dem Studium wurde Karl-Armin Tröger Assistent am Geologischen Institut der Bergakademie. Seine stratigraphischen und tektonischen Analysen in den altpaläozoischen Sedimentgesteinen des Vogtlandes legte er im Rahmen seiner 1959 abgeschlossenen Doktorarbeit nieder (summa cum laude).

Nach der Promotion war er zwei Jahre beim zentralen Geologischen Dienst (Freiberg) als kartierender Geologe tätig, wobei er eng mit Kurt Pietzsch zusammenarbeitete. 1961 ging Karl-Armin Tröger an das Geologische Institut der Bergakademie zurück. Im Rahmen des Erdölbooms der 60er Jahre bearbeitete er die Kreide in 50 Bohrungen mit besonderem Augenmerk auf Muscheln der Gruppe der Inoceramen. Er stellte ihre Bestimmung durch die Definition von diversen Parametern

auf eine quantitative Basis und schuf – ausgehend von der Sächsischen Kreide und dem Norddeutschen Becken – ein stratigraphisches Gerüst, das eine weltweit sichere Korrelation erlaubte. Diese Studie wurde zum wesentlichen Inhalt seiner Habilitationsschrift (Tröger 1967, 1969). Seine wissenschaftlichen Leistungen fanden 1973 eine besondere Würdigung durch die Aufnahme in die „Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina“ (heute die Nationale Akademie der Wissenschaften). Dort wurde er 1992–1995 zum Adjunkten für Sachsen und 1996–2002 zum Obmann für Geologie/Paläontologie gewählt.

Von 1975 bis 1976 konnte Karl-Armin Tröger einen Studienaufenthalt in der Sowjetunion durchführen. Dabei gelang ihm die Aufstellung eines biostratigraphischen Schemas für den europäischen Teil der Sowjetunion und eine detaillierte Korrelation mit mitteleuropäischen Profilen. In den 80er Jahren kehrte Karl-Armin Tröger im Rahmen eines Projekts des Zentralen Geologischen Instituts (ZGI) zum Thema „Metallogenie Grundgebirge“ zum Altpaläozoikum der Elbezone und des Vogtlandes zurück.

Die friedliche Revolution von 1989/90 brachte für Karl-Armin Tröger neue, ungeahnte Herausforderungen. Er beteiligte sich aktiv an der Erneuerung der Bergakademie. Er wurde 1991 Mitglied des Akademischen Senats und war unter den ersten neun Professoren neuen Rechts. Im Rahmen der Neustrukturierung der Bergakademie wurde er Ecklehrstuhlinhaber und 1992 C4-Professor für Dynamische und Historische Geologie. Von 1992 bis 1994 führte er als Direktor das Geologische Institut. Als Dekan der damals noch existierenden großen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät leistete er darüber hinaus von 1991 bis 1994 eine äußerst engagierte Arbeit bei der Neubesetzung von Freiburger Professorenstellen. Er war Mitglied in etwa 40 Berufungskommissionen und leitete mehr als zehn davon. Zu diesem großen Einsatz in Universitätsgremien kam die sehr zeitraubende und menschlich schwierige Mitarbeit in der Zentralen Personalkommission der Bergakademie. Weiterhin sollen seine Fachgutachtertätigkeit bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (1992–2000) sowie seine Mitgliedschaft im Auswahl Ausschuss der Alexander von

Humboldt-Stiftung (1993–1999) erwähnt sein. Karl-Armin Tröger ist Autor von mehr als 200 Veröffentlichungen, Betreuer von acht Dissertationen und 36 Diplomarbeiten [1]. Sein Lehrbuch *Abriß der Historischen Geologie* war und ist hoch geschätzt (Tröger 1984). Die TU Bergakademie Freiberg verdankt ihm die Konzeption einer der didaktisch besten stratigraphischen Lehrsammlungen Deutschlands. Auch kartierte er mehrere geologische Blätter Sachsens neu. Durch seine Kreideforschung entwickelte sich eine enge Bindung zu den Kolleginnen und Kollegen der Sammlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden (heute Senckenberg Naturhistorische Sammlungen Dresden).

Mit Karl-Armin Tröger verlieren wir einen hochgeschätzten Kollegen und akademischen Lehrer, der bis ins hohe Alter wissenschaftlich tätig war. Sein Rat, seine Expertise und seine Freundschaft werden uns fehlen.

■ Christoph Breitkreuz und Dietrich Stoyan

1 Horna et al. (Hrsg., 1997): Karl-Armin Tröger Festschrift = FFH C468; Breitkreuz (Hrsg., 2011): Festschrift zum 80. Geburtstag von Prof. Dr. Karl-Armin Tröger = FFH C540.

