ACAMONTA

Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg

27. Jahrgang 2020

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

2020 – das Jahr, in dem die Covid-19-Pandemie unsere Welt in einen Ausnahmezustand versetzte, wird uns als eine Zeit tiefgreifender Transformationen in Erinnerung bleiben. Die von der Regierung auferlegten Beschränkungen der individuellen Bewegungsfreiheit und der sozialen Kontakte in unterschiedlichen Intensitäten seit dem Monat März brachten neue Alltagserfahrungen und beeinflussten unsere Arbeitswelt in ungeahntem Ausmaß. Innerhalb kürzester Zeit veränderten sich Arbeitsorte und -abläufe; es wurde mit neuen Formen der internen und externen Zusammenarbeit, der Wissensvermittlung und des -austauschs experimentiert.

Dass die Krise insbesondere als Beschleuniger von Digitalisierungsprozessen wirkte, zeigen die neuen Formate und Formen, die seit Beginn des Sommersemesters 2020 an der TU Bergakademie Freiberg in der Lehre Einsatz finden. Über diese neue Phase des Studienbetriebs, damit einhergehende Herausforderungen und Auswirkungen geben in der vorliegenden Ausgabe der ACAMONTA die Beiträge von Prof. Silvia Rogler (ab S. 79), Yulia Dolganova und Prof. Urs Peuker (ab S. 80) sowie des Studenten Andreas Müller Auskunft (ab S. 79). Auf den hohen Stellenwert, den die Digitalisierung auch in Zukunft in Lehre und Forschung an der TU Bergakademie einnehmen wird, wies der am 26. Mai 2020 für eine zweite Amtszeit gewählte Rektor Prof. Klaus-Dieter Barbknecht in seiner Rede zur Investitur, die bezeichnenderweise in einem Hybrid-Format am 14. Oktober stattfand, hin (ab S. 6). Ein Beispiel für die fortschreitende Digitalisierung in der Forschung wird in dem Beitrag zur Entwicklung von Digitalisierungsstandards für geowissenschaftliche Sammlungsobjekte durch eine ESF-Nachwuchsforschergruppe um Dr. Ilja Kogan vorgestellt (ab S. 70).

Als Ressourcenuniversität liegt einer der Schwerpunkte in Forschung und Lehre der TU Bergakademie Freiberg in der Sensibilisierung des Nachwuchses sowie in der Erarbeitung von Lösungsansätzen für einen verantwortlichen Umgang mit den endlichen Ressourcen unserer Erde. Um Antworten auf die damit verbundenen drängenden Zukunftsfragen zu finden, arbeiten Wissenschaftler aller Fakultäten unserer Universität vielfach in interdisziplinären Teams zusammen beziehungsweise stützen sich auf interinstitutionelle Kooperationen. Letztere werden am Standort Freiberg insbesondere mit dem Helmholtz-Institut für Ressourcentechnologie und dem EIT Raw Materials gepflegt (siehe Beiträge ab S. 22, S. 44 und S. 45).

Neben der Präsentation von aktuellen Forschungsprojekten aus allen Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg liegt ein Fokus diesmal auf der Ressource „Wasser“, wie Ausführungen zu Grundwasserressourcen des BGR-Präsidenten Prof. Ralph Watzel (ab S. 15), zur selektiven Entfernung von Mikroplastik (ab S. 18), zur regenerativen Energiegewinnung aus Grubenwässern (ab S. 47) oder zu dem von Prof. Traugott Scheytt ins Leben gerufenen Zentrums der Wasserforschung (ab S. 104) zeigen.

Die Bedeutung, die Stiftungen schon seit Jahren für die Realisierung von Forschungsprojekten an der TU Bergakademie haben, wird anhand der Vorstellung eines vom BMBF geförderten FHP -Anschlussprojekts durch Dr. Kevin Keller (ab S. 9) deutlich. An dieser Stelle sei insbesondere Frau Dr. Krüger gedankt, die die Herausgabe der ACAMONTA auch in diesem Jahr wieder finanziell unterstützt.

Die Covid-19-Pandemie brachte nicht nur für die Lehre Einschränkungen, auch der Ausstellungsbetrieb und die Durchführung von Jubiläumsveranstaltungen waren betroffen. Trotz des um mehrere Monate verschobenen Eröffnungstermins kann der auf der Reichen Zeche angesiedelte „Schauplatz Erz“ der 4. Sächsischen Landesausstellung mit seinen unter- und übertägigen Besuchsangeboten als voller Erfolg gewertet werden, wie aus den Beiträgen von Prof. Helmut Mischo (ab S. 119) und Prof. Carsten Drebenstedt (ab S. 120) hervorgeht. Für an der Historie Interessierte sei auf die Ausführungen zu Jubiläen im Jahr 2020 wie dem 300. Geburtstag des Bergakademie-Gründers Friedrich Wilhelm von Oppel und „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht“ von Dr. Andreas Benz (ab S. 157) und Stefanie Preißler (S. 171) verwiesen. Darüber hinaus finden sich anlässlich der Fertigstellung des Ensembles Schloßplatzquartier Anmerkungen zum Leben und Wirken von Dietrich von Freiberg von Dr. Norman Pohl (ab S. 166).

Liebe Leserinnen und Leser, für das kommende Jahr wünsche ich Ihnen gute Gesundheit! Bleiben Sie unserer Universität auch weiterhin verbunden und haben Sie viel Freude beim Lesen!
Ihre Annett Wulkow Moreira da Silva

Geleitwort des Rektors (K.-D. Barbknecht) ... 4

Rektorat TU Bergakademie Freiberg

Rektor bestreitet 2. Amtszeit und neues Prorektorat gewählt (Pressestelle TU Bergakademie Freiberg/L. Rischer) ... 5
Rede zur Investitur von Rektor Klaus-Dieter Barbknecht an der TU Bergakademie Freiberg am 14. Oktober 2020 ... 6

Stiftungen

Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe – Mit Hochdruck an neuen Materialien forschen! (K. Keller) ... 9
Aktuelles über die Stiftung „TU Bergakademie Freiberg“ (M. Klescinska, U. Unger) ... 13

Forschung an der TU Bergakademie Freiberg

Grundwasserressourcen im Licht des globalen Wandels (R. Watzel) ... 15
Ein innovatives Erkennungs- und Abscheideverfahren für Mikroplastik (R. Schwarze, E. Thom, M. Heinrich et al.) ... 18
Organisch modifizierte Tonminerale – zielorientierte Entwicklungen zur Eliminierung von umweltschädigenden PFAS (P. Scapan, A. C. Guhl, B. Haist-Gulde et al.) ... 19
Prädiktive Geometallurgie in Freiberg – von „Virtual Twins“ und Prozessoptimie (K. Bachmann, L. Pereira et al.) ... 22
Mathematische Unsicherheitsquantifizierung (B. Sprungk) ... 26
Der große „Lauschangriff“ (A. Weidner, H. Biermann) ... 30
Zwölf Jahre erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit im SFB 799 – das Teilprojekt Ö (M. Enke, I. Luther) ... 34
Energieeffiziente Leistungselektronik (V. Garbe, S. Seidel, C. Röder, A. Schmid, J. Heitmann) ... 36
Recycling von Li-Ionen-Batterien – eine Herausforderung für die Aufbereitungstechnik (U. A. Peuker) ... 39
Start des Verbundvorhabens „ProBaSol – Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung“ (H. Stöcker, B. Abendroth, T. Lemser et al.) ... 41
Effiziente Rohstoffaufbereitung mit Hochspannungsimpulsen (H. Lieberwirth, M. Mezzetti) ... 42
EIT RawMaterials Projekt „RoStar“ – Entwicklung des Prototyps einer Feinstmühle (A. Hesse) ... 44
Bergbauexploration einmal anders: ein europäisches Projekt, um neue Werte in den Sektor zu bringen (M. Kirsch, R. Gloaguen, L. Ajjabou) ... 45
Regenerative Energiegewinnung aus Grubenwasser (L. Oppelt, S. Pose, T. Grab et al.) ... 47
Spillover-Effekte in Energiemärkten – eine empirische Analyse am Beispiel des australischen Strommarkts (B. Aust) ... 51
Business-to-Business Marketing an der TU Bergakademie Freiberg (A. Leischnig) ... 55
Denkmalschutz aus der Perspektive des Rechts (M. Wormit) ... 56
Historischen Gläsern auf der Spur (A.-V. Bognár, G. Heide, Y. Ramdani et al.) ... 59
Das Erzgebirge vor 320 Millionen Jahren, Migration von Fledermäusen und mittelalterliche Gräber – Isotope machen verdeckte Spuren sichtbar (M. Tichomirowa) ... 64
Roboter für das Wasser der Zukunft (L. Jarosch, S. Pose, S. Reitmann et al.) ... 66
„G.O.D.S.“ – eine Nachwuchsforschergruppe entwickelt Digitalisierungsstandards für geowissenschaftliche Sammlungsobjekte (I. Kogan, G. Heide) ... 70
Roboter und Internet der Dinge in untertägigen Anlagen (ARIDuA) (F. Schreiter, R. Lösch, S. Grehl et al.) ... 73

Studium

Weiterentwicklung des Studienangebots an der TU Bergakademie Freiberg (S. Rogler) ... 78
Aufrechterhaltung der Lehre in einer Sondersituation – Standby-Betrieb einer Universität (S. Rogler) ... 79
Digitalisierung in der Lehre (Y. Dolganova, U. A. Peuker) ... 80
Mein Sommersemester 2020 (A. Müller) ... 82
Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg: Corona-Hilfsfonds für Studierende ... 83
Teamarbeit lernen – im Team lernen – Gruppenorientiertes Arbeiten in der Informatik (S. Zug, A. Dietrich, G. Rudolf, J. Treumer) ... 84
Forschungsreisen auf Humboldts Spuren: Entdecke die Vielfalt der Kleinen Fächer in Freiberg (E. Weißmantel) ... 87
Weihnachtsvorlesungen – nur Spaß oder innovative Lehrinhaltsvermittlung? (M. Kröger) ... 88
Exkursion zu den Lagerstätten des Iberischen Pyritgürtels 2019 (T. Seifert, P. Krolop, B. Fritzke) ... 89

Universität aktuell

FOUNDress – Das Sensibilisierungsprogramm für (potenzielle) Gründerinnen an der TU Bergakademie Freiberg (K. Sopp, I. Schulze) ... 99
Neue Angebote zur Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg (A. Uhlmann, J. Grigoleit) ... 100
Transfer zwischen Theorie und Praxis – zu ausgewählten Praxisprojekten aus den Erfahrungen einer Marketingprofessur (M. Enke, J. Sachse) ... 102
Innovative Schulungsideen für den Rohstoffbereich gesucht! (W. Zank) ... 103
Kompetenzbündelung im Zentrum für Wasserforschung (T. Scheytt, J. Grigoleit) ... 104
20 Jahre Internationales Universitätszentrum (IUZ) (I. Lange) ... 105
Auslandsstudium in der Corona-Zeit (A. Weigl) ... 107
Aktuelle Entwicklungen zum Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) (D. C. Meyer, B. Abendroth, T. Lemser) ... 108
Verbesserung der Studienbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg – Neubau Bibliothek und Hörsaalzentrum (J. Then) ... 110
Kunst am Bau: „Bergparade“ (M. Krenz) ... 112
City – Campus – City: TU Bergakademie Freiberg (A. Mensing-de Jong, K. Racoń-Leja, P. Kowalski et al.) ... 113
SilberBoom – 4. sächsische Landesausstellung in Freiberg (H. Mischo) ... 118
Rohstoffbewusstsein stärken – Vom Salz des Lebens (C. Drebenstedt, K. Kleeberg) ... 120
Die Sammlung Siegfried Flach in den Geowissenschaftlichen Sammlungen (A. Massanek, C. Kehrer, B. Gaitzsch et al.) ... 124
Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg verstorben – Trauer um Siegfried Flach (Andreas Massanek) ... 128
Die Rettung einer Spezialbibliothek (S. Nagel) ... 129
Änderungen im Hochschulrat (E. Weißmantel) ... 131
Sächsischer Verdienstorden für Bergassessor Dr. Achim Middelschulte (R. Schmidt) ... 131
TU Bergakademie Freiberg ist Mitglied der Europäischen Universität „Verantwortungsvoll konsumieren und produzieren“ (C. Drebenstedt) ... 132
„Eine lebensverändernde Chance“ – Erfahrungen aus zehn Jahren Kooperation mit dem Irak (M. Junghans, T. Mayer, A. Kadauw et al.) ... 133

Abschluss des „Deutsch-Russischen Themenjahres der Hochschulkooperation und Wissenschaft“ (B. Seidel-Bachmann) 135

Aus dem Vereinsleben

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2019 (H.-J. Kretzschmar) 137
Netzwerk, News und Events – Jahresrückblick des Freiberger Alumni Netzwerks (FAN) (S. Preißler, C. Bornkampf) 139
Die Feststoffchlorierung – Ein neues Verfahren für das Recycling Seltener Erden (T. Lorenz) 141
Intermetallische Phasen und Phasenbildung während der Erstarrung von Fe-haltigen Al–Si-Legierungen mit Mg, Mn und Cr – Ein Beitrag zum Recycling von Al–Si-Legierungen (H. Becker) 143
Zweidimensionale axialsymmetrische Vorwärtsmodellierung für transient-elektromagnetische Felder mit Finiten Elementen (C. Schneider, R.-U. Börner, K. Spitzer et al.) 145
Chemiresistoren aus Goldnanopartikeln vernetzt mit linearen und zyklischen Molekülen (A. Schweren) 148
Erfahrungen eines Barbarbastipendiaten (R. Muhrez) 150
Für ein Jahr an der Sankt Petersburger Bergbauuniversität (C. Faist) 151
Kurzbericht zum Field Trip nach Südafrika (M. Poralla) 152
Praktikum in Busan, Südkorea (L. Lange) 152
Auf Zinnerkundung im polnischen Isergebirge (H. Lippke) 153
Information zur Günter Heinisch-Stiftung (H.-J. Kretzschmar) 154
Interdisziplinäre Ausbildung angehender Ingenieure – Das Racetech Racing Team (L. Windler) 155

Historie

300. Geburtstag von Friedrich Wilhelm von Oppel (A. Benz) 157
Zum 375. Geburtstag von Hans Carl von Carlowitz, dem Schöpfer des Begriffs der „Nachhaltigkeit“ (G. Grabow) 158
Die geologischen Karten Leopold von Buchs (P. Kühn) 159
Freiberger Studententage – 1 plus 1 macht 48 (T. Schmalz) 160
Zum 100. Geburtstag von Professor Hans Jürgen Rösler (W. Pälchen) 162
Kleine Laudatio für einen Archivar mit Leib und Seele: Roland Volkmer (N. Pohl) 163
Adolph Mezger – Ein Botschafter Freibergs im Land der aufgehenden Sonne (P. Hauschild) 164
Am Ende des Regenbogens – Anmerkungen zu Dietrich von Freiberg (N. Pohl) 166
Kabinettausstellung zu Dr. Moritz „Don Mauricio“ Hochschild (S. Preißler) 171
Humboldt als Mineraloge und Geologe in den fränkischen Fürstentümern Ansbach und Bayreuth (F. Naumann) 172
Der Freiberger Professor und der Bergakademist im Lichte der Uniformierung des sächsischen Bergstaates (K. Neumann) 178
Markgraf Otto von Meißen, sein Silber und seine Münzstätte Freiberg (T. Arnold, H. Friebe) 183
Chronik 2021 (R. Volkmer) 185

Personalia

Neuberufungen ab November 2019 186
Neuer Honorarprofessor für Meeresbergbau (Marine Mining) an der TU Bergakademie Freiberg (C. Drebenstedt) 187
Ehrenpromotion Professor Dr. mont. Dipl.-Ing. Peter Moser (C. Drebenstedt) 189
Markscheider Kurt Beyer – zum 100. Geburtstag (J. Fenk) 191
Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder 192
Nachruf auf Prof. Dr.-Ing. habil. Armin Krauße (H. Gerhardt, G. P. Rosetz) 192
Nachruf auf den Ehrensenator der TU Bergakademie Freiberg Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Bilkenroth (C. Drebenstedt) 193
Nachruf auf Prof. Dr. Edwin Weber (W. Seichter, R. Pollex, M. Mazik) 195
Der Isotopengeochemiker Prof. Dr. habil. Joachim Pilot ist mit 91 Jahren verstorben (M. Tichomirowa) 195
Nachruf für Prof. Dr.-Ing. habil. Gottfried Gneipel (G. Grabow) 196
Nachruf Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Willmann (J. Kertzscher) 197
Nachruf für den Ehrensenator Dr.-Ing. habil. Harald Kohlstock (F. Häfner, D. Stoyan, G. Unland) 197
Nachruf für Alt-Oberbürgermeister Konrad Heinze (F. Häfner) 199
Nachruf für Prof. Dr. habil. Joachim Hofmann Klaus Stanek, Christoph Breitkreuz, Jörg Schneider 199

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder 200
Autorenverzeichnis 203
Terminankündigung 204

ERRATUM
Das Geburtsdatum von Prof. Roewer wurde in der ACAMONTA 2019, S. 5., fälschlich mit dem 14.12.1935 angegeben. **Richtig ist:** Prof. Dr. Gerhard Roewer wurde am 14. Dezember 1939 geboren. Wir bedauern diesen Fehler.

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@zuv.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. Peter Seidelmann, Dipl.-Slaw. Birgit Seidel-Bachmann, Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Prof. Dr. Ulrich Groß
Rubriken-Titelbilder: Seite 14: Künstliche Datengenerierung zur Gewinnung von Trainingsbeispielen zum Anlernen einer Künstlichen Intelligenz (Ausschnitt), © Stefan Reitmann; Seite 98: Neues Hörsaalgebäude Prüferstraße, Ansicht im Innenhof, Foto: Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg; S. 136: Gesellschaft der Freunde der Bergakademie Freiberg, Gründungsaufruf, Universitätsarchiv: GF 21;
Rubriken-Titelbilder: S. 156: Stufenkabinett im Eingangsbereich des Oppelschen Wohnhauses, © TU Bergakademie Freiberg
Gestaltung/Satz: Brita Gelius
Druck: Erzdruck GmbH, Marienberg
Auflage: 1.300
Die ACAMONTA 2020 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 verantwortlich für die Verwendung namentlich nicht gekennzeichneter 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.
Autorenverzeichnis: Aus Gründen des Platzbedarfs werden im Autorenverzeichnis die akademischen Grade der Autoren in vereinfachter Form dargestellt.
© Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V., 2020
ISSN 2193-309X

Universitäten tragen für die Gestaltung von Transformationsprozessen ein hohes Maß an gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Verantwortung. Dieser müssen wir uns gerade mit Blick auf die fortschreitende Technologisierung und dem damit verbundenen Energie- und Ressourcenbedarf auf der Welt einmal mehr bewusst sein. Denn es liegt an uns, das wachsende Engagement und das Umdenken im Bereich Klima, Umwelt und Ressourcen bei der jüngeren Generation, den Studierenden und Auszubildenden von morgen, zu nutzen und weiter zu fördern.

Wir wissen, dass eine gesunde Umwelt die entscheidende Voraussetzung für das Leben auf der Erde ist und forschen deshalb für weniger Abfall, für moderne umweltschonende Verfahren zur Ressourcengewinnung und -verarbeitung sowie für die Materialien und Werkstoffe der Zukunft. Wir wollen den zukünftigen Generationen einen gesicherten Wohlstand in einer gesunden Umwelt ermöglichen und bilden.

Den Vorschlägen der „Fridays for Future"-Bewegung trägt unsere Hochschule beispielsweise nicht nur heute, sondern schon seit jeher Rechnung. Seit ihrer Gründung entwickelt die TU Bergakademie Freiberg im Rahmen ihrer Profillinien Konzepte für eine bessere Zukunft und stellt sich den Themen einer nachhaltigen Stoff- und Energiewirtschaft.

Als die Ressourcenuniversität in Deutschland begreifen wir an der TU Bergakademie Freiberg Natur, Ressourcen, Material und Werkstoffe als Grundvoraussetzungen für eine lebenswerte Zukunft. Daher arbeiten wir gemeinsam mit nationalen und internationalen Partnern an der Entwicklung modernster Technologien und Verfahren für eine nachhaltige Nutzung unserer wertvollen Ressourcen. Dabei stellen sich die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aller sechs Fakultäten nicht nur den ökologischen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, sondern nehmen zeitgleich die ökonomische Umsetzung für den Wirtschafts- und Industriestandort Deutschland in den Blick.

Mit diesem umfassenden Know-how unterstützen wir an der TU Bergakademie Freiberg nicht nur die Politik als Berater und die Wirtschaft in Sachsen, Deutschland und weltweit als Forschungspartner, sondern bilden in zukunftsorientierten und anwendungsbezogenen Studiengängen gefragte Wirtschafts-, Natur- und Ingenieurwissenschaftler mit Weitblick und Gewissen aus; und das nicht nur national, sondern international. Mit 27 Prozent weisen wir im Vergleich zu anderen Universitäten einen sehr hohen Anteil internationaler Studierender auf und beschäftigen überdurchschnittlich viele ausländische Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sowie Professoren und Professorinnen. Damit trägt die Universität zu einem positiven Bild von Deutschland und Sachsen bei.

Diese und viele weitere Faktoren machen deutlich, dass die Technische Universität Bergakademie Freiberg ihre Aufgaben in Forschung und Lehre erfüllt und das Bild der Universitätsstadt Freiberg auf verschiedenste Weise positiv prägt.

In der aktuellen ACAMONTA bekommen Sie einen Einblick in verschiedenste Aspekte von der Geschichte über aktuelle Forschungsprojekte bis hin zu den immer weiter wachsenden Studienmöglichkeiten der TU Bergakademie Freiberg.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre.

Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht,
Rektor der TU Bergakademie Freiberg

© TU Bergakademie Freiberg/Crispin I. Mokry

Der Campus der TU Bergakademie Freiberg im Oktober 2019

Rektor bestreitet 2. Amtszeit und neues Prorektorat gewählt

2. Amtszeit für Prof. Dr. Barbknecht

Am 26. Mai hat der Erweiterte Senat der TU Bergakademie Freiberg die Wahl des Rektors vollzogen. Nach einem Wahlgang stand fest, dass Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht wiedergewählt wurde und das Amt für die nächsten fünf Jahre erneut innehat. Er setzte sich am Ende mit 61 Stimmen durch. Seine zweite Amtszeit begann nach der Ernennung durch das SMWK am 21. Juli 2020, sie endet am 20. Juli 2025. Wahlberechtigt waren ausschließlich die Mitglieder des Erweiterten Senats der Universität. Dieser besteht aus den stimmberechtigten Mitgliedern des Senats sowie den in den Erweiterten Senat gewählten Vertretern der Hochschullehrer, der akademischen Mitarbeiter, Studierenden und sonstigen Mitarbeitern. Von den 95 anwesenden Mitgliedern des Erweiterten Senats stimmten 61 für Prof. Barbknecht und 34 für Prof. Drebenstedt. Beide Kandidaten hatten sich im Vorfeld universitätsintern vorgestellt und dabei ihre Ziele und Vorstellungen präsentiert. Nach der Verkündung des Wahlergebnisses beglückwünschten der amtierende Kanzler Jens Then als Wahlleiter und Prof. Reinhard Schmidt, Hochschulratsvorsitzender und Oberberghauptmann a. D., und Prof. Dr. Konrad Froitzheim, Veranstaltungsleiter, den künftigen Rektor. Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht gab in seinem Statement die weitere Richtung für die Universität vor: Zum einen wolle er den eingeschlagenen erfolgreichen Weg einer gemeinsamen Entwicklung der Universität fortsetzen, zum anderen die Kompetenzen der Universität als eine der weltweit führenden Ressourcenuniversitäten weiter ausbauen, um Transformationsprozesse zu einer lebenswerteren Welt voranzutreiben.

Neue Prorektoren gewählt

Prof. Dr. Swanhild Bernstein, Prof. Dr. Jörg Matschullat und Prof. Dr. Urs Peuker sind ab 1. November 2020 die neuen Prorektoren der TU Bergakademie Freiberg. Das entschied der Senat bei seiner Sitzung am 27. Oktober und stimmte damit dem Wahlvorschlag des Rektors zu. Für Prof. Dr. Swanhild Bernstein beginnt die erste Amtszeit im Rektorat der Bergakademie. Sie übernimmt das Prorektorat Bildung von Prof. Dr. Silvia Rogler. Prof. Bernstein lehrt und forscht seit 2005 am Institut für Angewandte Analysis. Die Mathematik-Professorin wird im neuen Rektorat mit der Rahmensetzung zum Lernen und Lehren vor allem die Umsetzung des Qualitätsmanagements mit Zertifizierung und Akkreditierung übernehmen.

Neu gewählt wurde ebenfalls Prof. Dr. Jörg Matschullat. Er übernimmt das Prorektorat für Forschung von Prof. Dr. Rudolf Kawalla. Jörg Matschullat ist Professor für Geochemie und Geoökologie und Direktor des Interdisziplinären Ökologischen Zentrums der TU Bergakademie Freiberg. Für seine Amtszeit hat er sich unter anderem vorgenommen, die Forschung an Zukunftsthemen vor allem mit Blick auf die globalen Nachhaltigkeitsziele zu stärken, Anreize für Qualitätssteigerungen zu setzen sowie den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Der Senat entschied sich zudem für die Wiederwahl von Prof. Dr. Urs Peuker als Prorektor für Strukturentwicklung. Prof. Peuker ist Direktor des Instituts für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik der TU Bergakademie Freiberg und Leiter des Freiberger Centers im EIT RawMaterials. Seit Juni 2018 unterstützt er bereits das Rektorat als Prorektor. Im Fokus seiner zweiten Amtszeit stehen vor allem die Weiterentwicklung der Digitalisierungsstrategie, die stetige Verbesserung der technischen Infrastruktur und Weiterbildung der MitarbeiterInnen im Bereich der digitalen Lehre, ein verbessertes Datenmanagement für die WissenschaftlerInnen der Universität und der Ausbau der strategischen Partnerschaften mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Die Amtszeit der neuen Prorektoren beginnt am 1. November und gilt zunächst bis Juli 2025. Zum Rektorat gehört neben dem Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht und den drei Prorektoren auch der amtierende Kanzler, Jens Then.

■ **Pressestelle TU Bergakademie Freiberg/Luisa Rischer**

Rede zur Investitur von Rektor Klaus-Dieter Barbknecht an der TU Bergakademie Freiberg am 14. Oktober 2020

Begrüßung

Sehr geehrter Herr Staatsminister Sebastian Gemkow,
sehr geehrter Herr Dr. Werner,
sehr geehrte Altmagnifizenzen, Spektabilitäten, Honorabilis,
Mitglieder des Rektorates,
liebe Kolleginnen und Kollegen,
liebe Gäste hier im Saal und an den Monitoren,

lassen Sie mich bitte zu Beginn darüber meiner Freude Ausdruck verleihen, dass Sie diesem besonderen Ereignis durch Ihre Anwesenheit in Präsenz und an den Monitoren die Ehre erweisen.

In diesen herausfordernden Zeiten einer Pandemie ist das keine Selbstverständlichkeit. Sie merken an den von uns getroffenen Hygiene- und Sicherheitsmaßnahmen, die leider in den letzten Tagen auch zu einer sehr kleinen Präsenzzahl geführt haben, dass wir – wie auch Sie in Ihren Verantwortungsbereichen – das Mögliche tun, um Infektionsgefahren zu minimieren. Ich danke Ihnen ganz besonders, dass Sie heute hier und an den Monitoren sind und heiße Sie nochmals ganz herzlich willkommen.

Ich möchte meine Gedanken zur kommenden Amtszeit als Rektor der Technischen Universität Bergakademie Freiberg wie folgt skizzieren: Ich gliedere meine Ausführungen in zwei Hauptpunkte um im zweiten Teil in fünf Unterpunkte, zunächst in einer Betrachtung des Istzustands der Universität und anschließend in einer Betrachtung der Ziele für die Bergakademie:

1. Istzustand

Die Bergakademie ist weltweit eine der führenden Ressourcenuniversitäten und ist mit 255-jähriger Geschichte, herausragenden wissenschaftlichen Forschungsbereichen, Lehre und Sammlungen von Weltrang eine Perle der Universitätslandschaft Deutschlands.

Der Leitgedanke der nachhaltigen Entwicklung sowie die gestaltende Initiierung und Mitwirkung an Transformationsprozessen sind Wesenskern der Universität, die entlang der Prozesskette der Rohstoffe als Zentrum der Montanwissenschaften in Deutschland die verschiedenen Wissenschaftsgebiete von der Erschließung über die Verarbeitung und Veredlung bis zum Recycling bearbeitet.

Die wissenschaftliche Exzellenz der Universität in der Forschung ist durch Projekte der DFG und der EU ausgewiesen. Die Drittmitteleinnahmen (pro Professor), die seit Jahren im Bereich der Top 5 der deutschen Universitäten liegen, geben ein Zeugnis für die hohe Anerkennung der Leistung der ProfessorInnen und MitarbeiterInnen der TU Bergakademie Freiberg ab. Ebenso erfährt die Universität durch die intensiven Investitionen, die der Freistaat Sachsen und die Bundesrepublik Deutschland derzeit und in den nächsten Jahren tätigen, eine hohe Anerkennung ihrer Leistungen.

Die nationale und internationale Verflechtung mit anderen Wissenschaftseinrichtungen steht auf einer soliden Grundlage und konnte weiter ausgebaut werden. Die Sichtbarkeit der Universität – u. a. auch in der Politik – hat sich durch die Zusammenarbeit mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie Helmholtz, Fraunhofer, Leibniz, im europäischen Verbund EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg als Europäische Universität und durch zahlreiche bi- und multilaterale Abkommen mit anderen Universitäten sowie Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit weiter verbessert. Dies trägt zur Internationalisierung bei und hat den Anteil ausländischer Studierender – auch durch Einführung neuer englischsprachiger Studiengänge – auf mittlerweile 34,5 Prozent erhöht. Während die internationale Attraktivität der TU Bergakademie Freiberg deutlich zugenommen hat, sind die Studierendenzahlen in den letzten Jahren jedoch stetig zurückgegangen. Mittlerweile zählt die Universität nur noch etwas mehr als 4.000 Studierende. Die Rückgänge betreffen alle Fakultäten, wenn auch unterschiedlich intensiv. Demografische Entwicklungen, eine höhere Mobilität der Studierenden und ein gesamtgesellschaftlicher Wandel haben zum Schwund der Studierendenzahlen in Freiberg beigetragen. Hinzu kommt, dass generell weniger deutsche AbiturientInnen ein natur- oder ingenieurwissenschaftliches Studium aufnehmen als in früheren Jahren. Diese Entwicklung steht eigentlich im Widerspruch zum steigenden Bewusstsein der Jugend hinsichtlich Nachhaltigkeit, Klimawandel und Umwelt. Denn dem Bewusstsein müsste der Wille zur tätigen Veränderung inhärent sein, was wiederum auch die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Natur- und Ingenieurwissenschaften zumindest für einen großen Teil der Veränderungswilligen voraussetzt. In diesem Sinne ist es nicht nur wünschenswert, sondern dringend erforderlich, dass wieder mehr deutsche AbiturientInnen an den technischen Universitäten und in Freiberg studieren.

Ich möchte gern an dieser Stelle den Mitgliedern der Bergakademie wie auch meinen Amtsvorgängern in den Rektoraten dafür danken, dass wir einen so positiven Statusbericht zur Universität geben können.

Selbstverständlich ist das Erreichte Ansporn für die weitere Entwicklung und ich komme deshalb nun zu den Herausforderungen und Zielen der nächsten Jahre:

2. Gestaltung der Zukunft der TU Bergakademie Freiberg

a. Lehre und Studierende

Obwohl die wirtschaftlichen und demografischen Entwicklungen auf der Welt dazu beitragen, dass die Ressourcenbewirtschaftung eine noch größere Rolle spielen wird, fehlt es – wie bereits erwähnt – an deutschen Studierenden, die diese Herausforderungen durch ein Studium der Natur- und Ingenieurwissenschaften aufnehmen wollen. Gleiches gilt für die drängenden Zukunftsfragen wie Klimawandel und Umweltschutz und den damit einhergehenden Themen der Energieerzeugung, -speicherung und des Energieeinsatzes. Hinzu kommt die demografische Entwicklung in Sachsen und in Deutschland, die auch in den nächsten Jahren auf weniger Studierende schließen lässt, wobei gleichzeitig insbesondere in Sachsen der Bedarf an ausgebildeten Geistes- und Lebenswissenschaftlern signifikant gestiegen ist und entsprechende Studienangebote neu geschaffen worden sind oder geschaffen werden.

Für die TU Bergakademie Freiberg als nicht nur die älteste höhere technische Bildungseinrichtung Deutschlands, die auf die 1702 gegründete Stipendienkasse zurückgeht, sondern auch als die TU mit dem höchsten „MINT-Reinheitsgrad“ in Sachsen wird damit der Wettbewerb um Studierende nochmals schwieriger.

Studienwerbung allein wird hier nicht helfen. Weiter schwindenden Studierendenzahlen ist daher mit Maßnahmen exzellenter, moderner Lehre zu begegnen, die als solche auch sichtbar ist und durch Studienwerbemaßnahmen begleitet wird.

Die demografisch bedingte geringere Studienanfängerquote in Sachsen muss als Chance für Reformen und Qualitätssteigerung genutzt werden. Die gemeinsam mit den Fakultäten begonnene Reform der Studiengänge soll daher fortgesetzt werden. Sie hat nicht nur eine Verringerung der Anzahl – und damit stärkere Fokussierung auf das Wesentliche – der derzeit bestehenden 69 Studiengänge, sondern auch eine Modernisierung der angebotenen Inhalte sowie Lehrformen zum Ziel. Vom Ergebnis her denkend (was muss, was soll, was kann der Absolvent an Fertigkeiten besitzen) sollen die Lehrkonzepte und Studiengänge didaktisch überarbeitet und für die in Sachsen verpflichtende Akkreditierung vorbereitet werden. Den drei vorgenannten Anforderungsprofilen entsprechend, sollen den Studierenden – auch im Sinne der Universitas – mehr Wahlmöglichkeiten auch z. B. im Bereich der Wirtschaftsethik eingeräumt werden. Gleichzeitig sind die Möglichkeiten und auch Herausforderungen, die – nicht nur bedingt durch die derzeitige Covid-19-Krise – eine Digitalisierung der Lehre mit sich bringt, in die Überlegungen und anschließende Umsetzung einzubeziehen.

Das Konzept der Hochschulleitung zur Digitalisierung der Lehre ist vor allem inhaltsgesteuert und soll keinesfalls lediglich ein „moderner Anstrich für alte Inhalte“ oder ein weiterer Beitrag zu digitalen Reizüberflutung Studierender sein. Vielmehr kommt es darauf an, die Möglichkeiten für die Lehrenden in der Darstellung und für die Studierenden beim selbstverantwortlichen Vor- und Nachbereiten der Lehre sowie des Eigenstudiums zu verbessern. Problem- und objektorientiertes Lehren und Lernen sowie die Herausbildung von Teameigenschaften der Studierenden sind Schwerpunkte neuer Lehrmethoden, die zukünftig verstärkt angegangen werden sollen.

Die vorstehenden Aufgaben sind in Zusammenarbeit mit den Fakultäten durchzuführen und von der Hochschulleitung durch entsprechend unterstützende zentrale Maßnahmen sowie Bereitstellung von personellen und sächlichen Mitteln zu fördern. Hierzu zählen u. a. unterstützende Maßnahmen der Didaktik durch Angebotserweiterung des HDS (Hochschuldidaktisches Zentrum Sachsen), eine zentrale Stelle für die Unterstützung der Akkreditierung von Studiengängen, der Tag der Lehre und das jüngst erarbeitete Digitalisierungskonzept der Universität.

Das Lehrangebot der TU Bergakademie Freiberg soll zukünftig noch stärker Studierende wettbewerbsfähig für die Herausforderungen auch im internationalen Umfeld machen. Wir sind auch hier der Exzellenz verpflichtet. Hierzu dient die Erweiterung des Angebots an englischsprachigen oder semienglischsprachigen Studiengängen. In Zusammenarbeit mit den Fakultäten und Lehrenden sollen Angebote an englischsprachigen Lehrveranstaltungen auch in deutschen Studiengängen erhöht werden. Gleichzeitig soll ein stärkeres Gewicht auf die Vermittlung der deutschen Sprache für die ausländischen Studierenden gelegt werden, um diese besser für ein Verbleiben in Deutschland nach dem Studium vorzubereiten. Die Internationalisierungsstrategie dient damit auch der Steigerung des Nachwuchspotenzials in Deutschland.

Durch die Möglichkeiten der individuellen Betreuung der Studierenden, wie sie an der TU Bergakademie Freiberg bestehen, sollen die Erfolgsquoten weiter erhöht werden. Wir schaffen damit Ausbildungseliten durch einen hohen Förderungsstandard und exzellente Lehre und nicht durch „Herausprüfen“. Die Abbrecherquote ist durch Maßnahmen der Studienberatung weiter zu senken und gleichzeitig sind Angebote für Studienabbrecher weiterzuentwickeln, die die vorzeitige Beendigung eines Studiums nicht zu einem Scheitern auf dem Lebensweg werden lassen.

Eine zielgruppenorientierte vorbereitende Studienberatung mag vordergründig dazu beitragen, dass weniger Studierende ein Studium an der TU Bergakademie Freiberg beginnen als anderenorts. Die Verantwortung gegenüber den jungen Menschen, die zu uns kommen wollen, verpflichtet die TU jedoch zu einer angemessenen Beratung der Bewerber hinsichtlich ihrer Studierfähigkeiten und der Anforderungen, die die Universität an sie während des Studiums stellt.

Dementsprechend soll auch weiterhin gelten „Qualität vor Quantität“. Es ist nicht erstrebenswert, zu Gunsten höherer Studierendenzahlen die Qualität des Studiums zu reduzieren.

b. Forschung

Die Forschung soll auf dem sehr hohen Niveau und in den bearbeiteten Profillinien verbleiben, aber noch stärker kenntlich machen, dass die TU Bergakademie Freiberg sich mit den Zukunftsfragen der Gesellschaft auseinandersetzt. Hierzu soll dienen, dass auch in Zukunft mindestens zwei jeweils laufende SFBs angestrebt werden. Die interdisziplinäre Forschung, die ein Wesensmerkmal der TU Bergakademie Freiberg ist, soll durch Bildung von Forschungsclustern und die Zusammenarbeit mit anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen noch stärker sichtbar gemacht werden.

Hierzu soll die Hochschulleitung Rahmenbedingungen für die noch stärkere Vernetzung der Forschenden setzen, die für die Hochschulöffentlichkeit eine höhere Transparenz der einzelnen Forschungsgebiete schaffen. Die Weiterentwicklung einer Forschungsdatenbank wird hierzu ein essenzielles Werkzeug sein.

Im Dialog mit den Forschenden sind die Forschungsgebiete thematisch zu schärfen. Die Hochschulleitung kann hierzu durch Stellenzuweisung unterstützend wirken, wenn neue Gebiete erschlossen werden sollen. So ist anzustreben, dass durch die Berufung von TT-ProfessorInnen und Nachfolgeberufungen neue Gebiete aufgebaut werden können. Der hierbei eingeschlagene Weg, TTP zu nutzen, die Institute im Bereich Glas-Keramik-Baustoffe durch eine neue Professur „Smarte Gläser“ zu erweitern, die Additive Fertigungstechnologie durch eine korrespondierende TTP „Nachhaltige Materialien für Additive Fertigung“ zu stützen etc. soll fortgesetzt werden.

Ein wichtiger Meilenstein für die TU Bergakademie Freiberg wird in den nächsten Jahren die inhaltliche Untersetzung des ZeHS werden. Ein im Einvernehmen mit dem Senat zu implementiertes neues Management- und Führungskonzept soll diese Untersetzung in der nächsten Phase (nachdem der Bau und die Geräte 2020 zur Verfügung stehen) weiter gestützt werden.

Die begonnene Zusammenarbeit mit den außeruniversitären Forschungseinrichtungen soll mit dem Ziel einer stärkeren Verflechtung fortgesetzt werden. Der Forschungsstandort Freiberg soll durch Ansiedlung eines Fraunhofer Instituts und/oder Leibniz Instituts gestärkt werden.

c. Personalentwicklung

Die begonnene Entwicklung, mehr Frauen im wissenschaftlichen Personal zu beschäftigen und diese Stellen möglichst zu verdauern, soll fortgeführt werden. Damit gewinnen wir ein bisher nicht ausgeschöpftes Potenzial hinzu. Neue Flexibilisierung

der Arbeitszeit als auch der Möglichkeit der mobilen Arbeit können hier unterstützend wirken und sollen erprobt werden.

Es ist gelungen, in die Koalitionsvereinbarung der neuen Sächsischen Staatsregierung den Punkt „Entfristung auch für drittmittelfinanzierte MitarbeiterInnen“ als Ziel hineinzuschreiben. Die TU Bergakademie Freiberg muss eine möglichst hohe Quote der Entfristung (30 bis 40 Prozent) anstreben, denn die Forschung beruht zunehmend auf der Qualifikation vorhandener langjährig befristet eingestellter MitarbeiterInnen und deren Kenntnisse im Umgang mit hochkomplexen Forschungseinrichtungen.

Die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Personalrat zur Weiterentwicklung der Personalentwicklungskonzepte wird fortgesetzt und dabei der Schwerpunkt der familiengerechten Hochschule beachtet.

Die Dienstleistungsbereitschaft der MitarbeiterInnen der zentralen Verwaltung soll durch eine mit den Dekanen der Universität abgestimmte Evaluierungsordnung für die Verwaltung weiter erhöht werden. Hierdurch sollen Innovations- und Veränderungsbereitschaft der Verwaltung gestärkt werden.

Ein System eines Vorschlagswesens für Innovation in der Verwaltung soll eingeführt werden und damit ein Anreiz für die MitarbeiterInnen zu eigenen Ablaufanalysen und Verbesserungsvorschlägen geschaffen werden.

Die Universität als eine demokratische Organisation lebt von der Selbstverantwortung ihrer Mitglieder. Eine von der Basis der Fakultäten ausgehende Führungs- und Verantwortungsstruktur wird die Leistungsfähigkeit der TU Bergakademie Freiberg steigern. Es muss daher Ziel der Hochschulleitung bleiben, die dezentralen Grundstrukturen zu stärken.

d. Regionale Wirksamkeit

Das Maßnahmenkonzept zur Erhöhung der regionalen Wirksamkeit ist weiter umzusetzen. Dabei stehen die Zusammenarbeit mit regionalen Partnern in Wirtschaft, Bildung und Wissenschaft sowie Gesellschaft und Kultur sowie die Schaffung eines attraktiven Umfelds für Studierende und MitarbeiterInnen der TU Bergakademie Freiberg im Fokus. Innovative Ausgründungen aus Forschungsergebnissen der Universität werden weiterhin unterstützt und die dazu vorhandenen Mittel und Konzepte den neuen Herausforderungen angepasst. Eine Verstärkung der wissenschaftlichen Kommunikation in die regionale Bevölkerung hinein ist weiter anzustreben.

e. Finanzierung

Die Verhandlungen zur Zuschussvereinbarung mit dem Freistaat Sachsen werden im nächsten Jahr in eine neue Runde gehen müssen. Auch wenn die Zuschussvereinbarung zunächst bis 2025 gilt, werden Nachverhandlungen zu den tariflich bedingten Mehrkosten zu führen sein. Auch hinsichtlich der Übernahme neuer Aufgaben wird eine Nachfinanzierung erforderlich sein.

Darüber hinaus ist mit dem Freistaat Sachsen über die Kostenübernahme eines neuen Ausschreibungsansatzes für ein gemeinsames ERP System für die sächsischen Hochschulen zu verhandeln und für die TU Bergakademie Freiberg der Fortgang in diesem Prozess zu entscheiden.

Das Stiftungsvermögen der Universität konnte in den letzten Jahren weiter gesteigert werden. Für den Zeitraum der nächsten fünf Jahre ist eine weitere Steigerung um fünf Millionen Euro anzustreben.

Die Bautätigkeit an der TU Bergakademie Freiberg ist trotz der umfänglichen Investitionsmaßnahmen der letzten Jahre noch nicht abgeschlossen. Weitere Sanierungen und Renovierungen stehen an. In Zusammenarbeit mit der Stadt Freiberg sind Maßnahmen zu ergreifen, die Baugelände für die Bergakademie für die nächsten Jahrzehnte sichern.

f. Politische Sichtbarkeit der TU Bergakademie Freiberg

Die erreichte Vernetzung der Hochschulleitung mit den Entscheidungsträgern im Landtag des Freistaates Sachsen, im SMWKT, BMBF, befreundeten Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie mit Vertretern fremder Staaten durch z. B. regelmäßige Parlamentarische Abende, Kommunikationstreffen mit Botschaftern, Besuche und Einladungen sowie Einzelgespräche ist im Interesse der TU Bergakademie Freiberg weiter zu verstärken.

Abschluss

Sehr geehrte Herren Staatsminister, meine sehr geehrten Damen und Herren, wir sind in schwierigen Zeiten und müssen uns neuen Herausforderungen stellen. Ich bin davon überzeugt, das ist uns allen bewusst. Die Covid-19-Pandemie hat uns allen vor Augen geführt, wie verletzlich eine vernetzte Welt ist und dass wir Internationalität und Wissenschaft immer wieder neu denken müssen. Hochkomplexe Systeme haben ihre großen Vorteile, sind jedoch verletzlicher als weniger komplexe Systeme. Es wäre dennoch falsch auf sie zu verzichten, sie tragen zu einer lebenswerteren Welt bei.