Professor Karl-Armin Tröger und sein wissenschaftlicher Nachlass Angela Kugler-Kießling

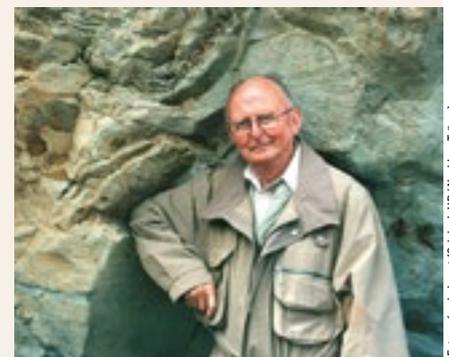


Am 14. Oktober 1999 verfügte Professor Karl-Armin Tröger testamentarisch, dass nach seinem Tod ein Teil seines wissenschaftlichen Nachlasses in der Universitätsbibliothek Freiberg (UB) aufbewahrt werden solle. Als Professor Tröger am 2. Januar 2019 verstarb, trat eben dieser Erbfall ein und so kam – nach dem Nachlass von Abraham Gottlob Werner von 1817 – ein zweiter Bestand durch testamentarische Verfügung an die UB.

Neben den privaten Erben verfügte Professor Tröger damals das Landesamt für Umwelt und Geologie, die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina zu Halle, das Geologische Institut Warschau und die TU Bergakademie/UB zu seinen Erben. Da die Leopoldina, deren langjähriges Mitglied Tröger war, auf ihren Erbteil, die wissenschaftliche Privatbibliothek, verzichtete, übernahm die UB auch diesen Teil. So türmten sich noch im Januar fast 150 Kartons

im Magazin der UB. Deren Inhalt bestand aus mehr als 2.000 Bänden der Privatbibliothek, einer – so unwahrscheinlich es klingt – Sammlung von fast 15.000 Sonderdrucken, die zum einen Bestandteil seiner Inoceramen-Forschung sind, zum anderen aber eben auch spannende Zeugnisse der Entwicklung geowissenschaftlicher, speziell paläontologischer und paläobotanischer Forschungen der letzten 60 Jahre.

Besonders bemerkenswert ist seine Fotodokumentation, die er bereits Mitte der fünfziger Jahre begann und bis zu seinem Tod überaus akribisch weitergeführt hat. Ab 1980 werden diese Fotos von Feldbüchern ergänzt. Die Aufzeichnungen in seinen Notiz- und später auch Reisetagebüchern zeigen in erstaunlicher Weise den aufmerksamen Beobachter und talentierten Zeichner, der Karl-Armin Tröger ganz zweifellos war. Detailgetreu zeichnete er in seinen Feldbüchern geologische Aufschlüsse,



Prof. Karl-Armin Tröger während der Exkursion nach Alaska 2007

Landschaftssituationen oder architektonische Besonderheiten. Nach vorläufigem Kenntnisstand hat die UB etwa 12.500 Aufnahmen als Ergebnis zahlreicher Exkursionen in mehr als 40 Länder aller Kontinente übernommen – eine unschätzbare Ressource für verschiedenste Forschungen.

Karl-Armin Tröger war aber offensichtlich nicht nur ein ehrgeiziger Wissenschaftler, sondern auch bei seinen Studenten sehr beliebt, denn sie kürten ihn Mitte der 90er Jahre mehrfach zum beliebtesten Hochschullehrer. Wir fanden studentische Lieder und einige Spottgedichte. Solche Dokumentenfunde machen das Arbeiten mit Nachlässen spannend und lebendig.

Geärgert hat sich der 1931 in Melun (Frankreich) geborene Karl-Armin Tröger über seinen

Fotograf unbekannt (Original: UB/Nachlass Tröger)

Status als sogenannter „Lücke-professor“. Das waren jene zwischen 1930 und 1940 geborenen Professoren, die im Prozess der Wiedervereinigung Deutschlands nach zweifacher Evaluierung hinsichtlich fachlicher Qualifikation und persönlicher Integrität als „Professoren neuen Rechts“ die Erneuerung des Hochschulwesens in den neuen Bundesländern gestalteten, denen aber eine in Deutschland für Professoren übliche Versorgung über eine Verbeamtung wegen bereits fortgeschrittenen Lebensalters trotz durchgängiger Beschäftigung an Universitäten und Hochschulen nicht zugestanden wurde. Karl-Armin Tröger gehörte zu jenen Professoren, die sich in zahlreichen Petitionen gegen diese Diskriminierung zur Wehr setzten, denn Hochschullehrer-Kollegen, die in die alten Bundesländer übersiedelten, wurden in den meisten Fällen verbeamtet. Diesbezügliche Korrespondenzen füllen mehrere Ordner im Nachlass und sind ein Stück deutscher, sächsischer, universitärer und persönlicher Geschichte.