In diesem Sinne: Glück auf für die gute Sache!

Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe – Mit Hochdruck an neuen Materialien forschen!

– Die Dr. Erich-Krüger-Stiftung trägt weitere Früchte –

Kevin Keller

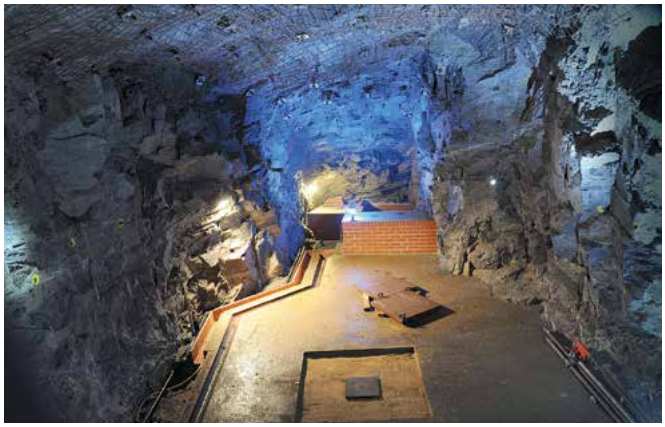


Abb. 1: Labore des Freiberger Hochdruckforschungszentrums (FHP). (a) 1000-t-Hochdruckpresse mit verschiedenen Modulen (Multi-anvil Walker-Modul und Toroid-Modul), (b) Sprengkammer des untertägigen Schockwellenlabors, errichtet mit Mitteln der Dr.-Erich-Krüger-Stiftung

Warum neue Hartstoffe?

Hartstoffe stellen eine bedeutende Schlüsseltechnologie für eine Vielzahl von High-Tec-Branchen u. a. im Bereich des Maschinenbaus und des Bergbaus dar. Vor allem in der Metall- und Keramikbearbeitung (Sägen, Schneiden, Bohren, Drehen, Fräsen, Schleifen, Polieren) sowie der Rohstoffgewinnung, -aufbereitung und -bearbeitung (Tiefbohren, Sägen, Brechen, Mahlen, Meisseln) kommen in zahlreichen Prozessen Hartstoffe zum Einsatz – überall da, wo Materialien möglichst lange und möglichst schnell kontinuierlich bearbeitet werden müssen.

Die Hälfte der dabei eingesetzten Hartstoffe gehört zur Gruppe der Hartmetalle (insbesondere WC-Co) und ein Viertel sind Schnellarbeitsstähle (HSS). Das verbleibende Viertel teilen sich Keramiken, Cermets (Keramiken mit metallischem Binder), Diamant und kubisches Bornitrid (c-BN). Insbesondere die letzten beiden Hartstoffe – die zwei härtesten bekannten Stoffe – werden aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften für die Bearbeitung besonders harter und zäher Werkstoffe und in Gebieten, in denen es auf eine hohe Präzision ankommt, eingesetzt.

Aber selbst diese Materialien haben ihre Grenzen: Diamant verbrennt bei zu hohen Temperaturen bzw. wandelt sich in Graphit um. Außerdem reagiert Diamant mit Eisen, weshalb er nicht für die Bearbeitung eisenhaltiger Legierungen eingesetzt werden kann. Diamant und c-BN werden in der Regel durch einen sogenannten Binder zu einem kompakten Körper zusammengefügt, wobei diese metallischen oder keramischen Binderphasen den Schwachpunkt des Werkstoffs darstellen und damit den Einsatz insbesondere bezüglich der erreichten Härten und der maximalen Temperatur limitieren. Daneben wird in vielen Prozessen ein immer höherer Anspruch an die Oberflächenqualität des bearbeiteten Werkstücks gestellt, wobei die bisherigen zumeist mikroskaligen Hartstoffe an ihre Grenzen kommen. Darüber hinaus müssen selbst diese Hochleistungshartstoffe gekühlt werden, um eine lange Standzeit des Werkzeugs zu gewährleisten und ein vorzeitiges Versagen zu verhindern. Aufgrund der Zusammensetzung der Kühlflüssigkeiten stellt dies einen zusätzlichen nicht zu vernachlässigenden Umweltaspekt dar.

Ein weiterer Nachteil einer Vielzahl der derzeit eingesetzten Hartstoffe ist, dass sie oftmals die kritischen Rohstoffe[1] Wolfram und Kobalt enthalten. Insbesondere in den weit verbreiteten Hartmetallen, aber auch den metallisch gebundenen Diamant-Hartstoffen (PKD), werden Wolfram und/oder Kobalt eingesetzt.[2] Aufgrund des wirtschaftlichen Risikos hinsichtlich der Verfügbarkeit der Rohstoffe, aber auch sozioökonomischer und ethischer Gesichtspunkte (Kinderarbeit, Einsatz giftiger und umweltschädlicher Chemikalien) wird eine Umstellung auf Materialien, die auf kritische Rohstoffe verzichten, angestrebt.

An diesen Punkten setzt die BMBF-Nachwuchsforschergruppe N^3V an, mit dem Ziel neue Hartstoffe zu entwickeln, welche die oben genannten Nachteile nicht besitzen und auf den Einsatz kritischer Rohstoffe komplett verzichten können.

Das Freiberger Hochdruckforschungszentrum (FHP) und die bisherige Hartstoff-Forschung

Die beiden Professoren Dr. Gerhard Heide (Institut für Mineralogie) und Dr. Edwin Kroke (Institut für Anorganische Chemie) forschen seit 2005 an der TU Bergakademie Freiberg an Hochdruckverfahren mit der Entwicklung neuer Hartstoffe als einem Schwerpunkt. Es wurden parallel zwei Hochdruck-Labore aufgebaut: ein Labor für statische Experimente mit einer 1000-t-Hochdruckpresse sowie das Schockwellenlabor im Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche“ für dynamische Versuche *(Abbildung 1)*.

1 Rohstoffe, die von hoher ökonomischer Bedeutung sind, bei denen jedoch kein freier und fairer Zugang auf dem Weltmarkt sowie keine dauerhafte Versorgung aus Rohstoffquellen innerhalb Europas gegeben ist. Quelle: Europäische Kommission, https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

2 In 80 Prozent der eingesetzten Werkzeuge in der Metallzerspanung sind kritische Rohstoffe enthalten. Der jährliche Verbrauch in der Metall- und Gesteinsbearbeitung beträgt 28.000 t Wolfram und 6.000 t Kobalt. Quelle: K. Brookes (2001) *„There's more to hard materials than tungsten carbide alone“*, Metal Powder Report 66 (2), S. 36–45

In einer Reihe von Projekten wurden gemeinsam mit Kollegen anderer Institute und Fachrichtungen neue Materialien mittels Hochdrucksynthesen hergestellt, charakterisiert und getestet. Der Einsatz hoher Drücke (> 1 GPa = 10.000 bar) und hoher Temperaturen führt bei vielen Stoffen zu einer strukturellen Umwandlung und damit zur Veränderung der makroskopischen Eigenschaften. Durch die dichtere Neuanordnung der Atome und Moleküle können stärkere chemische Bindungen entstehen und damit härtere Phasen hergestellt werden. So ist es z. B. auch bei Diamant, dem härtesten bekannten Material (Mohs-Härte 10). Chemisch gesehen ist der Diamant nur Kohlenstoff – wie auch das viel weichere Ausgangsmaterial Graphit (Mohs-Härte 1), das für Bleistiftminen eingesetzt wird. Durch den Einsatz hoher Drücke (> 13 GPa) und Temperaturen (> 3000 °C) werden die Kohlenstoffatome des Graphits dazu gezwungen, neue Bindungen auszubilden, was beispielsweise in einer höheren Dichte und der extremen Härtesteigerung resultiert.

Einen besonderen Aufwind bekam die Hochdruckforschung in Freiberg im Jahr 2006 durch die Ausschreibung des ersten Dr.-Erich-Krüger-Forschungskollegs. Acht Professoren aus vier Fakultäten stellten ihre Idee zur Entwicklung neuer Materialien für Tiefbohrungen vor und konnten sich damit gegen die anderen Vorschläge durchsetzen: das Freiberger Hochdruckforschungszentrum (FHP) war geboren *(Abbildung 2)*. Das über sechs Jahre laufende Projekt (2007–2012) brachte die Wissenschaftler eng zusammen, um entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu forschen – angefangen von der Simulation neuer Materialien (Theoretische Physik), der Synthese und Verdichtung neuer Materialien (Anorganische Chemie, Mineralogie und Werkstoffwissenschaften), der Untersuchung von Struktur-Eigenschaftskorrelationen (Werkstoffwissenschaften), dem Test der Materialien unter extremen Bedingungen (Werkstofftechnik), der Untersuchung der Prozesse bei der Gesteinsbearbeitung (Geotechnik), bis hin zum Prototypenbau (Bohrtechnik und Fluidbergbau). Die Ergebnisse des Projekts waren so vielversprechend, dass ausgewählte Themen in einem Transferprojekt (2012–2015) weitergeführt wurden. Auch der durch das Projekt finanzierte Bau des untertägigen Schockwellenlabors, das 2011 in Betrieb genommen werden konnte, ermöglicht neue Dimensionen von Versuchen und schafft damit in der Forschungslandschaft einzigartige Bedingungen, neue Materialien durch Sprengstoffdetonation zu erzeugen. Das Plattieren, Delaminieren, Sintern, Umformen und auch das Testen sind dadurch ebenso möglich geworden wie auch die Synthese von Phasen, wie sie beispielsweise im unteren Erdmantel auftreten.

Abb. 2: Beteiligte Professoren bei der Gründung des Freiberger Hochdruckforschungszentrum (v.l.): Edwin Kroke, Gerhard Heide, Hans-Jürgen Seifert, Matthias Reich, David Rafaja, Jens Kortus, Lutz Krüger und Heinz Konietzky

Das Freiberger Hochdruckforschungszentrum (FHP) hat sich über die letzten 13 Jahre zu einer international angesehenen Einrichtung der Hochdruckforschung entwickelt. Durch die methodische Kombination von statischen und dynamischen Versuchen konnten einzigartige Forschungsvoraussetzungen geschaffen werden. Durch mehrere Anschlussprojekte und Kooperationen mit Firmen hat die Förderung des ursprünglichen FHP durch die Dr.-Erich-Krüger- Stiftung auch heute noch eine große Auswirkung. So führten nicht zuletzt die große Expertise durch thematisch bezogene Projekte und die außergewöhnlichen Forschungsbedingungen dazu, dass die BMBF-Nachwuchsforschergruppe *Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe* (N^3V), Laufzeit 2020–2025, durch Dr. Kevin Keller nach einem mehrstufigen Bewerbungsprozess eingeworben werden konnte.

In den vielen Forschungsprojekten wurden verschiedene Hochdruckphasen vor allem aus den Elementen Silicium, Aluminium, Sauerstoff und Stickstoff (Si-Al-O-N) synthetisiert und untersucht. An der Herstellung kompakter Hartstoffkörper auf der Basis von Diamant und c-BN wurde im EU-Forschungsprojekt *Flintstone2020* (Laufzeit 2016–2020) durch die Entwicklung geeigneter keramischer Binder geforscht. Des weiteren wurde ein besonders harter Werkstoff aus binderlos gesintertem kubischen Bornitrid mit Nanostruktur (BNNC) entwickelt und in verschiedenen Anwendungen getestet *(Abbildung 3)*.

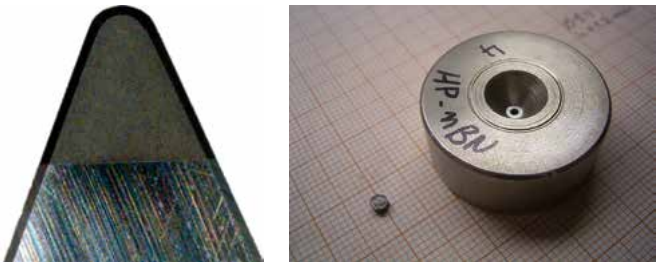


Abb. 3: Aus dem am FHP entwickelten Hartstoff BNNC (binderlos gesinterter Bornitrid-Nanokomposit) hergestellte Prototypen. (a) Wendeschneidplatte zur spanenden Metallbearbeitung, (b) Werkzeug zum Drahtziehen mit Ziehstein aus BNNC

Neue Versuchsmöglichkeiten mit Diamantstempelzellen

Im März dieses Jahres wurde Dr. Sindy Fuhrmann als neue Juniorprofessorin an die TU Bergakademie Freiberg berufen. Sie ist hier keine Unbekannte, hat sie doch bei Prof. Gerhard Heide Mineralogie studiert und ist eine Freiberger Hochdruckforscherin der ersten Stunde. Nun kommt sie nach einigen Jahren mit viel Erfahrung im Bereich von Gläsern und amorphen Materialien zurück nach Freiberg.

Gegenwärtig baut sie ein neues Labor auf, in dem mit Diamantstempelzellen (DAC) extrem hohe Drücke erzeugt werden können. Obwohl die Probenmengen – selbst im Vergleich zur oben erwähnten 1000-t-Hochdruckpresse – geradezu winzig sind (Mikrogramm-Bereich), bietet diese Methode den großen Vorteil, dass eine Vielzahl an chemisch-physikalisch und strukturellen Untersuchungen der Materialien in situ durchgeführt werden können. Hierdurch lassen sich Phasenumwandlungen und strukturelle sowie Eigenschaftsänderungen „live“ verfolgen. Mit dieser Methode wird das Portfolio des FHP stark erweitert: Alle drei wichtigen Hochdruckforschungsmethoden – großvolumige Pressen, In-situ-Untersuchungen in Diamantstempelzellen und dynamische Versuche mit Schockwellen – können so durchgeführt werden. Damit erlangt Freiberg ein weiteres Alleinstellungsmerkmal in der Hochdruckforschung.

N^3V – Ziele und Lösungsansatz

In der Nachwuchsforschergruppe N^3V sollen nun anknüpfend an die Vorarbeiten neue Hartstoffe mit verbesserter Performance im Vergleich zu den heute üblichen Materialien entwickelt werden. Die neuen Materialien sollen eine hohe Härte und Zähigkeit bei gleichzeitig erhöhter thermischer und chemischer Stabilität besitzen. Dadurch können längere Werkzeugstandzeiten und bessere Oberflächenqualitäten der zu bearbeitenden Werkstücke erreicht werden. In einigen Anwendungen soll auf den Einsatz von Kühlmitteln vollständig verzichtet werden. Insbesondere die beiden besonders harten Materialien Diamant und mikrokristallines c-BN sollen damit in bekannten Anwendungen substituiert und neue Anwendungsfelder erschlossen werden. Ein Ziel ist dabei, auf den Einsatz von kritischen Rohstoffen komplett zu verzichten. Ein besonderer Fokus liegt in dem Projekt auf der Verdichtung der Hartstoffpulver zu kompakten nanostrukturierten Körpern, um daraus Werkzeuge verschiedener Geometrien herzustellen.

Der Lösungsansatz für die Entwicklung neuer Hartstoffe im Rahmen dieses Vorhabens besteht in der Kombination von geeigneten Materialien, die eine besondere Mikrostruktur aufweisen und durch Anwendung verschiedener Hochdruck-Verfahren hergestellt werden können *(Abbildung 4)*.

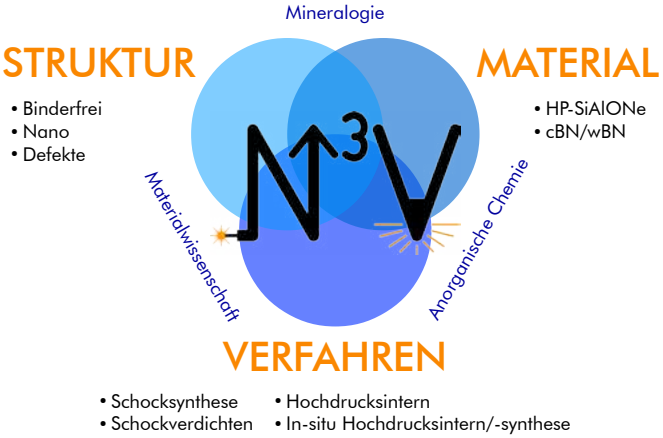


Abb. 4: Lösungsansatz zur Entwicklung und Herstellung neuer nanostrukturierter Nitrid-Volumenhartstoffe

Materialien für die neuen Hartstoffe

Als neue Hartstoffe sollen zum einen Materialien im System Si-Al-O-N eingesetzt werden. In diesem System sind eine Vielzahl an Hochdruckphasen bekannt, die bereits erfolgreich mit den unterschiedlichen Hochdruck-Synthesemethoden hergestellt wurden.[3] Das kubische Siliciumnitrid in der Spinellstruktur (γ-Si_3N_4) zeichnet sich durch eine hohe Härte (34 GPa) und außerordentliche thermische Stabilität (> 1400 °C) aus.[4] Die im Jahr 1999 entdeckte Substanz kann inzwischen in hoher Reinheit mittels statischer Synthese und Schockwellensynthese hergestellt werden. Strukturell sehr ähnlich sind die γ-Sialone. Bei diesen Verbindungen wird ein Teil der Silicium- und Stickstoffplätze im Gitter mit Aluminium und Sauerstoff substituiert. Ein weiteres sehr interessantes Material ist die Hochdruckphase des Aluminiumnitrids in der Kochsalzstruktur (rs-AlN). Im Jahr 2010 konnte dieses Material erstmals durch Schockwellenmethoden hergestellt werden. Neben einer hohen Härte (ca. 30 GPa) besitzt es eine hohe Wärmeleitfähigkeit, sodass durch passive Kühlung ein Großteil der bei Bearbeitungsprozessen entstehenden Wärme abtransportiert werden kann.[5]

Das zweite Materialsystem sind Bor-Stickstoffverbindungen (Bornitrid) und hier besonders Mischungen aus kubischem Bornitrid (c-BN) mit wurtzitischem Bornitrid (w-BN). Beide Phasen sind mit einer Härte von 50 GPa bzw. 40 GPa sehr hart. Es konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination der verschiedenen Phasen sowie das gezielte Einstellen des Mikrogefüges besonders harte und zähe Werkstoffe erzeugt werden können.[6] Insbesondere die Schockwellensynthese eignet sich, um eine Mischung der beiden Phasen herzustellen, während bei der alternativen statischen Synthese fast ausschließlich c-BN entsteht.

Struktur der neuen Hartstoffe

Die Mikrostruktur der neuen Hartstoffe wird gezielt eingestellt und ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

1. Die zu entwickelnden Werkstoffe werden durch binderfreies Kompaktieren der Hartstoffpulver hergestellt. Damit werden die Eigenschaften des Werkstoffs nicht mehr durch die Binderphase limitiert, sondern lediglich durch die Anordnung und Haftung der einzelnen Hartstoffkörner. Damit sollen höhere Härten, Warmhärten und Temperaturstabilitäten erreicht werden.

2. Das Gefüge der neuen Werkstoffe ist nanoskalig, d. h. die Größe der einzelnen Körner beträgt wenige bis zu 100 Nanometer. Um das Kornwachstum zu verhindern, ist dafür der Einsatz besonders feiner Ausgangsstoffe und ein besonders rasches Kompaktieren nötig. Durch die Nanostruktur können Eigenschaften verbessert (größere Härte) und eine höhere Präzision bei der Bearbeitung von Materialien erreicht werden.

3. Durch gezieltes Modifizieren des Gefüges und der Erzeugung von Defektstrukturen (Defekt-Engineering) durch Einbringen von Fremdphasen, der Bildung (semi)kohärenter Phasengrenzen und modulierter Nanostrukturen (wellenförmige Gefügeänderungen durch Entmischung) soll Versetzungsgleiten minimiert und damit die Härte positiv beeinflusst werden.[7]

Verfahren zur Herstellung der neuen Hartstoffe

Die Herstellung von Pulvern und kompaktierten Werkstoffen mit den oben genannten Mikrostrukturmerkmalen wird erst durch die sinnvolle Kombination verschiedener Hochdruck-Hochtemperatur-Prozesse möglich *(Abbildung 5)*:

1. Schocksynthesen von nanoskaligen Pulvern werden mittels der sogenannten *flyer-plate*- und auch der *flyer-tube*-Methode durchgeführt. Hierbei wirken durch die Kollision einer durch die Sprengstoffdetonation beschleunigten Flugplatte mit dem Probenhalter im Probeninneren Drücke bis über 100 Gigapascal (1.000.000 bar) und Temperaturen bis über 5.000 °C. Dabei

3 T. Schlothauer et al. (2012) „Shock Wave Synthesis of Oxygen-bearing Spinel-type Silicon Nitride γ-$Si_3(O,N)_4$ in the Pressure Range from 30 to 72 GPa with High Purity“, in: Minerals as Advanced Materials II, Hrsg. S. V. Krivovichev, Springer Berlin/Heidelberg, S. 389-401; K. Keller et al. (2012) „Shock Wave Synthesis of Aluminium Nitride with Rocksalt Structure“, High Pressure Research 32(1), S. 23–29.

4 M. R. Schwarz (2003) „High Pressure Synthesis of Novel Hard Materials: Spinel-Si_3N_4 and Derivatives“ Dissertation, TU Darmstadt.

5 H. Vollstädt und H. Recht (1991) „Verfahren zur Herstellung von kubischem Aluminiumnitrid“ Patent DD292903A5; K. Keller (2013) „Schockwellensynthese und Charakterisierung von Aluminiumnitrid mit Kochsalzstruktur“, Dissertation, TU Bergakademie Freiberg.

6 D. Rafaja et al. (2008) „Synthesis, microstructure and hardness of bulk ultrahard BN nanocomposites“ ,J. Mater. Res. 23(4), S. 981–993.

7 D. Rafaja et al. (2012) „Interface Phenomena in (Super)hard Nitride Nanocomposites from Coatings to Bulk Materials“, Chem. Soc. Rev. 41, S. 5081–8101.