Was aber wurde oder wird mit den 100 Kisten, den Sonderdrucken, wissenschaftlichen Aufzeichnungen, Vorlesungsunterlagen, Feldbüchern, Fotoalben oder Dias? Eine geschlossene Übernahme von Privatbibliotheken ist aus mehreren Gründen natürlich nicht möglich.

Deshalb prüft die UB jedes einzelne Buch und dokumentiert den übernommenen Bestand. In der Universitätsbibliothek nicht vorhandene Publikationen werden unter Wahrung der Provenienz aufgenommen. Im Falle von Prof. Tröger wurden von den ca. 2.000 Bänden bisher etwa 300 Bände in die UB übernommen. 6.500 Fotos wurden digitalisiert, mit entsprechenden Metadaten versehen und in die momentan noch provisorische Fotodatei der UB eingespielt. Wenn es in absehbarer Zeit gelingen sollte, die geplante Datenbank für visuelle Bestände der TU Bergakademie Freiberg aufzubauen, dann werden diese Aufnahmen, die neben universitärer Geschichte, Geologie, Paläontologie oder Botanik auch die landschaftlichen Veränderungen der letzten Jahre auf allen Kontinenten dokumentieren, über das Netz für die breitere Forschung zugänglich sein.

Der Nachlass von Professor Karl-Armin Tröger ist einer von 210 Nachlässen aus fünf Jahrhunderten, die in der UB Freiberg aufbewahrt werden. Alle wesentlichen Informationen zu Nachlässen finden Sie auf der Homepage der UB: <https://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/universitaetsbibliothek-5210/wa/nachlass.pdf>

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

- † Hans-Walter Grumm, Gerolstein
1.10.1939–30.01.2019
- † Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Roewer, Freiberg
14.12.1939–28.04.2019
- † Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Rolf Steinhardt, Freiberg
06.05.1928–09.05.2019
- † Dr.-Ing. Joachim Nitsche, Düsseldorf
30.01.1932–27.05.2019
- † Dipl.-Ing. Erdmann Günther, Schönwalde
03.06.1936–10.06.2019
- † Prof. Dr. Martin Guntau, Leipzig
12.10.1933–26.07.2019
- † Dipl.-Ing. Bernd Treffkorn, Augustusburg
12.02.1941–28.07.2019
- † Doz. Dr.-Ing. habil. Siegfried Förster, Freiberg
07.11.1932–06.08.2019
- † Johannes Hachenberger, Hannover
09.07.1937–21.08.2019
- † Dipl.-Ing. Lothar Schulz, Gotha
28.11.1929–11.09.2019

Bereits 2018 verstorben:

- † Dipl.-Ing. Günter Matthes, Luxemburg
04.01.1927–10.08.2018
- † Dr.-Ing. Peter Rehling, Aachen
27.01.1935–30.10.2018
- † Dipl.-Ing. Reg.Dir. a. D. Hans-Joachim W. Kutzer
Windach – 26.06.1938–16.12.2018
- † Dr. Ing. E. h. Franz Josef Rauhut, Bottrop
25.09.1927–19.12.2018

Nachruf auf Prof. Dr. Rolf Steinhardt

Am 9. Mai 2019 ist Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. Rolf Steinhardt im Alter von 91 Jahren verstorben. Er war von 1969 bis 1991 Professor für Industrieofenbau an der Bergakademie Freiberg.

Rolf Steinhardt wurde am 6. Mai 1928 in Erfurt geboren. Nach Militärdienst und Desertation absolvierte er nach Kriegsende eine Lehre als Elektroinstallateur. Dem folgte von 1948 bis 1951 ein Studium an der Ingenieurschule Ilmenau im Fach Elektrotechnik. Rolf Steinhardt gehörte zur ersten Gruppe von Studenten, die von der DDR zur Ausbildung in die Sowjetunion delegiert wurden. In den Jahren 1951 bis 1956 studierte er Industrieofentechnik an der Moskauer Hochschule für Stähle und Legierungen (MISiS). Dabei wurde er stark von der Allgemeinen Ofentheorie geprägt, die sein dortiger Lehrer Prof. Glinkov entwickelt hatte. Rolf Steinhardt lernte in Moskau seine Lebenspartnerin kennen und gründete mit ihr eine Familie.