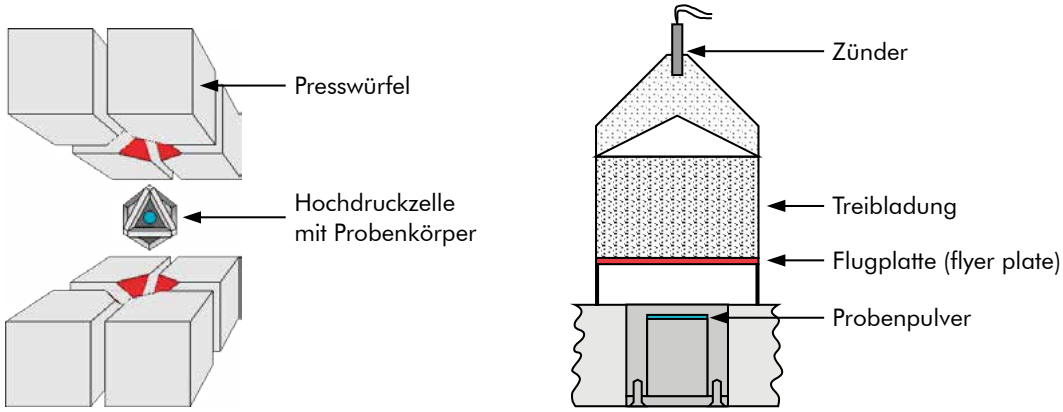


Abb. 5: Prinzipskizze der eingesetzten Hochdruckverfahren zur Synthese und Verdichtung.
(a) Vielstempelpresse (MAP) zur Verdichtung und Direktsynthese neuer Hartstoffe
(b) Flyer-plate (FP) Methode zur Schocksynthese von Hochdruckphasen

wandelt sich das Ausgangsmaterial in die Hochdruckphase innerhalb von einer Mikrosekunde um. Durch ein Upscaling soll über eine zylinderförmige Versuchsanordnung *(flyer-tube)* die Synthese von bis zu 50 Gramm Pulver pro Schuss ermöglicht werden.

2. Durch Hochdrucksintern mit einer Vielstempel-Presse (engl. multi anvil press) werden die Pulver binderfrei verdichtet. Über ein spezielles Modul mit acht Würfeln wird die Kraft der uniaxialen 1000 t-Presse auf eine in der oktaederförmigen Hochdruckzelle befindlichen Pulverprobe übertragen und erzeugt dabei Drücke bis 15 Gigapascal (150.000 bar). Ein spezielles Heizelement (z. B. aus Graphit oder Metallfolie) erzeugt durch Stromdurchfluss eine Probentemperatur bis ca. 2.500 °C. Unter diesen Bedingungen sintern die Körner zu einer kompakten Masse zusammen. Durch Aufrechterhaltung des Drucks muss eine spontane Rückumwandlung der metastabilen Hochdruckphase in die Normalmodifikation verhindert werden.

3. Eine weitere Methode zur Herstellung dichter, bindermittelfreier Körper ist das Schockkompaktieren. Hier kommt es wie auch bei der Schocksynthese durch Sprengstoffdetonation zur Erzeugung extrem hoher Drücke und Temperaturen und damit zur Bildung eines festen Werkstoffs. Diese Methode wurde bisher nur für Metalle erfolgreich angewendet und soll nun auch für die untersuchten Hartstoffpulver entwickelt werden. Der Vorteil dieser Methode gegenüber dem Hochdrucksintern ist, dass sehr große Körper hergestellt werden können. Da diese Methoden nur wenige Mikrosekunden dauern, kommt es zu nahezu keinem Kornwachstum, sodass ein sehr feinkörniges (nanoskaliges) Gefüge entsteht.

4. Eine weitere statische Methode vereint die Synthese und Verdichtung der Hartstoffpulver in einem Schritt. Dafür soll ebenfalls die 1000-t-Vielstempel-Presse zum Einsatz kommen.

Arbeitsgruppe und Ablauf

Seit April 2020 forscht die interdisziplinäre Gruppe von N^3V (Mineralogen, Chemiker, Materialwissenschaftler) an den neuen Materialien. Im Herbst diesen Jahres wird der erste Doktorand mit der Verdichtung der Hartstoffpulver mit der 1000-t-Hochdruckpresse beginnen. Ein zweiter Doktorand wird einige Zeit später die verdichteten Probenkörper hinsichtlich ihrer Mikrostruktur detailliert untersuchen und durch gezieltes Struktur-Design und Anpassung der Herstellungsmethoden die Eigenschaften noch weiter optimieren.

Begleitet wird das Projekt durch sieben Firmen aus den Bereichen Testen, Synthese und Werkzeugherstellung während der gesamten Projektlaufzeit von fünf Jahren in einem industriellen Beirat. Durch fachliche Beratung und die Herstellung von Werkzeugprototypen aus eigenen Proben, die dann bei Partnern realitätsnah getestet werden, soll ein hoher Anwendungsbezug hergestellt werden. Bei vielversprechenden Ergebnissen können die neuen Hartstoffe – zunächst in Kleinserie – produziert werden. Ein Upscaling der Produktion der Hartstoffpulver in den industriellen Maßstab durch Schocksynthesen ist ebenso geplant. Dazu wird ein zylindrischer Versuchsaufbau *(flyer-tube)* entwickelt und getestet.

Danksagung

Der Autor dankt der dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Nachwuchsforschergruppe „N^3V“ im Rahmen des Nachwuchswettbewerb NanoMatFutur. Ein herzlicher Dank gebührt der Dr. Erich-Krüger-Stiftung für die Finanzierung des 1. Graduiertenkollegs „FHP“ (2007–2012) und des Transferprojekts „FHP Phase 2“ (2012–2015). Durch die großzügige Förderung konnte die Forschung an neuen Materialien über viele Jahre sowie der Bau des Schockwellenlabors ermöglicht werden.

Außerdem wird der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung der Grundlagenforschung im Bereich der Hochdruckverfahren und neuen Materialien (Großgeräteförderung für die MAP, SPP1181, SPP1236 und FOR 2125) gedankt. Weiterer Dank für die Förderung von Forschungsprojekten gilt: EU und SMWK (Landesexzellenzinitiative „ADDE“), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (ZIM-Projekt „BNNC als Schneidwerkstoff“, SIGNO-Patentverwertung „Sinterkörper aus rs-AlN“) und der Europäischen Union (Horizon2020 „Flintstone2020 – Non-CRM materials and solutions“).

Die Mitglieder des FHP danken Frau Dr. Erika Krüger ganz besonders herzlich für ihr stetiges und wohlwollendes Interesse an unseren Arbeiten.

Förderhinweis

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Das Vorhaben wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenprogramm „Vom Material zur Innovation“ gefördert.
(Förderkennzeichen 03XP0262)

tu-freiberg.de/bmbf-nachwuchsforschergruppe-n3v

Kontaktadresse:
Dr. Kevin Keller, Freiberger Hochdruckforschungszentrum (FHP),
Institut für Mineralogie, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg

FREIBERGER HOCHDRUCK FORSCHUNGSZENTRUM

Aktuelles zur Stiftung „TU Bergakademie Freiberg“

Marianna Klescinska, Ulrike Unger

Das Stiftungswesen an unserer TU Bergakademie Freiberg ist mannigfaltig. Im Mittelpunkt dieses Artikels steht die o. g. Stiftung, die kein statisches Konstrukt ist, sondern sich seit ihrer Gründung im Jahr 2002 kontinuierlich weiterentwickelt.

So kam es zuletzt zur Gründung gleich zweier neuer Stiftungsfonds innerhalb dieser Stiftung, so dass in ihren Gesamtkorpus nunmehr neun Einzelfonds eingegliedert sind. Dazu gehören der „Hermann Spamer-Stiftungsfonds“ (2005), der „SolarWorld-Stiftungsfonds für Forschung und Lehre“ (2007), der Stiftungsfonds „Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider“ (2007), der „FME-Stiftungsfonds“ (2008) sowie der „Bergbau-Institutsfonds“. Neugegründet wurden im Oktober 2017 der „Christian Grosse Stiftungsfonds für die Forschung“ und im Oktober 2019 der „Christa und Dr.- Ing. Peter Letz Stiftungsfonds für das Gießereiwesen“.

Gründer des „Christian Grosse Stiftungsfonds für die Forschung“ ist Herr Alfred Christian Grosse. Durch Errichtung dieses Fonds möchte Herr Grosse, der als Unterstützer und Förderer unserer Universität bereits bekannt war, die wissenschaftliche Lehre und Forschung an der Bergakademie stärken und zum Erwerb von Gerätschaften, Werkstoffen sowie Lehr-, Labor- und Forschungsmaterialien finanziell beitragen.

Auch der von Herrn Peter Letz gegründete „Christa und Dr.-Ing. Peter Letz Stiftungsfonds für das Gießereiwesen“ fördert die wissenschaftliche Lehre und Forschung an unserer Bergakademie, konkret am Gießerei-Institut.

Parallel zur Zielsetzung der einzelnen Fonds dient auch die Gesamtstiftung „TU Bergakademie Freiberg“ der Förderung von Lehre und Forschung an unserer Universität. Dies bedeutet aber nicht nur Förderung der Forschung, sondern auch der Wissenschaft generell wie auch der Bildung, der Erziehung und der Studentenhilfe. So unterstützen die Stiftung TU Bergakademie Freiberg und die ihr zugehörigen Einzelfonds gemeinsam Studierende, diverse Projekte, Institute und Fakultäten der Bergakademie. Zudem werden mehrere Preise und Auszeichnungen, die die Bergakademie vergibt, durch die Stiftung finanziell unterstützt, so etwa der „Ferdinand-Reich-Preis“ für besondere Leistungen in Studium und Forschung, ausgelobt durch die Fakultät für Chemie und Physik, der „Helmut-Härtig-Preis“ für besondere Leistungen auf wissenschaftlich-technischem oder ökonomischem Gebiet, ausgeschrieben vom Institut für Bergbau und Spezialtiefbau sowie der „Prof. Eckart Flemming–Preis“ für eine exzellente Diplom-/Master-Arbeit auf den Gebieten des Gießereiwesens, der Werkstofftechnik, der Fertigungsverfahren, des Maschinenbaus oder des Marketings. Hinzu kommt die Förderung Studierender durch jährliche Finanzierung mehrerer Deutschland-Stipendien. Im Jahr 2019 wurde zudem der Austausch einer Gruppe Studierender der Industriearchäologie und Industriekultur aus dem Institut für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte mit der Universität in Madrid finanziell unterstützt.

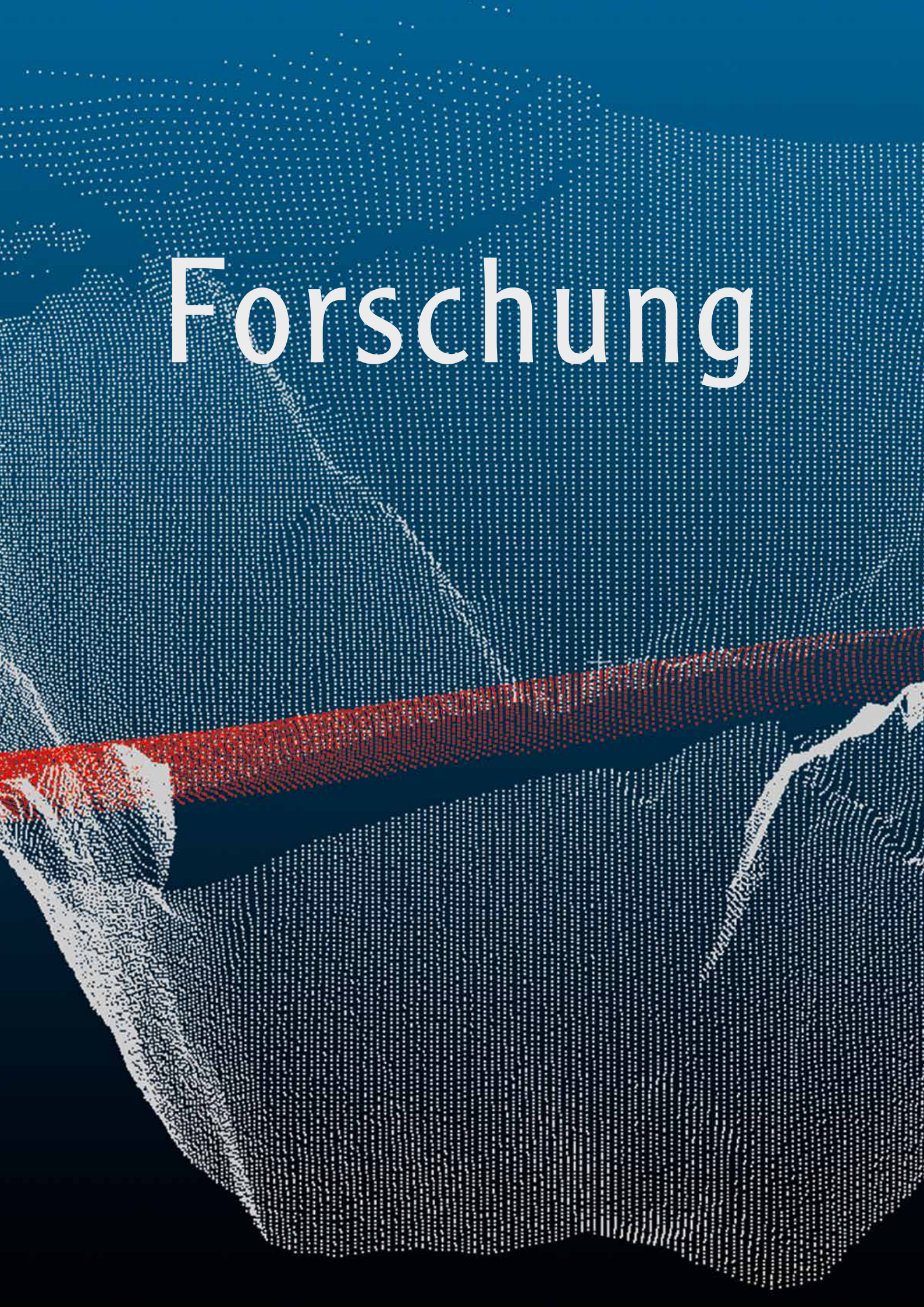
Darüber hinaus unterstützt die Stiftung das Racetech Racing-Team der Bergakademie finanziell. Das als Verein organisierte Racetech Racing-Team ist ein Zusammenschluss von derzeit über 50 Studierenden der Bergakademie aus verschiedenen Studiengängen. Sie eint das Ziel des eigenverantwortlichen, gemeinsamen und nicht zuletzt erfolgreichen studentischen Rennwagenbaus. Die persönliche Weiterentwicklung eines jeden Teammitglieds steht dabei im Vordergrund. Die Akquise von Geldern, die Konstruktion, der Bau und die Präsentation der jeweils ins Rennen geschickten Modelle liegen dabei in der Hand der Vereinsmitglieder. Mit ihren selbstentwickelten und -gebauten Rennwagen nimmt das Racetech Racing-Team regelmäßig an Rennen des internationalen studentischen Wettbewerbs „Formula Student“ teil und platziert sich oftmals auf vorderen Rängen. Aber nicht nur die gegenwärtig an der Bergakademie Studierenden gehören zum geförderten Personenkreis. Auch das jüngere „Publikum“ der Bergakademie Freiberg wird im Rahmen der jährlich durchgeführten Kinder- und Junioruniversität durch die Stiftung gefördert. Hier können Kinder im Alter zwischen 6 und 14 Jahren bereits erste Erfahrungen und ein Grundwissen in technischer und naturwissenschaftlicher Richtung sammeln. Für die Kinder und ihre Eltern wird jedes Jahr ein spannendes Programm mit kindergerechten Vorlesungen und Experimenten vorbereitet. Die jeweils jüngste Teilnehmerin der Kinderuniversität erhält einen vom „Hermann Spamer Stiftungsfonds“ finanzierten Büchergutschein.

Neben der Stiftung „TU Bergakademie Freiberg“ haben sich in den Jahren 2019 und 2020 zwei weitere Stiftungen an der Bergakademie etabliert. Die „Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider Stiftung“ wurde zusätzlich zum Stiftungsfonds „Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Schneider“ im Juli 2019 von Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dieter Schneider errichtet. Diese Stiftung fokussiert auf anwendungsbezogene Wissenschaft und Forschung im Gießereiwesen. Diese Zielsetzung wird insbesondere durch Zuschüsse für die Anschaffung technischer Einrichtungen, Geräte sowie einschlägiger Literatur, durch Zuschüsse zu einzelnen Projekten der praxisbezogenen Forschung und durch die Vergabe von Stipendien verwirklicht. In Prof. Dr.-Ing. Schneider hat die TU Bergakademie Freiberg einen engagierten und bereits langjährig aktiven Unterstützer gefunden, der zudem Vorstandsmitglied des „VFF der Bergakademie Freiberg“ ist und auch selbst an der Bergakademie als Honorarprofessor gelehrt hat.

Im November 2019 wurde darüber hinaus die Stiftung „Christian Grosse Geschichtsbibliothek“ gegründet. Stiftungsgründer ist Herr Alfred Christian Grosse. Sinn und Zweck der Stiftung ist die Unterstützung von Lehre und Forschung an der Freiberger TU durch Erhaltung, Erwerb und Verfügbarkeit von wissenschaftlicher Literatur zur Geschichte, insbesondere zur sächsischen Geschichte, für die Öffentlichkeit. Vor diesem Hintergrund wird Herr Grosse der TU Bergakademie Freiberg neben den finanziellen Mitteln etwa 5.000 Bücher stiften.

Sowohl die „Ursula und Prof. Dr. Wolf-Dieter Scheider Stiftung“ als auch die Stiftung „Christian Grosse Geschichtsbibliothek“ haben den Charakter unselbstständiger Stiftungen und stehen in treuhänderischer Verwaltung der TU. Durch konstruktive Zusammenarbeit in den Vorständen der Stiftung, zu denen natürlich auch die Stiftungsgründer selbst gehören, konnten in der Vergangenheit zahlreiche Projekte an der Bergakademie unterstützt beziehungsweise auch künftig gefördert werden.

Forschung



Grundwasserressourcen im Licht des globalen Wandels

Ralph Watzel[1]

Die weiter zunehmende Weltbevölkerung in Verbindung mit der wirtschaftlichen Entwicklung in Schwellenländern und dem Klimawandel führt zu einem verstärkten Nutzungsdruck auf die natürlichen Ressourcen der Erde. Dies hat signifikante Auswirkungen auf die Grundwasservorkommen, insbesondere in dicht besiedelten Trockengebieten und Küstenzonen. Eine langfristige und möglichst nachhaltige Nutzung dieser Lebensgrundlage erfordert belastbare Prognosewerkzeuge und begleitende Monitoring-Technologien, um Entscheidungsprozesse in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft qualifiziert zu unterstützen.

Globaler Wandel: Globale Megatrends wie die wachsende Weltbevölkerung, die wirtschaftliche Entwicklung und der Wohlstandszuwachs insbesondere in Schwellenländern in Verbindung mit der Globalisierung der Wertschöpfungsketten und dem damit wachsenden Bedarf an Rohstoffen und Energie sowie der Klimawandel kennzeichnen schon heute die Entwicklung in weiten Teilen der Welt. Es ist davon auszugehen, dass sie künftig noch stärkere Auswirkungen haben werden. Insbesondere der unveränderte Bevölkerungszuwachs wird auch weiterhin ein erhebliches Moment dieser Entwicklung sein. Betrug der Zuwachs der Weltbevölkerung zwischen den Jahren 800 und 1800 rd. 0,5 Mrd. Menschen und zwischen den Jahren 1800 und 1950 rd. 1,5 Mrd. Menschen, so wird er von den Jahren 1950 bis 2100 auf rd. 8,5 Mrd. Menschen prognostiziert[2].

Diese Entwicklungen, die summarisch auch als *global change* bezeichnet werden, führen zu einem erheblichen Nutzungsdruck auf natürliche Ressourcen. Dies gilt insbesondere für die Grundwasserressourcen, dem weltweit größten verfügbaren Süßwasserspeicher. Er ist die wichtigste Grundlage der Trinkwasserversorgung sowie in ariden und semiariden Gebieten die wesentliche Quelle der Bewässerungslandwirtschaft und damit der Nahrungsversorgung. Die Begrenztheit nutzbarer Wasservorkommen sowie die ökonomischen, ökologischen und sozialen Probleme, die daraus resultieren, sind uns aus den ariden und semiariden Gebieten der Erde bekannt. Offen ist, wie sich die Situation in den wasserreichen Regionen künftig entwickeln wird.

Die Vereinten Nationen haben für eine globale nachhaltige Entwicklung insgesamt 17 Entwicklungsziele (*Sustainable Development Goals*) formuliert[3]. Mindestens die Ziele *Zero Hunger* (2), *Clean Water and Sanitation* (6) und *Responsible Consumption and Production* (12) sind unmittelbar mit der hinreichenden Verfügbarkeit von Wasser verknüpft. Zu den wesentlichen Zielen geowissenschaftlicher Forschung und Entwicklung gehören in diesem Kontext die Unterstützung von Entscheidungsprozessen in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, die Beratung auf höchstmöglichem Niveau auf der Grundlage unvoreingenommener und belastbarer wissenschaftlicher Informationen, die Entwicklung und Anwendung geeigneter Prognosewerkzeuge und Monitoring-Technologien sowie die Zusammenarbeit in (inter)nationalen Forschungskooperationen.

Blick auf den globalen Grundwasserhaushalt: Lediglich etwa drei Prozent des Wassers auf der Erde ist Süßwasser. Es verteilt sich zu rd. zwei Dritteln auf Gletscher und polare Eiskappen und zu rund einem Drittel auf Grundwasservorkommen. Der Anteil des Oberflächenwassers in Seen, Sümpfen und Flüssen ist demgegenüber verschwindend gering. Rezente Wasservorkommen werden im Wesentlichen aus dem aktuellen Niederschlag gespeist. Der weltweite Niederschlag lässt sich auf ungefähr 110.000 km^3/a abschätzen. Berücksichtigt man den Wasserbedarf für den Erhalt natürlicher Ökosysteme, für anthropogene Ökosysteme, Regenfeldbau, Weiden und Forstwirtschaft sowie den unzugänglichen oberirdischen Abfluss, so verbleiben rund 13.000 km^3/a; davon nutzt der Mensch heute ungefähr 4.500 km^3/a. Dieses Wasser ist auf der Erdoberfläche nicht gleich verteilt. Überschuss im Bereich der humiden Klimazonen kompensiert nicht Defizite in den Trockengebieten. Die Anteile von Oberflächen- und Grundwasser an der Wassernutzung variieren regional und saisonal.

Das Wasser wird zu rund 70 % in der Landwirtschaft, zu 30 % in der Industrie und zu 10 % in Haushalten, davon etwa 1 % als Trinkwasser, genutzt. Eine physische Wasserknappheit liegt in den Trockengebieten der Erde vor. Davon zu unterscheiden ist eine ökonomische Wasserknappheit, definiert als die ökonomisch bedingte Nutzungseinschränkung physikalisch nutzbarer Wasservorkommen. Diese findet sich im Wesentlichen in zentralafrikanischen Ländern sowie in Teilen von Südamerika und Südostasien. Neben den quantitativen Aspekten ist natürlich die Grundwasserbeschaffenheit von Bedeutung. Insbesondere in industrialisierten Ländern und in Gebieten mit Intensivlandwirtschaft sowie in Trockengebieten und Küstenzonen können bestimmte Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen die Nutzungsmöglichkeiten der Grundwasservorkommen stark einschränken oder bei entsprechender Aufbereitung kostenintensiv gestalten.

Das Volumen des Oberflächenwassers lässt sich auf etwa 104.000 km^3 abschätzen. Bei einer Erneuerungsrate von rund 39.000 km^3/a ergibt dies eine mittlere Verweilzeit von weniger als drei Jahren. Demgegenüber steht ein abgeschätztes Grundwasservolumen von ungefähr 10.500.000 km^3. Bei einer Erneuerungsrate von rund 3.000 km^3/a ergibt sich eine mittlere Verweilzeit von etwa 3.500 Jahren. Die Erneuerungsraten definieren die Grenzen einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung. Das verhältnismäßig große Volumen der Grundwasservorkommen bei gleichzeitig geringer Erneuerungsrate kann eine scheinbare Versorgungssicherheit vorspiegeln und die Gefahr einer Übernutzung im Vergleich zu den Oberflächengewässern deutlich erhöhen.

Das *Gravity and Climate Experiment (GRACE)* der NASA hat die regionale Veränderung von Wasserspeicher weltweit erkundet[4]. Die Auswertungen zeigen im Trend eine kontinuierliche Abnahme des gespeicherten Grundwasservolumens in den wichtigsten Aquifersystemen der ariden und semiariden Gebiete der Welt zwischen 2002 und 2016.

Küstenzonen und Trockengebiete: Küstenzonen stellen im Hinblick auf die Sicherung der künftigen Wasserversorgung eine besondere Herausforderung

1 Prof. Dr. Ralph Watzel
Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2, 30655 Hannover

2 United Nations 2019

3 United Nations 2015

4 Famiglietti 2014, Rodell et al. 2018

Quelle: R. Watzel

Abb. 1: Episodisch fließendes Rinnsal nach Starkregenereignis in der arabischen Wüste

dar. Weltweit leben bereits heute etwa zwei Mrd. Menschen in Küstenzonen, insbesondere in Großstädten in Süd- und Südostasien. Die Diskussion um den Meeresspiegelanstieg und Extremereignisse wie der Tsunami im Jahr 2004 weisen auf die Vulnerabilität von Küstenstädten hin. Daneben vollzieht sich eine andere Entwicklung oft und lange unbemerkt. Intensive Grundwasserentnahmen, Verminderung der Grundwasserneubildung durch weitgehende Oberflächenversiegelung sowie hohe Auflast durch städtische Bebauung in Verbindung mit setzungsempfindlichem Baugrund führen in zahlreichen Großstädten in Küstenzonen zu einer deutlichen Subsidenz. Neben den negativen Auswirkungen für die Infrastruktur führen die Grundwasserentnahmen zu einer Versalzung der küstennahen Aquifere.

Mit Blick auf die Größe der betroffenen Flächen stellt die Grundwassernutzung in ariden und semiariden Gebieten die größte Herausforderung dar. Die teilweise sehr bedeutenden Grundwasservorkommen wurden überwiegend durch fossile Neubildung während des Pleistozäns gespeist. Rezente Grundwasserneubildungsraten lassen sich in der Größenordnung von 1–3 mm/a abschätzen. Aufgrund des drängenden Bedarfs werden Grundwasservorkommen in ariden Gebieten deshalb häufig nicht streng nachhaltig genutzt. Durch eine kontinuierliche Grundwassergewinnung über den Neubildungsraten in Kombination mit zunehmendem Bedarf aufgrund der Bevölkerungsentwicklung zeigt sich die Herausforderung mit Blick auf die künftige Entwicklung. Eine Detailbetrachtung für Jordanien[5], eines der wasserärmsten Länder der Welt, dokumentiert diese Entwicklung eindrücklich.

Ausblick: Durch das weitere Bevölkerungswachstum, Anpassungen infolge des Klimawandels und nicht nachhaltiger Produktion in globalen Wertschöpfungsketten (virtuelles Wasser) wird es einen deutlichen Zuwachs des globalen Wasserbedarfs insbesondere in semiariden Gebieten geben. Die Stellschrauben auf der Dargebotsseite sind vielfältig: Ressourceneffizienz in der Beregnungslandwirtschaft steigern, Nachernteverluste und Verschwendung reduzieren, Bewusstsein steigern und Konsumgewohnheiten anpassen sowie Wasserverluste in der Infrastruktur reduzieren. Gleiches gilt für das Dargebots-Management: anthropogener Rückhalt des oberirdischen Abflusses in Trockengebieten über und unter der Erdoberfläche, Regenwassersammlung wo klimatisch bedingt möglich, Fernwasserversorgung wo physikalisch, wirtschaftlich und politisch realisierbar, Abwasserrecycling und gezielte Anreicherung im Untergrund und Meer- und Brackwasserentsalzung.

Welche Stellschrauben in welchem Umfang und in welchen Teilen der Welt nutzbar sein werden, ist heute offen. Sie beziehen sich jedoch im Wesentlichen auf Maßnahmen und Prozesse die, zumindest

5 MWI and BGR 2019

Quelle: R. Watzel

Abb. 2: Wadi Arab im Nordwesten Jordaniens

auf der regionalen Betrachtungsebene, quantifizierbar und damit prinzipiell prognosefähig sind. Für die Auswirkungen des Klimawandels im Hinblick auf die räumliche und zeitliche Verteilung der Grundwasserneubildung ist dies heute nur mit Einschränkungen in Form von Szenarien-Techniken möglich.

Trockengebiete, die in der Wasserversorgung schon heute auf die Nutzung fossiler Grundwässer angewiesen sind und die einen deutlich steigenden Bedarf für die Trinkwasserversorgung und die Nahrungsmittelproduktion verzeichnen, weisen den drängendsten Handlungsbedarf auf. Hier kann die strategische Exploration tiefer Grundwasservorkommen in Verbindung mit einer sorgsamen Nutzung Zeit schaffen, um an den vorstehend aufgeführten Stellschrauben dauerhaft und erfolgreich zu drehen. Wichtig ist, dass die Nutzung dieser sensiblen Grundwasservorkommen unter ganzheitlichen Managementansätzen erfolgt. Zwingend erforderlich hierfür sind qualifizierte Prognosewerkzeuge, die auf belastbaren Daten sowie einem hinreichenden Systemverständnis basieren und sachgerecht zur Anwendung kommen. Prognosen über das Aquiferverhalten unter bestimmten Bewirtschaftungsszenarien sind mit einem geeigneten Monitoring zu begleiten, um Fehlentwicklung möglichst früh erkennen und bestenfalls korrigieren zu können.

Fazit: Wir müssen erkennen und akzeptieren, dass die Menschheit in bestimmten Teilen der Welt auf dem Weg ist mehr Grundwasser zu nutzen als verfügbar sein wird – auch deshalb, weil die Einschränkungen der Oberflächenwassernutzung häufig zu eine Übernutzung der Grundwasservorkommen führt. Grundwasser wird mehr und mehr zum Schlüsselelement nationaler und internationaler Wasserversorgungen. Dies erfordert prioritär das Bedienen der Stellschrauben auf der Bedarfsseite, insbesondere bei der Nutzungseffizienz in der Landwirtschaft. In Teilen der ariden und semiariden Gebiete werden auf Dauer alle denkbaren Maßnahmen auf der Bedarfs- und der Dargebotsseite erforderlich sein, um die Grundwassernutzung langfristig zu ermöglichen. Sind diese Spielräume ausgereizt bleibt die Meerwasserentsalzung als ultima ratio. Um die Grundwasservorkommen in Küstenzonen und (semi)ariden Gebieten möglichst nachhaltig zu gestalten ist ein qualifiziertes Grundwassermanagement erforderlich. Dies muss auf einer umfassenden hydrogeologischen Exploration und geeigneten Prognosetechniken aufsetzen. Praktisch sind dabei in vielen Fällen noch Defizite zu überkommen. Verfügbare Informationen über maßgebliche Grundwasservorkommen basieren oft auf groben Annahmen und schwanken teilweise um Größenordnungen. Grundwassermengen und Grundwasserbeschaffenheit müssen einem systematischen und qualifizierten Monitoring unterworfen werden. Daten müssen auch grenzüberschreitend transparent und zugänglich sein.

Literatur

- MWI and BGR (Ministry of Water and Irrigation; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) 2019. Groundwater Resource Assessment of Jordan 2017. Amman, Jordan
- J. S. Famiglietti 2014. The global groundwater crisis. Nature Climate Change 4, 945-948(2014)
- M. Rodell, J. S. Famiglietti, D. N. Wiese, J. T. Reager, H. K. Beaudoing, F.W. Landerer & M.-H. Lo 2018. Emerging trends in global freshwater availability. Nature 557, 651-659(2018)
- United Nations 2015. Sustainable Development Goals – 17 Goals to Transform our World, http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/
- United Nations 2019. World Population Prospects, The 2019 Revision, https://population.un.org/wpp

Ein innovatives Erkennungs- und Abscheideverfahren für Mikroplastik

Rüdiger Schwarze[1], Emanuel Thom[1], Martin Heinrich[1], Miriam Willger[2], Andreas Bräuer[2]

Die Professur für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen und das Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik wollen gemeinsam mit zwei Industrieunternehmen in den nächsten zwei Jahren eine neue Klärtechnologie zur selektiven Entfernung von Mikroplastik aus Industrieabwasser entwickeln. Die Partner arbeiten hierfür in einem gemeinsamen ZIM-Kooperationsprojekt an einer neuartigen Flotationsanlage und einem In-situ-Nachweisverfahren für Mikroplastik.

Eine Flotationsanlage besteht aus einem Reaktionsgefäß mit Zu- und Ablauf, einer Belüftungseinheit, einer Dosiereinheit für Chemikalien, einem Abstreifer, einer Schwimmschicht und einem Aufnahmebecken für das abgetrennte Material. Herkömmliche Flotationsverfahren eignen sich allerdings nur bedingt zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Abwasser, da die an den Belüftungsdüsen erzeugten Blasen um ein Vielfaches größer sind als die zu entfernenden Teilchen. Die Anlagerungswahrscheinlichkeit eines Teilchens an eine Blase ist dadurch sehr gering und das Verfahren somit ineffizient. Bei der rein physikalischen Druckentspannungsflotation werden Blasen direkt an den Mikroplastikteilchen erzeugt, allerdings müssen dabei teilweise sehr große Kapillarspannungen überwunden werden. Die hierfür notwendigen sehr hohen Drücke machen auch dieses Verfahren energetisch ungünstig.

Der innovative Projektansatz beim Flotationsverfahren beruht auf der chemisch induzierten Blasenbildung direkt auf der Oberfläche der Mikroplastikteilchen, *Abbildung 1*. Dem Abwasser wird Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zugesetzt, das direkt an der Oberfläche zu Wasser und Sauerstoff zerfällt. Für diese Zerfallsreaktion wird noch ein Katalysator benötigt, beispielsweise Natriumhydroxid (NaOH). Der in der Zerfallsreaktion freigesetzte Sauerstoff aktiviert und vergrößert Nanobläschen, die an der Oberfläche der rauen Mikroplastikteilchen anhaften. Die anwachsenden Blasen führen dann zu einer wesentlichen Erhöhung der Auftriebskräfte der Teilchen-Blase-Cluster. Die Cluster steigen zur Wasseroberfläche auf, wo sie aufgefangen und aus der Flüssigkeit entfernt werden können. Um die Blasenbildung an den Mikroplastikteilchen zu verstärken, können auch physikalische Methoden wie etwa das Druckentspannungsverfahren zur Beschleunigung der Blasenbildung und somit zur Beschleunigung des Flotationsprozesses eingesetzt werden.

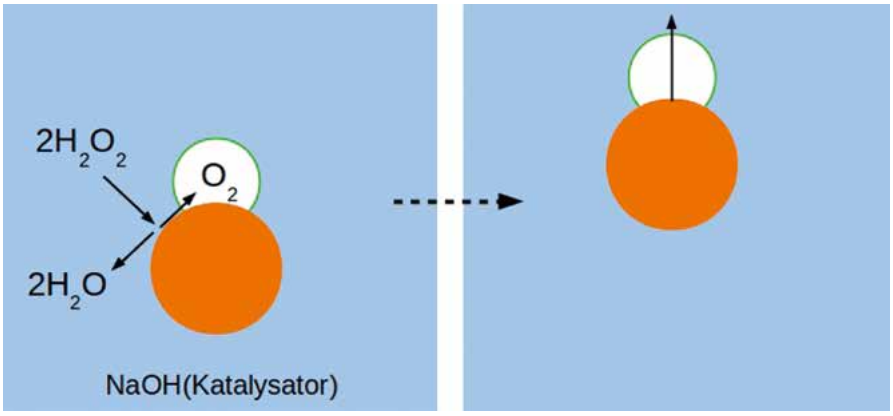


Abb. 1: Funktionsweise des Verfahrens: Dem Abwasser wird Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zugesetzt. Dieses zerfällt am Mikroplastikteilchen neben Wasser zu Sauerstoff, der sich als Blase am Teilchen ansammelt. Aufgrund der erhöhten Auftriebskraft steigt der Teilchen-Blase-Cluster auf.

Voruntersuchungen im Kleinstmaßstab haben gezeigt, dass mit der beschriebenen Zerfallsreaktion die Blasenbildung auf Mikroplastikteilchen induziert werden kann, die wenige Mikrometer bis zu einigen Millimetern groß sind, Abbildung 2. Daher erwarten die Projektpartner, dass mit dem Verfahren auch die als besonders problematisch betrachteten, sehr kleinen Mikroplastikteilchen mit Größen von wenigen Mikrometern aus dem Abwasser entfernt werden können.

Die Idee zu diesem neuen Abscheideverfahren kam den Wissenschaftlern durch Beobachtungen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 920. Dort führt ein ähnlicher Prozess, die reaktive Bildung von CO-Blasen, zu einer verstärkten Entfernung von nichtmetallischen Einschlüssen aus Stahlschmelzen.

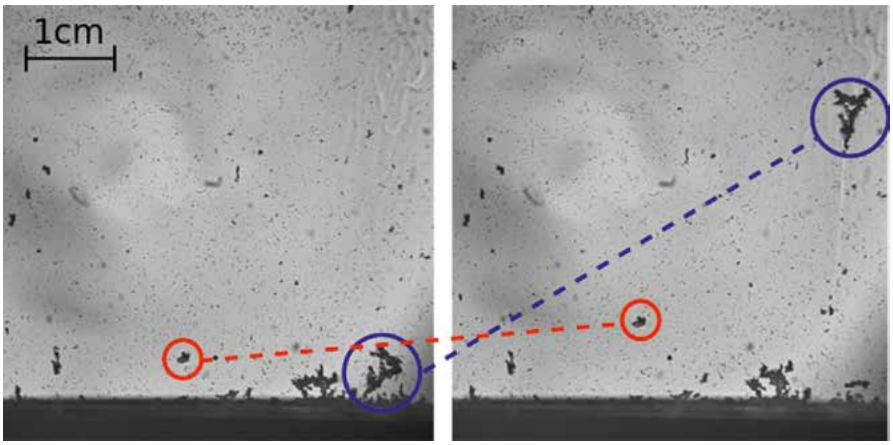
Im Projekt werden die einzelnen Prozessschritte zunächst an einer Reinigungsstrecke im Labormaßstab im Detail untersucht. Hierfür wird an der TU Bergakademie Freiberg eine Laboranlage mit einem zu reinigenden Wasservolumenstrom von bis zu 50 Litern pro Stunde installiert. In die Reinigungsstrecke werden die verschiedenen zu erprobenden Komponenten, wie etwa Düsen zur Chemikalienzufuhr und Abräumer zur Schaumabnahme, integriert. Das Ziel der Vorstudien an der Laboranlage ist die Erforschung der Eignung und Güte der eingesetzten Materialien, der genutzten Chemikalie Wasserstoffperoxid sowie der gewählten Prozessparameter. In den Laborversuchen wird Trinkwasser mit künstlich zugefügter Mikroplastikkontamination als Modellabwasser genutzt.

An der Laboranlage sollen die relevanten Parameter wie Trennungsgrenze, Volumen, Einwirkzeit und Absetzzeiträume nach der Flotation überprüft werden, um die getroffenen Einstellungen zu validieren und die Qualität der reaktiven Reinigungsstufe und des innovativen Flotationsverfahrens zu bewerten.

Parallel zu den Experimenten wird der Prozess in der Reinigungsstrecke auch mit Computational Fluid Dynamics (kurz CFD) untersucht. Das CFD-Modell bildet die komplette Wasserströmung, die Bewegung der Mikroplastikpartikel im Wasser, den Transport und Zerfall von Wasserstoffperoxid in der Strömung, sowie die Blasenbildung und die Flotation der Mikroplastikteilchen ab. Die Simulationen liefern ergänzende Informationen über das Anlagenverhalten, insbesondere über die Wirksamkeit des Flotationsprozesses in der Reinigungsstrecke.

Die aus experimentellen und numerischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse werden zur Vorbereitung des Anlagen-Scale-Ups genutzt, bei der die Laboranlage auf eine Anlage im Industriemaßstab mit Wasservolumenströmen von bis zu 1.000 Litern pro Stunde überführt wird. Die auf den Industriemaßstab hochskalierte Anlage wird anschließend in eine geeignete Abwasseraufbereitungsanlage integriert. Der Anlagenbetrieb und die Probenahme sollen automatisiert erfolgen,

1 Institut für Mechanik und Fluiddynamik
2 Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Naturstoff- und Umweltverfahrenstechnik



Quelle: TU Bergakademie Freiberg

Abb. 2: Nachweis des Verfahrens im Laborversuch. Im linken Bild sind ein Mikroplastikteilchen (rot eingekreist) und ein Cluster aus Mikroplastikteilchen (blau eingekreist) zu erkennen, die zu Beginn am Boden eines wassergefüllten Gefäßes liegen. Das rechte Bild zeigt zu einem späteren Zeitpunkt die aufsteigenden Teilchen-Blase-Cluster.

sodass die Prozessführung und auch die Grenzwertüberwachung gegenüber bestehenden Techniken deutlich verbessert werden und die Reaktionsfähigkeit des Anlagenbetreibers erhöht wird. An der hochskalierten Anlage sind umfangreiche Feldversuche geplant, die eine breite Datengrundlage zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Reinigungsprozesses unter Praxisbedingungen sowie zur weiteren Verbesserung der Prozessführung liefern sollen.

Eine weitere wesentliche Innovation im Projekt ist die Entwicklung eines quantitativen Nachweisverfahrens, das die Mikroplastikbeladung in Wasser und Abwasser *in situ* erkennen und auswerten soll. Damit entfällt die heute übliche Analytik durch Probennahme und zeitaufwendige *Ex-situ*-Probenaufbereitung im Analyselabor.

Das Nachweisverfahren basiert auf der stimulierten Raman-Streuung. Dabei wird die Lichtstreuung an Molekülen stimuliert, die (nur) in Kunststoffen enthalten sind. Die detektierten Streulichtsignale enthalten Informationen über die Menge und die Art des Mikroplastiks.

In Kombination mit dem neuartigen Flotationsverfahren ermöglicht es einen nachfragegestützten *(on demand)* Einsatz der Abscheidetechnologie. Die für die reaktive Reinigung notwendigen Chemikalien werden nur bei einer Grenzwertüberschreitung der Mikroplastikbeladung zugegeben. Die Dosierung der Chemikalien erfolgt nach Maßgabe der Mikroplastikkonzentration im Abwasser. Dadurch sollen die Betriebskosten der neuen Anlagentechnologie möglichst gering gehalten werden. Über einen nachgeschalteten Detektionssensor kann anschließend auch die Funktionalität der gesamten Flotationsanlage beurteilt werden. Die innovative Mikroplastik-Sensorik wird zunächst an der Laboranlage und später in den Feldversuchen erprobt.

Das finale Ziel der Partner und des Projekts ist die Entwicklung eines marktreifen Prototyps einer Kläranlage, mit der sich mindestens 95 Prozent der im Wasser dispergierten feinen Mikropartikel in einem Größenbereich bis minimal 5 µm selektiv aus dem Abwasser entfernen lassen. Das Verfahren soll kontinuierlich eingesetzt und zunächst zur Aufreinigung von Wassermengen von 50 bis 1.000 l/h verwendet werden. Nach der erfolgreichen Entwicklung des Prototyps soll das neue Flotationsverfahren durch ein weiteres Scale-Up großtechnisch einsetzbar gemacht werden.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Organisch modifizierte Tonminerale – zielorientierte Entwicklungen zur Eliminierung von umweltschädigenden PFAS

Paul Scapan[1], Andrea C. Guhl[1], Brigitte Haist-Gulde[2], Frank Sacher[2], Martin Bertau[1]

Einleitung

Mit der Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS, auch unter PFC bekannt) hat man im Alltag sehr häufig zu tun: In vielen wasser- und schmutzabweisenden Beschichtungen sind diese Verbindungen enthalten. Während sie ihre Funktion ausüben, können sie sich von der Kleidung und anderen Gegenständen lösen und so in die Umwelt gelangen. Problematisch ist hierbei, dass eine Vielzahl dieser chemischen Verbindungen nicht biologisch abgebaut werden kann und somit lange in der Umwelt verbleibt. Viele Verbindungen sind toxisch und stehen im Verdacht Krebs zu begünstigen oder auszulösen. In Freiberg wurde auf der Basis von natürlichen Tonmineralen ein Material entwickelt, welches in der Lage ist, diese Schadstoffe effektiv aus wässrigen Systemen zu entfernen.

Die geochemischen Gegebenheiten von Dreischicht-Tonmineralen

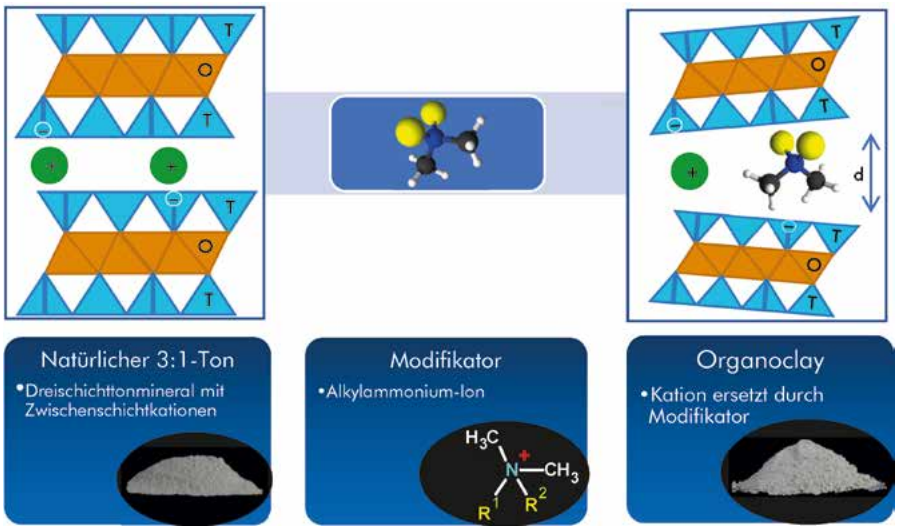
Die Arbeiten am Institut für Technische Chemie begannen mit einem ungewöhnlichen Gestein: Alginit. Es wird in einer Lagerstätte in Ungarn abgebaut und weist eine Reihe technisch interessanter Eigenschaften auf, darunter die Fähigkeit zur Eliminierung hormoneller Verunreinigungen wie Bisphenol A oder 17β-Estradiol aus Wasser.[1] Im Zuge dessen gelang es ein mechanistisches Modell zu entwickeln, welches das Adsorptionsverhalten für eine ganze Reihe verschiedener Umweltschadstoffe einschließlich Medikamentenrückstände zutreffend beschreibt und bis heute gültig ist. Demnach sind Tonmineral-Organik-Komposite die Grundlage für die Entfernung von Schadstoffen. Die Tonminerale bildeten sich im Laufe geochemischer Prozesse in der Lagerstätte, die organischen Komponenten stammen aus fossilen Überresten von Algen.