Rolf Steinhardt
* 6. Mai 1928, † 9. Mai 2019

Ab 1956 arbeitete Rolf Steinhardt am Zentralinstitut der Metallurgie (ZIM) in Leipzig. Er wirkte dort maßgeblich an der Entwicklung des weltweit ersten Elektronenstrahl-Mehrkammerofens mit. Ab 1963 war Rolf Steinhardt für weitere fünf Jahre am MISiS tätig, wo er in einer Gruppe hochtalentierter junger Wissenschaftler arbeitete. Im Jahr 1968 promovierte er dort zum Doktoringenieur.

Am 1. September 1969 wurde er zum Ordentlichen Professor für Industrieofenbau im Wissenschaftsbereich Energietechnik der Bergakademie Freiberg berufen. Ab Ende der 1980er Jahre war er von schweren Erkrankungen und Operationen betroffen. Diese bedingten sein vorzeitiges Ausscheiden aus dem Berufsleben im November 1991.

Prof. Rolf Steinhardt hat sich um den Aufbau der Fachrichtung Industrieofenbau mit einer eigenständigen Freiburger Ausprägung verdient gemacht. Konstruktion

und Berechnung hat er als Einheit gehandhabt und durch maßgebliche Einbeziehung von Lehrkräften aus der Industrie außerordentlich fruchtbare Bezüge zur Praxis hergestellt. Praxissemester und Diplomarbeiten in der Industrie waren prägende Bausteine der Ausbildung. 248 Diplomingenieure für Industrieofenbau, 13 Doktoringenieure und drei Professoren sind aus seiner Schule hervorgegangen. Maßgebliche Themen in seiner Forschung waren die Messung der Wärmestrahlungseigenschaften von Oberflächen, Sauerstoffpartialdruckmessungen in Ofenatmosphären sowie die Entwicklung eines Hochtemperaturofens. Diese Themen haben ab 1991 einen äußerst erfolgreichen Start in die gesamtdeutsche Forschung gewährleistet. Gemeinsam mit Kollegen des MISiS hat Rolf Steinhardt das Fachbuch *Grundlagen der Industrieofentechnik* (Springer Verlag 1987) herausgegeben. Er wurde 1986 mit der Verdienstmedaille der Metallurgie, 1989 mit der Verdienstmedaille der Bergakademie, 2007 mit dem Orden der Russischen Föderation für Verdienste in der metallurgischen Wissenschaft ausgezeichnet und 2010 zum Ehrenprofessor des MISiS ernannt.

■ Gerd Walter und Hartmut Krause

Martin Guntau verstorben

Am 26. Juli 2019 ist der Mineraloge und renommierte Wissenschaftshistoriker Martin Guntau in Leipzig verstorben. Er wurde am 12. Oktober 1933 in Gilgenau (Ostproußen) geboren, legte 1953 in Ludwigslust das Abitur ab und nahm danach ein Mineralogiestudium an der Bergakademie Freiberg bei Friedrich Leutwein und Oscar Wilhelm Oelsner auf, das er 1958 mit dem Diplom abschloss. Anschließend war er bis 1961 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fernstudium an der Bergakademie. Nach einer Aspirantur für Philosophie und Geschichte der Naturwissenschaften bei Hermann Ley an der Humboldt-Universität zu Berlin wurde er mit einer Dissertation zu den Begriffen Aktualismus und Gesetz in den geologischen Wissenschaften zum Dr. phil. promoviert. Zurückgekehrt nach Freiberg, war er von 1964 bis 1976 Kustos der Geowissenschaftlichen Sammlungen der Bergakademie und gleichzeitig mit Lehrveranstaltungen und Forschungen zur Geschichte der Naturwissenschaften befasst. Mit einer Arbeit zu den Voraussetzungen und Bedingungen für das Entstehen der Geologie als naturwissenschaftliche Disziplin erlangte er wiederum an der Humboldt-Universität zu Berlin den



Martin Guntau
* 12. Oktober 1933, † 26. Juli 2019

akademischen Grad eines Dr. sc.phil. und begann im gleichen Jahr seine Tätigkeit als Dozent im Bereich Wissenschaftsgeschichte der Universität Rostock. Ab 1981 war er ordentlicher Professor und von 1986 bis 1989 Direktor der Sektion Geschichte an der dortigen Universität. Mit Aufhebung des Lehrstuhls trat er 1992 offiziell in den Ruhestand, war jedoch weiterhin auf seinem Forschungsgebiet engagiert. So sind die beiden mit anderen Fachkollegen herausgegebenen Veröffentlichungen zur Geschichte der Geowissenschaften in der DDR ganz wesentlich seinem persönlichen Engagement zu verdanken.