Diese Erkenntnis bildete den Ausgangspunkt für die Synthese von synthetischen Tonmineral-Organik-Kompositen

1 Institut für Technische Chemie, Leipziger Straße 29, 09599 Freiberg; Korrespondenz: martin.bertau@chemie.tu-freiberg.de
2 DVGW: Technologiezentrum Wasser, Karlsruher Str. 84, 76139 Karlsruhe

mit maßgeschneiderten Eigenschaften für den Einsatz als Adsorbenzien. Hierbei dienten Dreischicht-Tonminerale wie Montmorillonit als Basiskomponente. Dieser Typ Tonmineral hat den Vorteil, dass die Schichtstruktur im Zwischenschichtbereich negative Ladungen aufweist. Die natürliche negative Ladung im Kristallgitter resultiert aus der unvollständigen Absättigung mit positiv geladenen Metallionen. Für den technischen Einsatz ist das eine interessante Eigenschaft, denn sie ermöglicht den erleichterten Austausch von Metallionen und Säureprotonen. In der Natur sind die positiven Gegenionen oft Natrium, Magnesium oder Calcium. Das Interessante daran ist, dass der Abstand der negativ geladenen Schichten im Kristallgitter einen Mindestwert aufweisen muss, um die Metallkationen einzulagern. Denn man kann sich genau diese Eigenschaft zunutze machen, indem organische Verbindungen in die Zwischenschicht eingebracht werden, die dem Tonmineral besondere Eigenschaften verleihen. Der notwendige Anker dafür ist eine positive Ammoniumgruppe, die den organischen Teil fest im Kristallgitter verankert.

Diese Kationenaustauschreaktion ist schematisch in *Abbildung 1* dargestellt. Das Kation des Moleküls Hexadecyltrimethylammoniumbromid (CTAB) wurde in die Zwischenschicht eingebracht. Dabei verdrängt es durch verschiedene Wechselwirkungen Wasser und positiv geladene Kationen. In der Folge ist nun ein Großteil der Zwischenschicht vom Kation Hexadecyltrimethylammonium (CTA) belegt und über elektrostatische Wechselwirkungen an die negativ geladene Schicht gebunden. Damit ändern sich grundlegende Eigenschaften des Tones: das zuvor ausgeprägte Quellverhalten des Dreischicht-Tonminerals ist kaum noch zu finden. Dies kann unter anderem damit begründet werden, dass die Zwischenschicht stark organisch, vereinfachend gesagt fettliebend bzw. wasserabweisend, geprägt ist und sich somit weniger Wassermoleküle in diesem Bereich einlagern lassen. Zugleich bewirkt das CTA-Molekül eine Weitung des Zwischenschichtabstands, wie entsprechende röntgendiffraktometrische Messungen zeigen. Aufgrund der Modifizierungen des Tonminerals (englisch: *clay*) mit dem organischen Tensid CTA werden diese Materialien *Organoclay* genannt. In vorangegangenen Untersuchungen wurde bereits gezeigt, dass viele unterschiedliche Schadstoffe entfernt werden können: Pestizide, Herbizide, Antibiotika und



Abbb. 1: Kationenaustauschreaktion eines 3:1-Tonminerals durch Alkylammoniumionen

Phenolderivate sind nur einige Beispiele. Im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Technische Chemie in Kooperation mit dem DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches – Technologiezentrum Wasser) wurde das Konzept weiterverfolgt und zielgerichtet auf die Entfernung von per- und polyfluorierten Verbindungen angewandt.

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen – ständige Wegbegleiter im Alltag

Bei per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen handelt es sich um Verbindungen, bei denen alle Wasserstoffatome im Molekül entweder teilweise (poly-) oder vollständig (perfluoriert) durch Fluoratome ersetzt worden sind. Hergestellt werden können sie beispielsweise im Simons-Prozess durch elektrochemische Umsetzung einer Lösung mit Carbon-, Sulfonsäuren oder tertiären Amiden mit wasserfreier Flusssäure.[2] Das Hauptmerkmal dieser chemischen Verbindungen ist die geringe Fähigkeit zur Wechselwirkung mit anderen Substanzen. Darauf beruht ihre Verwendung als Wasser- und Schmutzabweiser, Antihaftbeschichtung u. a.[3] Diese Verbindungsklasse umfasst über 4.700 verschiedene Moleküle einschließlich fluorhaltiger Polymere wie Polytetrafluorethylen PTFE (Teflon®) oder Polyvinylfluorid PVF. Der Verbraucher findet solche per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Regenjacken, Einmalbechern oder Pizzakartons. Sie wurden ebenfalls in Feuerlöschschäumen eingesetzt. Laut einer Studie des Umweltbundesamts produzieren 27 Unternehmen weltweit 45 t/a PFAS, hauptsächlich für wasser- und schmutzabweisende Applikationen.[4]

Die zahlreichen Derivate lassen sich abhängig von den funktionellen Gruppen in mehrere Unterkategorien aufteilen: perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren, Fluortelomere und Fluorpolymere sind dabei die wichtigsten Vertreter.

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren, die bekanntesten Vertreter der PFAS, weisen in Wasser geladene Kopfgruppen (Carboxy- bzw. Sulfonylgruppe) sowie einen hydrophoben Kohlenstoff-Fluor-Rest auf. Sie werden demnach als Tenside klassifiziert. Darunter zählen wichtige Derivate der perfluorierten Carbon- und Sulfonsäuren mit vier, sechs oder acht Kohlenstoffatomen. Wichtige Vertreter sind in *Abbildung 2* dargestellt.

Viele dieser Verbindungen liegen aufgrund des starken Elektronenzugs der C-F-Bindungen in Wasser deprotoniert vor und weisen somit eine gute Wasserlöslichkeit auf. Mit sinkender Kettenlänge nimmt der Einfluss der geladenen Kopfgruppe zu, sodass die Derivate in wässrigen Lösungen sehr mobil sind.

Die C-F-Bindungen fallen unter die stärksten chemischen Bindungen und sind daher einem mikrobiellen Abbau kaum zugänglich. Insbesondere bei den polyfluorierten Verbindungen wird in aquatischen Systemen vorrangig der nicht-fluorierte Teil angegriffen. Entsprechend erfolgt dieser Abbau solange, bis das Molekül nur noch Kohlenstoff-Fluor-Bindungen aufweist (sogenannte Dead-End-Produkte).[5] Diese Verbindungen sind persistent, d. h., sie werden nicht weiter abgebaut und reichern sich somit über die Zeit in der Umwelt an. Problematisch ist die gleichzeitige starke Akkumulation in Organismen, insbesondere in deren Fettgewebe und über die Nahrungskette

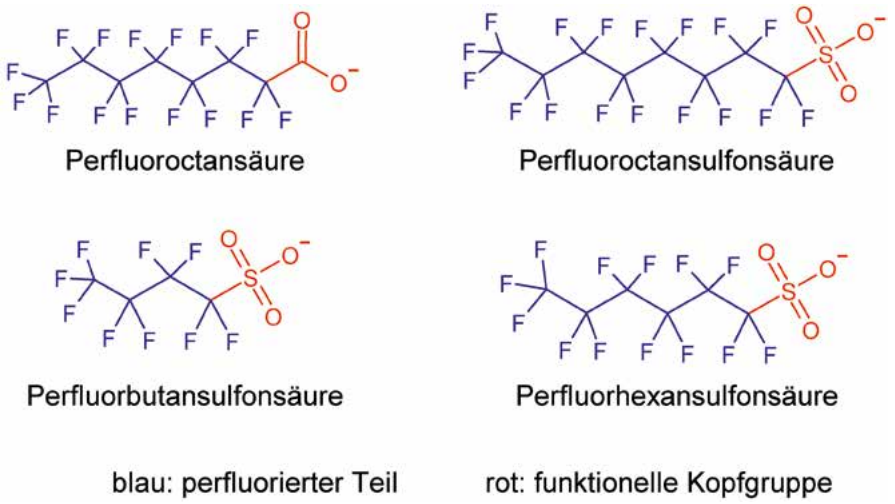


Abb. 2: Wichtige Vertreter perfluorierter Substanzen

schließlich auch im Menschen. Langkettige Derivate, wie Perfluoroctansulfonsäure bzw. Perfluoroctansäure weisen Halbwertszeiten im menschlichen Blut von über dreieinhalb Jahren auf, sodass selbst bei längerem Kontakt mit geringen Konzentrationen erhebliche Mengen der Schadstoffe im Körper akkumuliert werden.[6] In zahlreichen Untersuchungen wurde festgestellt, dass viele PFAS zudem toxisch sind und krebserregende sowie erbgutverändernde Eigenschaften aufweisen. Mit hoher Gewissheit besteht ein konkreter Zusammenhang zu erhöhten Cholesterinwerten, Schilddrüsenerkrankungen sowie Nieren- und Hodenkrebs.[7] Auf diese Erkenntnisse hin haben verschiedene politische Institutionen reagiert und die Produktion einiger PFAS beschränkt oder untersagt. Die Herstellung von Perfluoroctansulfonsäure *(Abbildung 2)* wurde 2006 EU-weit verboten, die von Perfluoroctansäure 2020. Für Perfluorhexansulfonsäure ergab sich eine Einstufung als *Substance of Very High Concern (SVHC)* gemäß der aktuellen REACH-Verordnung. Perfluorbutansulfonsäure wurde dieses Jahr in die Kandidatenliste der *SVHC* aufgenommen.[8] Diese vier Vertreter zeigen, dass aufgrund zunehmender Erkenntnisse zu dieser Stoffgruppe ein restriktiveres Vorgehen seitens der Legislative erfolgt. Insbesondere die in *Abbildung 2* dargestellten PFAS sind umfassend untersucht und in ihren persistenten, bioakkumulierenden und toxischen Eigenschaften erfasst. Weitere Vertreter der PFAS-Gruppe verhalten sich ähnlich, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Liste der persistenten Umweltschadstoffe zeitnah um weitere Derivate erweitert werden wird. Eine umfängliche Untersuchung bei allen über 4.700 Verbindungen der Stoffklasse würde Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Daher wird eine einfache und kostengünstige Lösung benötigt, die sich zuverlässig zur Entfernung der gesamten Stoffgruppe aus verschiedensten Umweltkompartimenten eignet.

Schadstoffreduktion durch organisch-modifizierte Tonminerale

Für einige PFAS existieren bereits gesetzliche Vorgaben für Trink- und Abwasser sowie fließende Gewässer, die indes mancherorts überschritten werden. Schadensfälle wie auch der Einsatz von speziellen Feuerlöschschäumen können dazu beitragen, dass sich hohe Konzentrationen im Boden ausbilden. Zur Minimierung der Schadstoffkonzentrationen muss die Nutzung und Produktion von PFAS gesenkt werden. Bei erhöhten Belastungen von zur Trinkwassergewinnung genutzten Wässern oder Industrieabwässern mit PFAS kann beispielsweise Aktivkohle eingesetzt werden. Abhängig von der Adsorbierbarkeit des vorliegenden Störstoffs kann der Einsatz hoher spezifischer Aktivkohlemengen erforderlich sein. Dieses Verfahren ist mit rund 2.000 €/t Aktivkohle sehr kostenintensiv.[9] Im direkten ökonomischen Vergleich ist Bentonit, ein Gestein mit hohem Montmorillonit-Anteil, im Vorteil: Es ist mit rund 100 €/t zwanzigmal günstiger.[10] In eigenen Arbeiten wurde Montmorillonit mit CTA modifiziert (CTA-Organoclay) und unterschiedliche wässrige Systeme untersucht, denen acht verschiedene PFAS zugesetzt worden waren. Zum Vergleich wurden entsprechende Untersuchungen mit Bentonit durchgeführt. In weiteren Versuchen erfolgte eine Variation der Konzentration des Adsorbens, der Schadstoffe, der Kontaktzeit sowie der Wassermatrix. Anhand von flüssigchromatographischen Konzentrationsmessungen an der HPLC-MS/MS konnten die jeweiligen PFAS-Gehalte in den Lösungen vor und nach Kontaktierung ermittelt werden. Beispielhaft sind die Eliminationsraten für die PFAS-Einzelstoffe in der Karlsruher Trinkwassermatrix bei Einsatz von 30 mg/L Adsorbens und einer Kontaktzeit von vier Stunden, wie in *Abbildung 3* dargestellt. Die PFAS-Einzelstoffe wurden der Matrix zugegeben und lagen jeweils in einer Ausgangskonzentration von 50 µg/L vor.

Es zeigte sich, dass der CTA-Organoclay im Kontakt mit einer 50 µg/L PFAS-Lösung drei der acht Moleküle (PFOA, PFHxS und PFOS) mit über 50 % Abreicherung zuverlässig entfernt. Insbesondere diese Derivate sind stärker reguliert und als toxikologisch relevanter eingestuft. Sie werden trotz länger bestehendem Verbot aufgrund ihrer Persistenz immer wieder in Flüssen und anderen Umweltbereichen

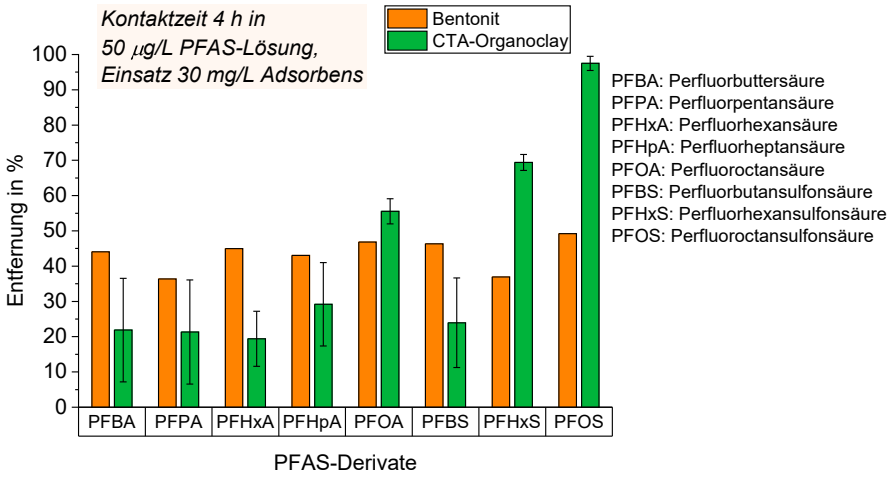


Abb. 3: Entfernungsraten für PFAS bei Einsatz von Bentonit und CTA-Organoclay

in in relevanten Mengen gefunden.[11] Außerdem haften langkettige Moleküle stärker am Adsorbens als kurzkettige Verbindungen *(s. a. Abbildung 3).* Verstärkt wird dieser Effekt bei Vorliegen einer Sulfonsäuregruppe. Bentonit weist für alle Verbindungen ein ähnlich hohes Entfernungsvermögen von rund 40 % auf. Ein Einfluss von funktioneller Gruppe oder Kettenlänge wurde bei diesem Adsorbens bislang nicht beobachtet. Somit liegt in Form organisch modifizierter Bentonite ein leistungsfähiges System zur Entfernung fluorierter Umweltkontaminanten vor. Folgeuntersuchungen haben nun zum Ziel, diesen Wert durch Modifikationen der organischen Ammoniumkomponente sowie verfahrenstechnischer Anpassungen weiter zu verbessern.

Zusammenfassung

Die bislang in der Öffentlichkeit kaum wahrgenommenen Organoclays sind sehr gut geeignet, PFAS-Konzentrationen in belasteten Wässern zu senken und die Schadstoffe zu entfernen. Insbesondere die toxikologisch relevanten, langkettigen Derivate werden effektiv eliminiert. Im Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, dass insbesondere hydrophobe Wechselwirkungen bei der Adsorption von enormer Bedeutung sind. Wirtschaftlich bedeutsam ist die Eignung des wesentlich kostengünstigeren Ausgangsmaterials Bentonit für diese Zwecke. Bevor Organoclays industriell in der Abwasserreinigung eingesetzt werden können, bedarf es noch weiterer Untersuchungen. Insbesondere werden Entfernungsraten zu optimieren sein. Dafür ist ein tiefergehendes mechanistisches Verständnis der auf molekularer Ebene ablaufenden Prozesse unabdingbar. Die erfolgreiche Entwicklung eines Modells für das ungleich kompliziertere System Alginit lässt begründeten Optimismus zu, dass diese Systeme in naher Zukunft vermehrt zur Anwendung kommen werden. Zudem ist der Einsatz anderer Modifikatoren geplant, um auch kurzkettige Derivate stärker in den Fokus zu nehmen.

Danksagung

Paul Scapan dankt der Arbeitsgruppe Technologie und Wirtschaftlichkeit im DVGW: Technologiezentrum Wasser für die Unterstützung seiner Masterarbeit.

Literatur

1 R. Tröbs, A. C. Guhl, M. Bertau, Chem. Unserer Zeit 2018, 52, 280.
2 Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Wiley, Chichester, 2010.
3 T. A. Unzner, T. Magauer, Tetrahedron Letters 2015, 56, 877.
4 T. P. Knepper, T. Frömel, C. Gremmel, I. v. Driezum, H. Weil, R. Vestergren, I. Cousins, Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoralkyl substances (PFASs) via use of PFASs-containing products – risk estimation for man and environment, Dessau-Roßlau, 2014.
5 OECD, Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Summary Report on uptdating the OECD 2007 List of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs), 2018.
6 Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 2009, 52, 878.
7 Europäische Umweltagentur, Emerging chemical risks in Europe – PFAS, 2019.
8 a) Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH). Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, 2006; b) Amtsblatt der Europäischen Union, Verordnungen L 150, 2017; c) European Chemicals Agency ECHA, Inclusion of substances of very high concern in the Candidate List for eventual inclusion in Annex XIV.
9 J. Janda, F. T. Lange, M. Riegel, Weitergehende Erfassung von PFC-Quellen im Einzugsbereich von Wasserwerken und Entfernung von kurzkettigen, persistenten PFC, Bonn, 2017.
10 U.S. Geological Survey USGS, Mineral Commodity Summaries (D. N. West), Clays. 2020, 2020.
11 D. Melles, S. Effkemann, E. Bartelt, Abschlussbericht zur Untersuchung von Fischen in der niedersächsischen Ochtum auf Perfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in 2019, Cuxhaven, 2019.

Prädiktive Geometallurgie in Freiberg – von „Virtual Twins“ und Prozessoptimierung

Kai Bachmann, Lucas Pereira, Raimon Tolosana-Delgado, Gerald van den Boogaart, Jens Gutzmer

Zusammenfassung

Der moderne Bergbausektor steht vor gewaltigen technischen Herausforderungen. Dazu zählen der Rückgang von Erzgehalten, der zunehmende Umgang mit komplexen Mineralparagenesen und sehr feinen Korngrößen aber auch einer steigenden Erzvariabilität. Mit Hilfe geometallurgischer Modelle versucht die Bergbauindustrie diese Herausforderungen zu bewältigen und das Verhalten des Erzes während des Abbaus, der Aufbereitung und der Verhüttung quantitativ vorherzusagen. Um hier einen Beitrag zu leisten, wird am Standort Freiberg seit 2008 geometallurgische Kernkompetenz aufgebaut. Diese Entwicklung wurde mit der Gründung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF), einer gemeinsamen Gründung des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) und der TU Bergakademie Freiberg (TU BAF) im Jahr 2011, stark beschleunigt. Aus diesem Grund zählt Freiberg heute weltweit zu den wichtigsten Forschungs- und Entwicklungsstandorten der Geometallurgie. In diesem Artikel werfen wir einen Blick auf den aktuellen Stand der Entwicklungen, mit Fokus auf zwei sehr erfolgreiche Projekte im Bereich der geometallurgischen Modellierung, sowohl primärer als auch sekundärer Rohstoffe.

Einführung

Als Geometallurgie bezeichnet man eine Forschungsrichtung, welche eine Integration von Geowissenschaften, Bergbauingenieurwesen, Mineralaufbereitung, extraktiver Metallurgie und Umweltwissenschaften anstrebt. Das ultimative Ziel dieser interdisziplinären Forschung ist es, ein digitales Modell bzw. einen virtuellen Zwilling *(virtual twin)* zu erzeugen, in dem Erzkörper, Bergwerk, Aufbereitungsanlage und Hüttenbetrieb gemeinsam dargestellt und vernetzt werden. So werden Prozesse optimiert und die Gesamteffizienz von Rohstoffprojekten gesteigert; die Verbindung zwischen den verschiedenen Teilen dieses ganzheitlichen digitalen Modells wird durch geeignete mathematische Modelle ermöglicht.[1] Damit ordnet sich die Geometallurgie also zwischen Geowissenschaften und rohstoffbezogenen Ingenieurswissenschaften ein. Sie zielt zum Beispiel darauf ab, die Ressourceneffizienz zu erhöhen sowie den Energieverbrauch und das technische Risiko des Bergbaubetriebs zu verringern[2]. Auf diese Weise ist es möglich, den ökonomischen Wert eines Erzkörpers zu maximieren und gleichzeitig das technische Risiko und die Umweltbelastung zu minimieren. Die Rohstoffgewinnung und -verarbeitung wird so integraler Bestandteil einer nachhaltigen Entwicklung, indem sichergestellt wird, dass alle Phasen der Gewinnung aus technischer und ökologischer Sicht optimiert sind. Während der

1 van den Boogaart und Tolosana-Delgado 2018
2 Gu et al. 2014

grundlegende geometallurgische Ansatz nicht neu ist, ermöglichten schnelle Fortschritte bei Mess- und Analysetechnologien und eine exponentielle Verbesserung der Rechenleistung viele Konzepte erst jetzt in der Realität. Insbesondere die Verfügbarkeit quantitativer Daten für die mineralogischen und mikrostrukturellen Eigenschaften von Erzen aus der Rasterelektronenmikroskop-basierten Bildanalyse hat in den letzten 15 Jahren einen wichtigen Schlüssel für den Erfolg der Geometallurgie im Bergbau geliefert.[3] Heute gibt es bereits eine Vielzahl von geometallurgischen Modellen, die abhängig vom Rohstoff- und Erztyp, dem Aufbereitungskreislauf, dem Abbaustadium und der Größe der Mine sind.[4] Viele dieser Ressourcenmodelle[5] nutzen allerdings nur sehr wenige Primäreigenschaften, im Wesentlichen die Konzentration der Wertelemente bzw. chemische Zusammensetzung. Nur diese Daten sind in einem ausreichend dichten räumlichen Gitter zu angemessenen Kosten vorhanden, um räumliche Interpolationen zu ermöglichen.