Martin Guntau war aktiv in der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften (GGW) der DDR tätig und leitete von 1976 bis 1983 den Arbeitskreis für Geschichte und Philosophie dieser Gesellschaft. Er ist Träger der Abraham-Gottlob-Werner-Ehrendnadel der GGW und

weiterer inländischer Auszeichnungen. Die naturwissenschaftliche Grundausbildung als Geowissenschaftler und die im Rahmen der weiteren Qualifizierung erworbenen philosophischen Erkenntnisse ermöglichten es Martin Guntau, Grundzüge der Naturwissenschaften in ihrem historischen und gesellschaftlichen Kontext zu analysieren und aufzuzeigen. Speziell seine Forschungen zu bedeutenden Geowissenschaftlern – wie Abraham Gottlob Werner und anderen – haben ihm hohe Wertschätzung in der internationalen Fachwelt eingetragen. Von 1976 bis 1984 war er Generalsekretär und von 1989 bis 1992 Präsident des International Committee on the History of Geological Sciences (INHIGEO). Das äußerte sich auch in Ehrungen und Auszeichnungen durch internationale Gremien. So erhielt er 1984 die Silbermedaille des Ministeriums für Geologie der UdSSR, 1993 den History of Geology Award der Geological Society of America und 1997 als erster Ausländer die Sue Tyler Friedman Medal der Geological Society of London.

Als Wissenschaftler im Grenzgebiet zwischen Naturwissenschaft, Wissenschaftshistorie und Philosophie hinterlässt Martin Guntau eine gravierende Lücke. Sein wissenschaftliches Vermächtnis wird in seinem umfangreichen Werk fortwirken.

■ Werner Pälchen, Manfred Störr,
Angela Kugler-Kießling

Universitätsmedaille für Professor Hans Michael Eßlinger

In Anerkennung seiner herausragenden wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Brauereitechnologie, seiner langjährigen Unterstützung von Lehre und Forschung an der TU Bergakademie Freiberg auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik sowie seines steten Eintretens für die Universität im öffentlichen Leben verlieh der Senat der TU Bergakademie Freiberg am 22. Januar 2019 Professor Dr.-Ing. Hans Michael Eßlinger die Universitätsmedaille der TU Bergakademie Freiberg.

Professor Eßlinger kam 1991 nach Freiberg, um hier eine neue Brauerei aufzubauen. Seit 1994 ist er der Universität als Mitglied und langjähriges Vorstandsmitglied des Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. verbunden. Seither unterstützt er die Universität mit Rat und Tat. So initiierte er unter anderem mehrere Forschungsprojekte zusammen mit dem Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik sowie dem Institut für Automatisierungstechnik. Seit 2005 hielt er zudem die Vorlesung „Brauereitechnologie“ für ingenieur- und naturwissenschaftliche Studiengänge. Ergänzend zu den Vorlesungen wurde unter seiner Anleitung 2004 ein Brauerei-Praktikum am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen aufgebaut, in dem die Studenten an die verfahrenstechnischen Grundoperationen des Brauvorgangs (enzymatischer Aufschluss, Lösungsprozesse, Trenn- und



Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht übergibt Prof. Eßlinger die Universitätsmedaille der TU Bergakademie Freiberg am 22. Januar 2019 im Senatssaal

Filtrationsprozesse, Gärprozess u. a.) und an die zugehörigen stofflichen und energetischen Bilanzierungen auf praktische Weise herangeführt werden. Aktuelle Projekte befassen sich u. a. mit der Reifung von Whisky unter Tage. Seit 2009 ist Professor Eßlinger auch als Honorarprofessor an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik tätig.

■ Ellen Weißmantel

Neue Professoren berufen

Dr. rer. oec. **Karina Sopp** zur Professorin für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Entrepreneurship und betriebswirtschaftliche Steuerlehre an der Fakultät 6 zum 01.03.2019

Dr.-Ing. **Martin Sobczyk** zum Professor für Vernetzte Mobile Arbeitsmaschinen an der Fakultät 4 zum 01.07.2019