Um Geometallurgie hingegen als ganzheitlichen, quantitativen Ansatz implementieren zu können, akquirieren, aggregieren und kommunizieren geometallurgische Programme alle konkreten Daten. Diese sind erforderlich, um die (1) Eigenschaften des Erzkörpers räumlich aufzulösen *(geometallurgisches Modell des Erzkörpers)* sowie (2) alle gewinnungs- und aufbereitungsrelevanten Parameter zu erfassen und in einem quantitativen Vorhersagemodell abzubilden (*geometallurgisches Modell des Aufbereitungskreislaufs)*. Prädiktive geometallurgische Modelle sagen daher nicht nur die Qualität von Konzentraten und Rückständen sowie die metallurgische Gesamtleistung voraus. In einem industriellen geometallurgischen Programm können die gewonnenen zusätzlichen Informationen auch verwendet werden, um den Aufbereitungsprozess und die Qualitäten der Produktionsströme mit Hilfe partikelbasierter Datenströme anzupassen, und so die Anforderungen der Umweltgesetzgebung und eines veränderlichen globalen Markts zu gewährleisten. Dies geschieht zum Beispiel durch eine effektivere Nutzung der Ressourcen oder die Fähigkeit, größere Mengen von Erz geringerer Qualität mit geringeren Umweltauswirkungen zu verarbeiten. Durch die ganzheitliche Nutzung der gewonnenen Daten können außerdem, je nach Marktsituation, zusätzliche Ko- oder auch Beiprodukte gewonnen oder ein verbesserter Umgang mit Schadelementen implementiert werden.

Im Folgenden werden beispielhaft zwei geometallurgische Modelle vorgestellt, die in den letzten Jahren unter Federführung des HIF und in enger Zusammenarbeit mit der TU BAF entwickelt wurden. Diese beiden Modelle decken unterschiedliche Aspekte der Wertschöpfungskette ab. Zum einen ist das ein geometallurgisches Modell der Thaba Mine in Südafrika, welches im Rahmen des BMBF-geförderten CLIENT I-Projektes „Angewandte Mineralogie für Ressourceneffizienz von Platinmetallen (AMREP)“ entstand. Das zweite Modell beschäftigt sich mit der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen und wird im Moment im Rahmen des BMBF-geförderten CLIENT II-Projektes „Gewinnung von SE-Metallen und -verbindungen aus Flotationsrückständen des Karbonatit-Komplexes Catalão/Goias (MoCa)“ entwickelt.

Das CLIENT I-Projekt AMREP

Zusammen mit deutschen und südafrikanischen Partnern wurde ein prädiktives geometallurgisches Modell für die Thaba Chromium Mine im westlichen Bushveld Komplex in Südafrika entwickelt. Die Thaba Mine baut verschiedene Lagen von Chromitit ab, ein Erz welches zum erheblichen Teil aus dem Erzmineral Chromit besteht. Als Quelle des Stahlveredlers Chrom ist das Mineral essentiell für die globale Stahlindustrie. Ziel der Studie war es, neben Chrom auch weitere Wertelemente insbesondere Platingruppenmetalle, wie Platin und Palladium, zu gewinnen. Dabei fokussiert sich das geometallurgische Modell auf die Chromititlagen der sogenannten Lower Group und Middle Group (LG und MG) Chromitite und hierbei wiederum auf das LG-6, LG-6A, MG-1 und MG-2, welche zu den Zielhorizonten der Mine für einen möglichen Abbau im Tage-, wie auch Tiefbau gehören.

Um die geologische und geochemische Architektur der Thaba Mine zu verstehen und als Grundlage eines prädiktiven geometallurgischen Modells zu nutzen, verwendete das Projektteam einen umfangreichen Datensatz bestehend aus Bohrkernprofilen und geochemischen Analysendaten, um ein 3D-Blockmodell zu erstellen.[6] Die geochemischen Analysen ermöglichten eine umfassende statistische Auswertung, um die Variabilität innerhalb und zwischen den untersuchten Chromititlagen zu bewerten und den Datensatz in verschiedene geochemische Gruppen aufzuteilen.[7] Das Projektteam lokalisierte diese Gruppen dann innerhalb des 3D-Modells und definierte räumliche Domänen. Die Chromitite der Thaba Mine können demnach in drei verschiedene geochemische Domänen unterteilt werden. Zum einen gibt es eine ausgedehnte oberflächennahe, verwitterte und oxidierte Domäne. Des Weiteren gibt es eine Domäne, die vorrangig Merkmale einer hydrothermalen Alteration zeigt, also Verwitterung durch heiße Fluide. Diese Domäne tritt unterhalb der Tiefe der modernen Verwitterung auf, jedoch in offensichtlicher Nähe zu Verwerfungen, Störungen und einem lokal bedeutenden transgressiven Dunitkörper. Die dritte Domäne besteht aus Erzen, die am wenigsten von postmagmatischen Alterationsprozessen betroffen sind. Diese Domäne befindet sich vor allem im Zentrum der Störungsblöcke unterhalb der von Verwitterung betroffenen Zone.

Zur detaillierten Charakterisierung der Mineralparagenesen in den Chromititerzen wurden ausgewählte Bohrkernproben der Zielhorizonte umfassend mit verschiedenen Analysemethoden, wie zum Beispiel der Mineral Liberation Analysis (MLA) und einer Elektronenstrahlmikrosonde untersucht.[8] Basierend auf den Ergebnissen der detaillierten Untersuchungen wurden zwei unterschiedliche Mineralparaganesen definiert: die erste Paragenese bzw. Mineralvergesellschaftung ist reich an Platingruppenelement(PGE)-sulfiden und enthält variable Anteile von Malanit/Cuprorhodsit sowie PGE-Legierungen mit Fe und Sn. Chalkopyrit und Pentlandit sowie Pyrit und untergeordneter Millerit/Violarit dominieren die assoziierten Buntmetallsulfide. Magmatischer Orthopyroxen und Plagioklas sind die wichtigsten assoziierten Silikate. Die zweite Paragenese ist reich an PGE-Sulfarseniden und -Arseniden sowie PGE-Antimoniden und -Bismuthiden, die vor allem mit Pentlandit und kobaltreichem Pentlandit assoziiert sind. Diese Paragenese ist auch durch signifikante Anteile von Alterationsmineralien wie Talk, Serpentin und/oder Karbonaten gekennzeichnet, die eng mit

3 Gu et al. 2014
4 Boisvert et al. 2013, Dominy und O'Connor 2016 und darin enthaltene Referenzen, Bachmann et al. 2020
5 z. B. King und MacDonald 2016
6 Gerhards und Menzel 2019
7 Bachmann et al. 2019
8 Bachmann et al. 2018

den Platingruppenmineralen assoziiert sind. Die statistische Auswertung zeigt, dass die beiden Mineralparagenesen nicht auf unterschiedliche Chromititlagen zurückgeführt werden können, sondern den Einfluss hydrothermaler Alteration dokumentieren.

Wir konnten im Anschluss unsere Erfahrungen der detaillierten mineralogischen Untersuchungen an den Chromititlagen auf einen umfangreichen Datensatz übertragen, der ähnliche mineralogische Daten für das nicht oberflächennahe, verwitterte Erz der Lagerstätte enthielt[9]. Somit war es uns möglich, durch statistische Auswertung sieben verschiedene Erztypen zu identifizieren, die anschließend durch Aufbereitungstests des Bohrkernmaterials validiert wurden. Zusätzlich führten wir metallurgische Tests für mehrere Großproben der verwitterten Domäne durch. Darüber hinaus verknüpften wir chemische und mineralogische Daten, um den Erfolg der Aufbereitungstests zu kontrollieren und die Ergebnisse detailliert zu evaluieren.

Das prädiktive geometallurgische Modell zielt darauf ab, die Aufbereitbarkeit von PGE als Nebenprodukt der Chromitgewinnung darzustellen und zu evaluieren. In diesem Zusammenhang betrachten wir die verwitterten Erze als eine großräumige Domäne, die nicht weiter ortsaufgelöst angesehen wird, da die Chromiterze aus dieser oxidierten Zone durchweg sehr geringe PGE-Ausbeuten aufweisen. Jeder Versuch, PGE durch Flotation aus dieser Zone zu gewinnen, stellt eine sehr große Herausforderung dar. Bei unverwitterten Erzen wurde ein sehr viel komplexerer Ansatz verfolgt. Zur Erstellung des Modells wurden dabei die folgenden Schritte durchgeführt:

- Erstellen eines Vorhersagemodells für die Gewinnbarkeit von PGE als Funktion der chemischen Zusammensetzung des Chromititerzes, das heißt Entwicklung eines chemischen Fingerabdrucks für die Gewinnbarkeit von PGE aus dem Erz;
- Durchführen einer geostatistischen Modellierung des geochemischen Datensatzes, das heißt Interpolation durch Cokriging und
- Kombinieren der Schritte (i) und (ii), um ein ortsaufgelöstes geometallurgisches Modell zu erzeugen, das das Potenzial zur Gewinnung von PGE durch Flotation vorhersagen kann.

9 Bachmann et al 2020

Das daraus resultierende ortsaufgelöste prädiktive geometallurgische Modell des Erzkörpers der Thaba Mine zeigt das PGE-Verarbeitungspotenzial in Form von Wahrscheinlichkeiten und beinhaltet daher Unsicherheiten *(Abbildung 1)*. Die Modellierung beruht dabei auf einem umfangreichen Datensatz, der in Zukunft erweiterbar ist, um die statistischen Unsicherheiten weiter zu verringern. Die meisten der modellierten Parameter leiten sich dabei von den Haupteigenschaften des Erzes ab, zum Beispiel die mineralogische Zusammensetzung und Mineralparagenese, Dichte – kombiniert mit einem Minimum an empirischen Aufbereitungstests. Dies ermöglicht auch in Zukunft eine flexible Anwendung auf Haupt- und Begleitprodukte bis hin zu Schadelementen und stellt daher die Grundlage für einen ganzheitlichen Modellierungsansatz dar.

Das CLIENT II-Projekt MoCa

Nach China liegen die größten Seltenerdreserven in Brasilien und Vietnam, wobei die Reserven in Brasilien in der Regel an ultramafische Alkalikarbonitkomplexe gebunden sind. Eine der wichtigsten Alkalikarbonatitkomplexe liegt in Catalão im Bundesstaat Goiás und besteht aus den Catalão I und II Lagerstätten. Im Moment wird die Lagerstätte Catalão I vor allem aufgrund des sehr hohen Apatitgehaltes für die Herstellung von Düngemitteln abgebaut. Die Halden werden dann erneut aufbereitet, um daraus Pyrochlor für die Produktion von Ferroniob zu gewinnen. In Catalão II wird ausschließlich Pyrochlor gewonnen.

Die Erze beider Lagerstätten besitzen eine hohe Konzentration an Seltenerdmineralen, die im Moment allerdings nicht aufbereitet und deshalb in großen Haldenkörpern abgelagert werden. Ziel von MoCa ist es daher, das Extraktionspotenzial von Seltenen Erden sowohl aus Rückständen aus der aktuellen Produktion als auch aus abgelagerten Rückständen am Standort Catalão zu untersuchen und mit Hilfe geometallurgischer Ansätze eine ganzheitliche Gewinnung aller enthaltenen Wertminerale zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, ist eine detaillierte und umfassende mineralogische und chemische Charakterisierung des Erzes notwendig. Dafür wurde eine umfassende Beprobung der Nb-Verarbeitungsanlage zum besseren Verständnis des Verhaltens der Selten Erdelement (SEE)-Mineralien durchgeführt *(Abbildung 2A)*.

Die dabei gewonnenen Proben werden für das nachstehend erläuterte partikelbasierte Vorhersagemodell eingesetzt. Die Resultate dienen der Erstellung eines innovativen, benutzerunabhängigen, partikelbasierten Aufbereitungsmodells, um das Verhalten des Erzes in der Aufbereitung vorhersagen und optimieren zu können.

Die benötigten Werkzeuge für die umfangreiche Datenanalyse werden dafür in der Open-source Plattform R[10] entwickelt und getestet. Die Methode berechnet die Austragswahrscheinlichkeiten für jedes Partikel in einer Probe mithilfe eines Lasso-regularisierten logistischen Regressionsmodells[11] und kann auf jeden Separationsprozess angewendet werden. Es ist keine A-priori-Variablenauswahl erforderlich, da die Lasso-Regularisierung einen Korrekturfaktor verwendet, um die Koeffizienten für nicht beitragende Variablen auf Null zu setzen, wodurch die Koeffizienten für die verbleibenden Prädiktoren zuverlässiger geschätzt werden. Darüber hinaus enthält die Methode einen Schritt zur Anpassung der A-priori-Wahrscheinlichkeit des Modells im Sinne der Bayes'chen Statistik, um die geologische Variabilität über die Lagerstätte hinweg zu berücksichtigen.[12]

Das Verfahren kann auf einzelne Trennschritte oder auf ganze Ketten und Netzwerke von Trenneinheiten angewendet werden, sofern keine Zerkleinerungseinheit enthalten ist. Diese Einschränkung bezieht sich auf die Tatsache, dass die Zerkleinerung die Partikelgrundgesamtheit verändert, d. h., die physikalischen Eigenschaften der Partikel ändern sich erheblich, insbesondere Größe, Zusammensetzung und Aufschlussgrad.

Die Effizienz der Methode konnte im Niob-Aufbereitungskreislauf der Boa Vista Aufbereitungsanlage demonstriert werden. Die Anlage besteht aus drei Flotations- und einem magnetischen Trennkreis. Das Aufgabegut der ersten Aufbereitungseinheit, jedes Zwischenprodukt sowie die endgültigen Rückstände und das Konzentrat wurden beprobt *(Abbildung 2A)*. Die Proben wurden getrocknet, in Epoxidharzblöcke eingebettet, geschliffen, poliert und mit Hilfe der MLA analysiert. Für jede Einheit in der Anlage wurde ein Prozessmodell unter Verwendung der jeweiligen Konzentrat- und Rückstandsproben trainiert. Der Anlagenbetrieb wurde mit Bootstrap-Methoden simuliert,

10 R Core Team 2016
11 Hastie et al. 2015
12 Pereira et al. 2020

indem in jedem trainierten Vorhersagemodell nacheinander 1000-mal eine virtuell erstellte Probe des Aufgabeguts verarbeitet wurde. Die vorhergesagte Masse und Mineralzusammensetzung jedes Zwischenprodukts und des endgültigen Niobkonzentrats in jedem Bootstrap-Lauf wurden mit Ergebnissen verglichen, die auf tatsächlich in der Anlage beobachteten Werten beruhen. *Abbildung 2B* zeigt Bootstrap-Boxplots der Vorhersagefehler im relativen Maßstab. Die vorhergesagten Produktwerte stimmen sehr gut mit den in der Anlage beobachteten Ergebnissen überein. Sie demonstrieren die Effizienz der Methode bei der Rekonstruktion einer vollständigen Verarbeitungsanlage mit verschiedenen Trennprozessen auf

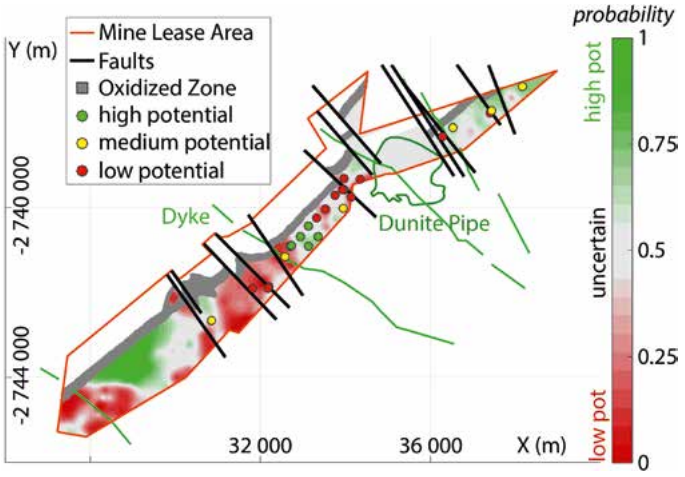


Abb. 1: Geometallurgische Karte des LG-6-Chromitits. Das PGE-Aufbereitungspotenzial wird als Wahrscheinlichkeit, zu einer Domäne mit hohem Anreicherungspotenzial zu gehören, angezeigt. Daher stellen grünliche Farben Bereiche mit hohem Potenzial dar. Rote Farben weisen ein geringes Potenzial für die PGE-Aufbereitung auf. Graue Bereiche weisen eine große Unsicherheit auf – in der Regel aufgrund geringer Proben-/Datendichte. Zusätzlich werden die Probenahmestellen (die in Aufbereitungstests verwendet wurden) und die entsprechenden Testergebnisse als farbige Kreise für das LG-6 angezeigt. Die oxidierte Zone ist dunkelgrau dargestellt.

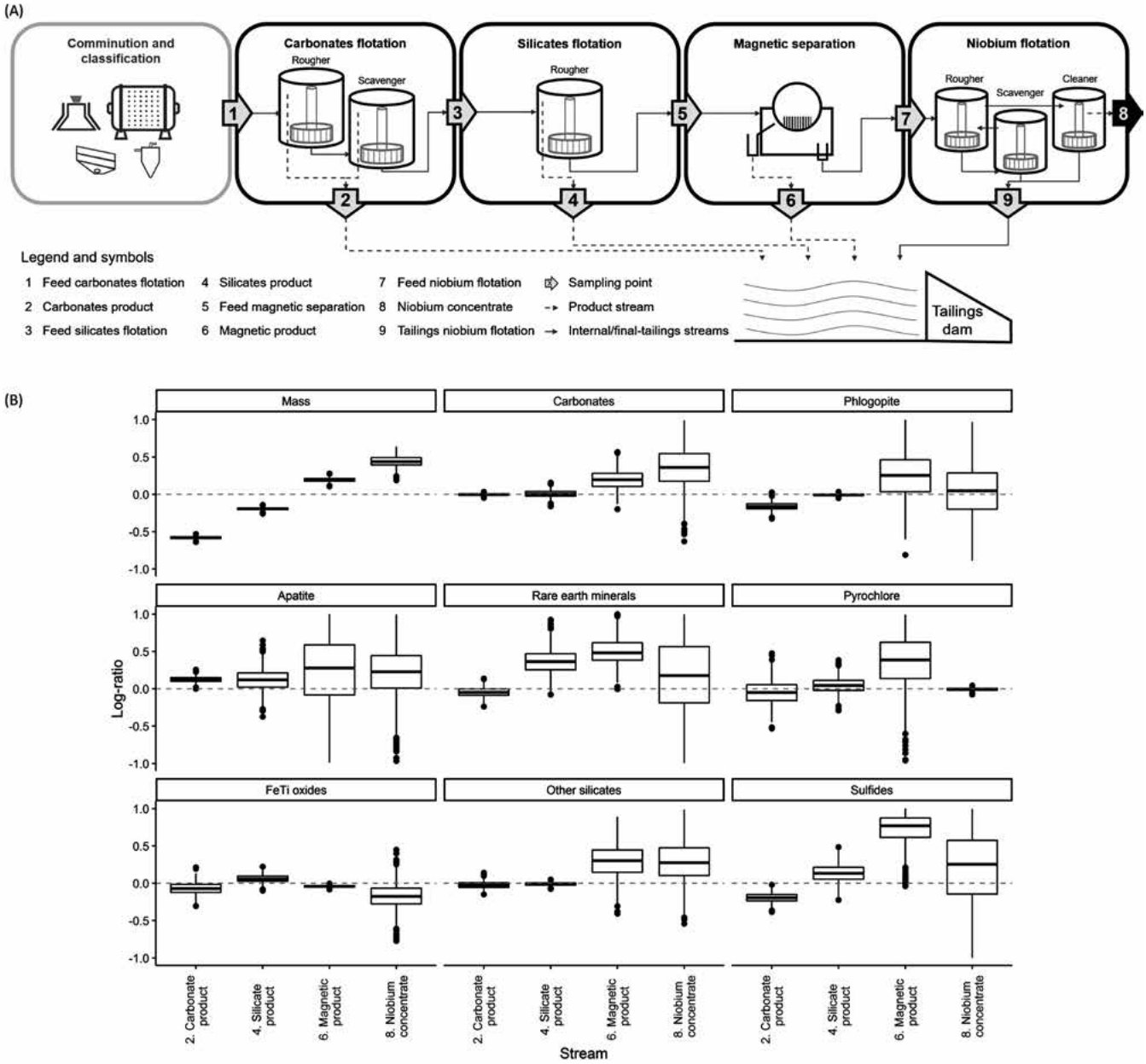


Abb. 2: (A) Vereinfachtes Flussdiagramm der untersuchten Aufbereitungsanlage mit Probenahmestellen.
(B) Natürliches logarithmisches Verhältnis zwischen der vorhergesagten und der tatsächlichen Zusammensetzung und Masse jedes Produktstroms in der Aufbereitungsanlage.

Einzelpartikelebene und unter Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten.

Derzeit versuchen die Projektpartner, für die Abraumströme der Nb-Produktion einen wirtschaftlichen Aufbereitungsprozess für SEE zu erarbeiten. Das Verfahren soll für die gesamte Nb + SEE-Produktion eingesetzt werden und ist in der Lage das Potenzial zur Herstellung eines Niob- und Seltenerdkonzentrates im industriellen Maßstab zu bewerten.

Fazit

Die beiden hier vorgestellten Modelle können sowohl für primäre als auch sekundäre Ressourcen angewendet werden und decken unterschiedliche Bereiche der Wertschöpfungskette ab. Das Modell der Thaba Mine stellt das geometallurgische Modell eines Erzkörpers dar, in diesem Fall für die Gewinnung von PGE als Beiprodukt. Im MoCa-Projekt wird an geometallurgischen Modellen für komplexe industrielle Aufbereitungsprozesse gearbeitet, sowohl für Ferroniob als auch Seltene Erden. Beide Arten von geometallurgischen Modellen folgen Ansätzen, die in Zukunft zusammengeführt werden. Bei dieser Zusammenführung und Ergänzung stehen drei große Themen im Fokus: 1. Die Modellierung und Vorhersage von Zerkleinerungseffekten sowie 2. die Implementierung und Erweiterung des geometallurgischen Ansatzes in den Bereich der Metallurgie. Der 3. Themenkomplex umfasst die Zusammenführung der einzelnen Modelle in ein Modell der gesamten Wertschöpfungskette, von der Bergwerksplanung bis hin zur Verhüttung des eigentlichen Wertmetalls. Dies erfordert eine Kombination der einzelnen Modelle zu einem Gesamtmodell über mehrere Zeit- und Raumskalen hinweg und daher einen schnellen und effektiven Informationsfluss zwischen den einzelnen Teilen der industriellen Wertschöpfungskette. Mit Hilfe von zusätzlichen Feedback-Loops von Daten, die während der Abbauphase akquiriert werden, ist dann eine kontinuierliche Aktualisierung des Lagerstätten- und Aufbereitungsmodells möglich – idealerweise mit immer genaueren Vorhersagen und sinkender Unsicherheit. Diese verbesserten Vorhersagen haben einen sehr großen Einfluss auf die Bergbau- und Produktionsplanung.[13]

Literatur

Bachmann K, Osbahr I, Tolosana-Delgado R, Chetty D, Gutzmer J (2018). Variation in platinum group mineral and base metal sulfide assemblages in the Lower Group chromitites of the western Bushveld Complex, South Africa. The Canadian Mineralogist 56(5):723–743. https://doi.org/10.3749/canmin.1700094.