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

60. Geburtstag

- Prof. Dr. Drebenstedt, Carsten, Weißwasser
- Dipl.-Ing. Gerhardt, Hans-Peter, Haldensleben
- Dipl.-Ing. Hanke, Michael, Gutenberg
- Dipl.-Ing. Hartmann, Jörg, Elterlein
- Prof. Dr. Jasper, Heinrich, Dortmund
- Dipl.-Ing. Kriebel, Peter, Halle
- Prof. Dr.-Ing. Kudla, Wolfram, Dresden
- Dipl.-Ing. Ludwig, Andreas, Weißenborn
- Dr.-Ing. Piefke, Klaus, Vienenburg
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rehkopf, Andreas, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. Reich, Matthias, Freiberg
- Dr. Scharf, Andreas, Freiberg
- Dr. oec. Schellbach, Sabine, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schneider-Kühn, Uwe, Duisburg
- Prof. Dr. habil. Schulz, Bernhard, Neunkirchen am Brand
- Dr. rer. nat. Schwandtke, Annette, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Seifert, Thomas, Werdau
- Prof. Dr. habil. Tichomirowa, Marion, Freiberg
- Dr.-Ing. Vetter, Dirk, Ellich
- Dr.-Ing. Winter, Ulrich, Matzen

65. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Abel, Doris, Zwickau
- Dr. rer. nat. Dipl.-Geologin Binde, Gisela, Berlin
- Herr Bode, Rainer, Salzhemmendorf
- Dr.-Ing. Braun, Roland, Schwielowsee
- Dipl.-Ing. Burkhardt, Walther, Bernburg
- Prof. Dr. rer. nat. Eiermann, Michael, Dresden
- Herr Hausteil, H.-Peter, Deutschnendorf
- Prof. Dr. Hebisch, Udo, Niederbobritzsch
- Dipl.-Ing.-Ök. Hübner, Sonja Anna, Gablenz
- Dipl.-Ing. Irmscher, Hans-Jürgen, Dresden
- Dipl.-Ing. Kern, Hartmut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Pietzsch, Andreas, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schönherr, Bernd, Flöha
- Dipl.-Chem. Vogel, Peter, Colditz
- Dr. rer. nat. Wagner, Gunter, Freiberg
- Dr. Wilde, Marion, Potsdam

70. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Barth, Gerald, Freiberg
- Dipl.-Ing. (FH) Berg, Jochen, Halle/Saale
- Dipl.-Ing. Eisenschmidt, Ehrfried, Zeitz
- Dr.-Ing. habil. Goedecke, Manfred, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Heß, Ralf, Panketal
- Dr. rer. nat. Jansen, Uwe, Freiberg
- Dipl.-Ing. Kallnischkies, Wolfgang, Fürstenwalde
- Dipl.-Ing. Kirmse, Wolfram, Leipzig
- Dipl.-Ing. Knebel, Thomas, Leipzig
- Dipl.-Ing. Knöbel, Helmut, Freiberg
- Dr. rer. nat. Kubier, Bernd, Freiberg
- Prof. Dr. Merkel, Broder, Freiberg
- Herr Neumann, Knut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Plagemann, Werner, Bochum
- Dipl.-Ing. Röder, Ronald, Elsterau
- Prof. Dr.-Ing. habil. Scheller, Piotr, Radebeul
- Dr.-Ing. Schlegel, Joachim, Hartmannsdorf
- Dr.-Ing. Straßberger, Lothar, Ahrensfelde
- Dr.-Ing. Wagner, Rolf Michael, Gommern
- Dr. rer. nat. Walter, Hans-Henning, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Weiß, Andreas, Freiberg
- Dipl.-Ing. Wohlmuth, Helmut, Weida

75. Geburtstag

- Dr. h. c. Engel, Frank-Michael, Starnberg
- Dr.-Ing. Hagel, Hans-Joachim, Erfurt
- Dr.-Ing. Hauenherm, Werner, Leipzig
- Dr.-Ing. Henkel, Reinhard, Gera
- Dipl.-Ing. Heschl, Gernot, Drebber
- Dr.-Ing. Höhne, Detlef, Freiberg
- Dr.-Ing. Irmer, Klaus, Oberschöna
- Dr. sc. Koch, Lutz, Lutherstadt Eisleben
- Dipl.-Ing. Lieder, Hans Jürgen, Jena

- Dipl.-Ing. Lindlahr, Wolf-Jürgen, Königs Wusterhausen
- Dr.-Ing. Schönherr, Dieter, Senftenberg/See
- Dipl.-Ing. Seifert, Eberhard, Meißen
- Dipl.-Ing. Weck, Arno, Königs Wusterhausen
- Prof. Dr. Wickenhäuser, Fritz, München

80. Geburtstag

- Dr. rer. oec. Breiter, Bernhard, Erfurt
- Dipl.-Ing. Bretschneider, Conrad, Rudolstadt
- Dipl.-Ing. Götz, Dieter, Weißenfels
- Prof. Dr. Henkel, Egon Hermann, Essen
- Dipl.-Ing. oec. Bauing. Hensel, Horst, Berlin
- Dipl.-Ing. Herrmann, Rolf, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Jähmig, Klaus, Freiberg
- Dipl. Verw.-wirt Karner, Karl, Burglengenfeld
- Dr. oec. Klünder, Ekkehard, Wolfach
- Dr.-Ing. Kühnel, Günter, Oberschöna
- Prof. i. R. Lohmann, Karl, Emden
- Dipl.-Ing. Mohnke, Klaus, Kolkwitz
- Dipl.-Ing. Moye, Udo, Habichtswald-Ehlen
- Prof. Dr.-Ing. habil. Neuhof, Gerd, Wernigerode
- Dr.-Ing. Nobis, Karl-Heinz, Königs Wusterhausen
- Prof. Dr. rer. nat. Obermeier, Frank, Rosdorf
- Dr. Dipl.-Min. Ossenkopf, Peter, Freiberg
- Doz. Dr. sc. oec. Pönitz, Eberhard, Freiberg
- Dipl.-Ing. Proksch, Josef, Leipzig
- Dr.-Ing. Reuter, Edgar, Leipzig
- Dipl.-Ing. Richter, Manfred, Neuhausen
- Dr.-Ing. Scheffler, Dietrich, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. Schirmeister, Ekkehard, Ballenstedt
- Dr. Schmid, Karl, Berlin
- Dr.-Ing. Schütter, Wieland, Markkleeberg
- Dr.-Ing. Seifert, Günter, Hoyerswerda
- Prof. Dr.-Ing. Steckelmann, Hans-Werner, Schwerin
- Prof. Dr.-Ing. Steinmann, Klaus, Essen
- Dipl.-Ing. Ullmann, Rainer, Weißenfels
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Vulpius, Rainer, Brand-Erbisdorf
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolf, Dieter, Berlin
- Dipl.-Ing. Zabel, Helmut, Wolmirstedt

81. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bayer, Manfred, Oberschöna
- Dipl.-Ing. Berger, Klaus, Fulda
- Dr.-Ing. Bittner, Horst, Wilsdruff
- Dipl.-Ing. Bormann, Frank, Großpönsa
- Prof. Dr.-Ing. habil. Born, Manfred, Freiberg
- Dipl.-Ing. Egemann, Heinz, Aschersleben
- Dr.-Ing. Engelhardt, Reiner, Freiberg
- Dr.-Ing. Eulenberger, Karl-Heinz, Freiberg
- Dipl.-Ing. Fischer, Rudolf, Kassel
- Dr.-Ing. Hempel, Dieter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Herold, Horst, Taucha
- Dipl.-Ing. (FH) Illing, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Kirchberg, Wolfgang, Limbach-Oberfrohna
- Dipl.-Ing. Kloppe, Klaus, Berlin
- Dr.-Ing. habil. Kohlstock, Harald, Freiberg
- Dr. sc. oec. Kretzer, Johannes, Freiberg
- Dipl.-Ing. Link, Joachim, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lust, Alfred, Dahlewarleben
- Prof. Dr.-Ing. habil. Michel, Wolfgang, Magdeburg
- Dr.-Ing. Papendick, Gero, Freiberg
- Dr. Dipl.-Geol. Richter, Horst, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schneider, Klaus, Berlin
- Dr.-Ing. Seifert, Harald, Freiberg
- Prof. i. R. Dr. oec. habil. Slaby, Dieter, Freiberg
- Dr.-Ing. Wehrsig, Hartmut, Freiberg
- Dr.-Ing. Zichel, Joachim, Markkleeberg
- Dipl.-Ing. Dr. oec. Zinke, Hans-Georg, Freiberg

82. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Albrecht, Fritz, Leipzig
- 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. Eger, Wolfgang, Langenfeld/Rheinland
- Dr. med. habil. Freiesleben, Heiner, Lübeck
- Prof. Dr.-Ing. Gatzweiler, Rimbart, Saarbrücken
- Dr. Hein, Stefan, Freiberg
- 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
- Doz. Dr.-Ing. habil. Schab, Dietmar, 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

83. Geburtstag

- Dr.-Ing. habil. Altmann, Walter, Leipzig
- Dr. Bechstein, Dietrich, Delitzsch
- Prof. em. Dr.-Ing. Fenk, Jürgen, Dresden
- 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. Oehlstörer, 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
- Assessor des Bergfachs Wahnschaffe, Horst, Essen
- Prof. Dr.-Ing. habil. i. R. Wiehe, Jürgen, Freiberg
- Dr.-Ing. Zschoke, Klaus, Freiberg

84. 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. Kraube, Armin, Freiberg
- Dipl.-Ing. Lehmann, Rudolf, Borna
- Oberlehrer i. R. Menzel, Ernst, Freiberg
- Dr.-Ing. Müller, Helmut, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg

85. 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, Lichtenanne
- Prof. Dr.-Ing. habil. Köpse, 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

86. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. habil. Bilkenroth, Klaus-Dieter, Hohenmölsen
- Prof. em. Dr. Dr. h. c. Förster, Wolfgang, Halsbrücke
- Dr.-Ing. Hahn, Manfred, Freiberg
- Dr.-Ing. Harzt, Dietmar, Freiberg
- Markscheider i. R. Dipl.-Ing. König, Dietrich, Lübbenau
- Doz. Dr.-Ing. Krüger, Walter, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Piatkowiak, Norbert, Großschirma
- Dr.-Ing. Rocktaeschel, Gottfried O., Dresden-Neustadt
- Dr.-Ing. Schmidt, Tankred, Hoyerswerda
- Dipl.-Ing. Textor, Horst-Ulrich, Mülheim a. d. Ruhr

87. Geburtstag

- 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
- Dr. oec. Mitzinger, Wolfgang, Berlin
- Dipl.-Ing. Schölzel, Helmut, Muldestausee
- Prof. Dr.-Ing. habil. Straßburger, Christian, Dinslaken

88. Geburtstag

- Prof. Dr. rer. nat. habil. Brand, Paul, 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. Schaeff, Hans Jürgen, Dresden
- Dr.-Ing. Träger, Heiner, Büdingen

89. Geburtstag

- Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
- Prof. i. R. Dr. Franek, Heinzjoachim, Dresden
- Prof. Dr. Heyne, Karl-Heinz, Leipzig
- Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
- 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
- Assessor des Bergfachs Worringer, Dieter, Essen

90. 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

91. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhoß
- Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
- Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden

92. Geburtstag

- Herr Flach, Siegfried, Damme
- Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Claus Martin, Berlin

93. Geburtstag

- Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg

94. Geburtstag

- Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen

95. Geburtstag

- Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

96. Geburtstag

- Dipl.-Ing. Hagelüken, Manfred, Erfstadt-Bliesheim

99. Geburtstag

- Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

Geburtstagsjubiläen nach dem 30. November 2019:

- Dr. Feuring, Armin, Chemnitz – 60 Jahre
- Prof. Dr.-Ing. Krause, Hartmut, Freiberg – 60 Jahre
- Dr. Mörters, Ulrike, Freiberg – 60 Jahre
- Herr Meyer, Henning, Dresden – 65 Jahre
- Dipl.-Betriebswirt Wiesner, Christoph, Freiberg – 65 Jahre
- Dipl.-Ing. Kammel, Dieter, Freiberg – 70 Jahre
- Dipl.-Ing. Körber, Siegfried, Jämlitz – 70 Jahre
- Doz. Dr.-Ing. habil. Graichen, Klaus, Freiberg – 75 Jahre
- Dipl.-Ing. (FH) Klinger, Horst, Markkleeberg – 80 Jahre
- Dipl.-Ing. Sierich, Volker, Saalfeld – 80 Jahre
- Dr. Pälchen, Werner, Halsbrücke – 81 Jahre
- Dr. oec. Trillhose, Andreas, Freiberg – 81 Jahre
- Dipl.-Ing. Tobies, Alfred, Freiberg – 83 Jahre
- Dr. Hildmann, Eckart, Fulda – 84 Jahre
- Dipl.-Ing. Ök. Richter, Heinz, Großschirma – 84 Jahre
- Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldswalde – 84 Jahre
- Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin – 87 Jahre
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera – 88 Jahre
- Dipl.-Geologe Waltemate, Günther, Eichwalde – 88 Jahre
- Dr. rer. nat. Dipl.-Geophys. Hiersemann, Lothar, Leipzig – 90 Jahre
- Dipl.-Ing. Hülsenbeck, Otto, Leipzig – 90 Jahre
- Prof. i. R. Köhler, Johannes, Olbersdorf – 94 Jahre

Herzliche Glückwünsche und Glückauf allen Jubilaren!



Peter Czolbe: Steinbogenbrücke im Striegistal nahe der Hammermühle, Aquarell, 2019