Bachmann K, Menzel P, Tolosana-Delgado R, Schmidt C, Hill M, Gutzmer J (2019). The use of assay data as a foundation for a geometallurgical model – the case of the Thaba Chromite Mine, South Africa. J Geochem Explo 201:99–112.

Bachmann K, Chetty D, Tolosana-Delgado R, Menzel P, Gilbricht S, Osbahr I, Gutzmer J (2020). The Development of Hybrid Data- and Model-Driven Geometallurgical Models. Journal of Cleaner Production – accepted.

Boisvert JB, Rossi ME, Ehrig K, Deutsch CV (2013). Geometallurgical modeling at Olympic dam mine, South Australia. Mathematical Geosciences 45(8):901–925.

Dominy SC, O'Connor L (2016). Geometallurgy–Beyond conception. In Proceedings International Geometallurgy Conference, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne, Australia, 3–10.

Gerhards C, Menzel P (2019). Geomathematik und Geoinformatik an der TU Bergakademie Freiberg. Acamonta 26:27–29.

Gu Y, Schouwstra RP, Rule C (2014). The value of automated mineralogy. Minerals Engineering 58:100–103.

Hastie T, Tibshirani R, Wainwright M (2015). Statistical Learning with Sparsity. New York: Chapman and Hall/CRC, https://doi.org/10.1201/b18401.

King GS, Macdonald JL (2016). The Business Case for Early-stage Implementation of Geometallurgy – an example from the Productora Cu-Mo-Au deposit, Chile. International Geometallurgy Conference, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia.

Pereira L, Frenzel M, Khodadadzadeh M, Tolosana-Delgado R, Gutzmer J (2020). A self-adaptive particle-tracking methodology for minerals processing. Journal of Cleaner Production, accepted.

Prior-Arce A, Tolosana-Delgado R, van den Boogaart K, Benndorf J (2020) Resource Model Updating For Compositional Geometallurgical Variables. Mathematical Geosciences – in review.

R Core Team (2016). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria https://www.R-project.org/.

Van Den Boogaart KG, Tolosana-Delgado R (2018). Predictive geometallurgy: An interdisciplinary key challenge for mathematical geosciences. In Handbook of Mathematical Geosciences, Springer, Cham.:673–686.

13 Prior-Arce et al. 2020

Mathematische Unsicherheitsquantifizierung

Björn Sprungk[1]

Mathematische Modelle haben heutzutage in zahlreichen Anwendungsbereichen in Natur, Technik und Gesellschaft Einzug gehalten. Ein stetes Wachstum der verfügbaren Rechenleistung sowie die Weiterentwicklung und Verfeinerung numerischer Verfahren erlauben dabei zunehmend die Simulation komplexerer Modelle.

Eine sinnvolle Prognose auf Basis solcher Modelle setzt allerdings nicht nur deren hinreichend gute Berechenbarkeit voraus, auch eine entsprechend genaue Kenntnis aller (entscheidenden) Modellparameter bzw. -koeffizienten ist dazu erforderlich. Dies ist in der Praxis keinesfalls immer gegeben: Materialparameter wie Leitfähigkeiten oder Bruchfestigkeiten können bei heterogenen Materialien oder Fehleinschlüssen stark schwanken, äußere Einflüsse (Belastungen, Zu- und Abflüsse, etc.) variieren ggf. unvorhersehbar, und Initialzustände sind evtl. nicht exakt erfassbar. Möchte man auf Basis nur ungenau bekannter Modellparameter trotzdem eine vernünftige Prognose erstellen, so sollte diese Unsicherheit im Ergebnis quantifiziert werden, z. B. durch eine entsprechend berechnete Breite an Prognosen. Die Notwendigkeit einer transparenten Einbeziehung von Unsicherheiten in modellbasierten Vorhersagen wurde erst kürzlich in einem gemeinsamen Kommentar von 22 Autoren im Journal *Nature* im Hinblick auf die Modellierung der Entwicklung der COVID-19-Pandemie betont.[2] Die mathematische Unsicherheitsquantifizierung (UQ), ein noch relativ junges Spezialgebiet der angewandten Mathematik bzw. des wissenschaftlichen Rechnens, beschäftigt sich mit genau dieser Problematik.

Nun sind die mathematische Beschreibung und Berechnung von Unsicherheiten natürlich von jeher eine der Aufgaben der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Die Neuheit der jungen Teildisziplin der UQ liegt zum einen in der Komplexität der betrachteten mathematischen Modelle, dies sind z. B. häufig partielle Differentialgleichungen, und zum anderen in der Verwendung und Entwicklung spezieller numerischer Approximationsmethoden, welche eine praktikable Abschätzung, z. B. der Lösungen komplizierter Differentialgleichungen mit unsicheren Koeffizienten,

1 Fakultät für Mathematik und Informatik, Prüferstr. 9, 09599 Freiberg, Bjoern.Sprungk@math.tu-freiberg.de

2 A. Saltelli et al.: „Five ways to ensure that models serve society: a manifesto" Nature 582, 482–484 (2020)

erst ermöglichen. Insbesondere arbeitet man in der UQ an der Schnittstelle der mathematischen Analysis, der numerischen Mathematik bzw. des wissenschaftlichen Rechnens sowie der angewandten Stochastik.

Zur Modellierung von Unsicherheiten gibt es neben probabilistischen noch weitere Ansätze. So werden in Anwendungen gern auch Fuzzy-Mengen zur Beschreibung ungenauer Kenngrößen eingesetzt. Fuzzy-Methoden, insbesondere Fuzzy-Statistik, wurden seinerzeit an der Bergakademie von Prof. Hans Bandemer und Prof. Wolfgang Näther erforscht, und in jüngerer Zeit im Rahmen der UQ z. B. im DFG-Schwerpunktprogramm 1886 untersucht. Wir werden uns im Weiteren auf den stochastischen Zugang zur UQ beschränken und diesen an einem Beispiel kennenlernen.

Ein Beispielproblem

Unsicherheiten und Risiken sind insbesondere in der Planung und Zertifizierung von Endlagern für radioaktiven Abfall zu beachten und abzuschätzen. Ein wichtiges Szenario ist dabei ein Ernstfall, bei dem trotz aller Vorkehrungen dennoch (z. B. durch Unfälle) radioaktive Materialien das Endlager verlassen und die Umgebung kontaminieren. Wie schnell so etwas passieren kann, zeigt ein Vorfall im tiefengeologischen Endlager „Waste Isolation Pilot Plant“ (WIPP) in New Mexico (USA) aus dem Jahr 2014: Damals wurde die Versiegelung eines Behälters mit radioaktiven Abfall gesprengt und radioaktive Strahlung freigesetzt, da beim Befüllen versehentlich das falsche (organische) Katzenstreu zum Aufsaugen der flüssigen Abfallstoffe genutzt wurde. Das WIPP-Endlager liegt ca. 655 Meter unter der Erdoberfläche in einer Salzformation. Oberhalb davon verläuft jedoch eine dünne grundwasserleitende Schicht. Ein wichtiger Punkt in der Genehmigung und Rezertifizierung dieses Endlagers ist die Abschätzung der Zeit, in der entwichene radioaktive Partikel durch das Grundwasser bis an den Rand eines definierten Sicherheitsbereichs um das Endlager herum transportiert werden. Diese soll hinreichend lang sein (10 000 Jahre).

Zur mathematischen Beschreibung des Grundwassertransports nutzen wir eine leichte Vereinfachung des Modells aus dem WIPP-Rezertifizierungsreport von 2014 und berechnen das hydraulische Potential p im Aquifer durch die aus dem Darcy-Gesetz folgende partielle Differentialgleichung (PDE)

$$-\nabla \cdot \left(e^{u(x)} \nabla p(x)\right) = 0.$$

Hierbei bezeichnet $u(x)$ den Logarithmus der hydraulischen Leitfähigkeit des Aquifers am Ortspunkt x. Die zugehörigen Randbedingungen zur PDE seien hier der Einfachkeit halber weggelassen. Weiterhin wird die PDE vereinfacht als Modell im Zweidimensionalen betrachtet, da die Schichtdicke im Vergleich zur Gebietsgröße sehr gering ist. Der Grundwassertransport selbst wird als gewöhnliche Differentialgleichung (ODE) gemäß des Strömungsfelds $\boldsymbol{q}(x) = -e^{u(x)} \nabla p(x)$ beschrieben – molekulare Diffusionseffekte seien hier ebenfalls vernachlässigt. Zur Berechnung des Partikeltransports ist somit zunächst die PDE für p zu lösen und damit dann die ODE mit dem entsprechenden $\boldsymbol{q}$. Der entscheidende Modellkoeffizient in diesen Gleichungen ist die log-Leitfähigkeit u. Bezüglich dieser stehen jedoch nur 62 Messungen aus verschiedenen Bohrlöchern zur Verfügung (Stand: 2014), welche sich auf ein Gebiet von ca. 20 mal 30 Kilometern um das Endlager herum verteilen (sowie ca. 40 Messungen des hydraulischen Potenzials, welchen wir später mehr Aufmerksamkeit widmen werden). In Anbetracht dieser geringen Informationsdichte über diesen wichtigen Modellparameter ist eine einzelne Simulation bzw. Vorhersage der Transportzeit nicht gerechtfertigt. Vielmehr muss die Unwissenheit über den Modellkoeffizienten u in der Prognose mit einfließen und die sich daraus ergebende Unsicherheit bzgl. der Transportzeit quantifiziert werden. Man beachte, dass experimentelle Zugänge (z. B. mittels Tracern) hier aufgrund der geringen Leitfähigkeit nicht praktikabel sind und somit nur eine numerische Simulation verknüpft mit UQ verbleibt.

Beschreibung der Unsicherheit und Monte-Carlo-Simulation

Die begrenzte Kenntnis der ortsabhängigen log-Leitfähigkeit $u(x)$ beschreiben wir probabilistisch, indem wir u als ein Zufallsfeld modellieren. D. h., für jeden Ortspunkt x ist $u(x)$ eine Zufallsvariable, deren Varianz Auskunft über unsere Unsicherheit bzgl. des Wertes $u(x)$ gibt. Eine gängige Annahme ist hierbei, dass u ein Gaußsches Zufallsfeld ist, sprich $u(x)$ einer Normalverteilung folgt. Analog zum univariaten Fall ist die Verteilung der gesamten zufälligen Funktion u dabei eindeutig durch die Wahl der Mittelwerts- und Kovarianzfunktion festgelegt. Diese können mit Hilfe geostatistischer Verfahren aus den gegebenen 62 Messdaten der Leitfähigkeit geschätzt werden, siehe *Abbildung 1*. Setzt man das zufällige log-Leitfähigkeitsfeld u nun in die PDE ein, erhält man als Lösung ein zufälliges hydraulisches Potenzial p und analog einen zufälligen Grundwasserfluss $\boldsymbol{q}$. Diese sind zwar wieder Zufallsfelder, aber in der Regel keine Gaußschen mehr. Aus diesen resultiert schließlich eine zufällige Transportzeit der Radionuklide von der Position des Endlagers bis zum Rande des WIPP-Gebiets. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Transportzeit beschreibt dabei die Unsicherheit in unserer Prognose für diesen Wert aufgrund der beschränkten, unvollständigen Information über die entscheidende Modellgröße u und stellt somit eine ehrlichere Vorhersage dar als eine einzelne Simulation des Partikelpfads. Um diese Verteilung zu berechnen und zur Entscheidungsfindung zu nutzen, kann als einfachste Methode eine Monte-Carlo-Simulation genutzt werden. Dazu erzeugen wir viele Realisierungen des zufälligen log-Leitfähigkeitsfeldes gemäß der angenommen, unseren Wissenstand repräsentierenden Verteilung für u, lösen für diese jeweils die PDE und ODE für den Grundwassertransport und erhalten somit eine Stichprobe der zufälligen Transportzeit.

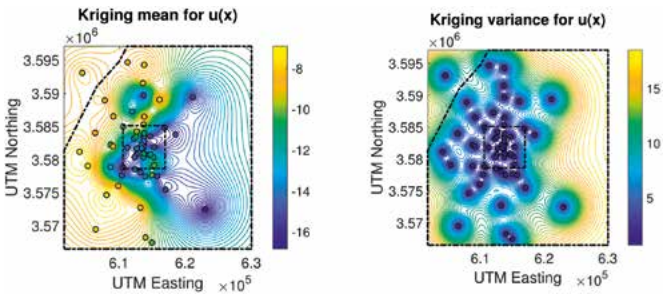


Abbildung 1: Geschätzter punktweiser Mittelwert und punktweise Varianz der ungenau bekannten log-Leitfähigkeit. Die kreisförmigen Punkte markieren Ort und Wert der Messungen, die schwarz-gestrichelten Linien umranden das Gebiet zur numerischen Lösung der PDE (groß) sowie das WIPP-Gebiet (klein).

Diese führt zu einer empirisch geschätzten Verteilungsfunktion bzw. -dichte, siehe auch *Abbildung 2*.

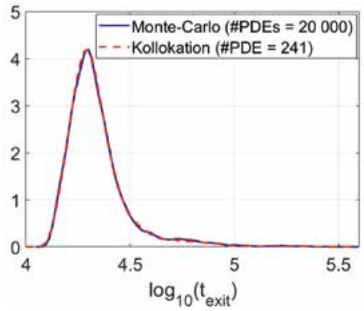


Abb. 2: Vergleich der aus jeweils 20 000 Werten geschätzten Verteilungsdichten der Transportzeit t_{exit} der Radionuklide unter Verwendung der direkten Monte-Carlo-Simulation sowie mit Hilfe der kostengünstigeren Kollokationsmethode

Zur Erzeugung der zufälligen log-Leitfähigkeitsfelder kann dabei eine geeignete Reihendarstellung von zufälligen Funktionen, die Karhunen-Loève-Entwicklung (KLE), genutzt werden:

$$u(x) = u_0(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \xi_n u_n(x).$$

Dabei bezeichnet u_0 die Mittelwertfunktion und u_n für $n \geq 1$ die n-te Eigenfunktion des Kovarianzoperators des Gaußschen Zufallsfeldes u. Dies sind jeweils deterministische Funktionen von x. Der Zufall in der KLE steckt ausschließlich in den Koeffizienten ξ_n, welche hier reellwertige, stochastisch unabhängige, normalverteilte Zufallsgrößen sind. Es können dann Realisierungen dieser normalverteilten Koeffizienten $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \ldots)$ gezogen und damit gemäß der (abgebrochenen) obigen Reihendarstellung zufällige log-Leitfähigkeitsfelder u generiert werden. Das gesamte Monte-Carlo-Verfahren ist in *Abbildung 3* skizziert, dabei sind die zufällig erzeugte Leitfähigkeit $u(x)$, der entsprechende berechnete Verlauf des hydraulischen Potenzials $p(x)$ sowie der resultierende Partikelpfad (rot) grafisch dargestellt und die jeweilige Zeit bis zum Erreichen des Randes des WIPP-Gebietes (kleines, schwarzumrandetes Quadrat) angegeben.

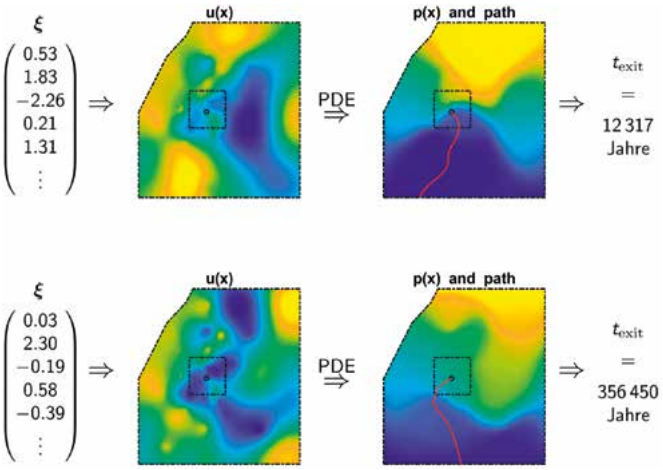


Abb. 3: Darstellung der Monte-Carlo-Simulation zur Unsicherheitsquantifizierung für das WIPP-Grundwassertransportproblem. Zahlenwerte und Grafiken sind tatsächlichen Simulationen entnommen. Die rote Linie markiert den berechneten Partikelpfad.

Der Rechenaufwand der Monte-Carlo-Simulation bemisst sich dabei vor allem an der Anzahl der zu lösenden PDEs – die Lösung der ODE bzw. die anderen Schritte in *Abbildung 3* sind vergleichsweise günstig. Um eine hinreichende Genauigkeit der so empirisch geschätzten Verteilungsfunktion zu gewährleisten, z. B. um einen absoluten Fehler in der Verteilungsfunktion von maximal 0.01 mit hoher Wahrscheinlichkeit (bzgl. der zufällig erzeugten Stichprobe) zu erhalten, sind in etwa 20 000 Simulationen bzw. PDE-Lösungen nötig. Für die einfache PDE in unserem Fall ist dies zwar problemlos möglich, doch für komplexere PDE-Modelle kann dies schnell zu teuer werden.

Effiziente UQ mittels hochdimensionaler Approximation

Die Reihendarstellung bzw. KLE von Zufallsfeldern ermöglicht es, das Modell mit zufälligen Koeffizienten u alternativ als ein Modell mit dem hochdimensionalen (zufälligen) Parameter $\boldsymbol{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \ldots)$ anzusehen. Insbesondere können wir die Abbildung, welche dem Koeffizientenvektor $\boldsymbol{\xi}$ die entsprechende Lösung der PDE bzw. Transportzeit zuordnet, mit gängigen mathematischen Methoden untersuchen und approximieren. Hierbei handelt es sich um eine Abbildung vom euklidischen Raum R^N (für den abgebrochenen Koeffizientenvektor $\boldsymbol{\xi}$ mit N Komponenten) in einen geeigneten Funktionenraum (für das ortsabhängige Potenzial p). In der Tat kann gezeigt werden, dass das hydraulische Potenzial p sehr gutartig (nämlich analytisch bzw. holomorph) von $\boldsymbol{\xi}$ abhängt, siehe z. B. Ernst & Sprungk (2014). Diese glatte Abhängigkeit erlaubt eine Approximation dieser Abbildung durch multivariate Polynome in $\boldsymbol{\xi}$ (mit Werten im Funktionenraum), welche selbst z. B. durch multivariate Interpolation bestimmt werden können. Aufgrund der hohen Dimension bzw. der großen Anzahl N der verwendeten Koeffizienten ξ_n sind allerdings ausgedünnte Interpolationsgitter zu nutzen. Sonst würde die Anzahl der Interpolationsknoten schnell die Zahl der Monte-Carlo-Simulationen übersteigen – ein volles Interpolationsgitter mit nur drei Knoten pro Richtung hat in zehn Dimensionen bereits fast 60 000 Knoten und damit den dreifachen Aufwand der Monte-Carlo-Methode. Dünne Interpolationsverfahren für hochdimensionale Probleme basieren auf einer Idee des russischen Mathematikers Sergei A. Smolyak (1963) und nutzen gleichzeitig nur in wenigen Dimensionen viele Knoten, siehe *Abbildung 4*.

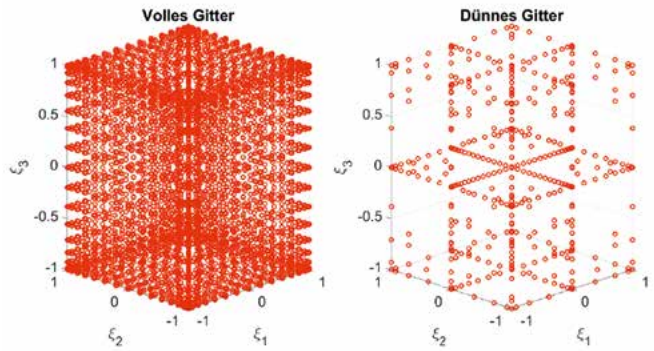


Abb. 4: Vergleich eines vollen Interpolationsgitters mit 17 Knoten pro Richtung und eines entsprechenden ausgedünnten Gitters nach der Konstruktion von Smolyak

Mit Hilfe dieser dünnen Interpolationsgitter und den daraus berechneten polynomiellen Approximationen an die Parameterabhängigkeit der PDE kann eine effizientere UQ gewährleistet werden. Für das WIPP-Problem nutzen wir ein dünnes Gitter mit nur 241 Interpolationsknoten (in zehn Dimensionen) und ersetzen mit dem entsprechenden polynomiellen Surrogat das Lösen der PDE an den 20 000 zufälligen Werten für $\boldsymbol{\xi}$ aus der Monte-Carlo-Methode. Die ODE wird nachfolgend wieder numerisch gelöst und der Grundwassertransport mittels der Approximation von p berechnet. Man nennt diesen speziellen Surrogatansatz auch Kollokationsmethode. Wir erhalten dabei mit den nur 241 Interpolationsknoten bzw. PDE-Lösungen eine

sehr gute Näherung des Surrogats an die direkte Simulation, *siehe Abbildung 5*. Insbesondere ist das Ergebnis der UQ für die zu ermittelnde Transportzeit, genauer deren (empirisch geschätzte) Wahrscheinlichkeitsverteilung, unter Verwendung der polynomiellen Kollokation nicht nur optisch ununterscheidbar von der kostenintensiveren Monte-Carlo-Simulation, siehe *Abbildung 2*. Auch ein statistischer Verteilungstest zeigt, dass zwischen den beiden empirischen Verteilungen kein signifikanter Unterschied besteht. Allerdings konnten wir mittels der Kollokationsmethode die Rechenkosten der UQ um ca. 99 % reduzieren (241 PDE-Lösungen gegenüber 20 000). Bei der Verwendung solcher polynomieller Approximationsverfahren ist jedoch stets die Glattheit der entsprechenden Abhängigkeit vom Parameter ξ zu beachten. So hängt die Transportzeit t_{exit} selbst nicht glatt (im Allgemeinen sogar nicht stetig) von ξ bzw. u ab. Eine entsprechende polynomielle Kollokation für die Abbildung von ξ zu t_{exit} würde zu keinen sinnvollen Ergebnissen führen.

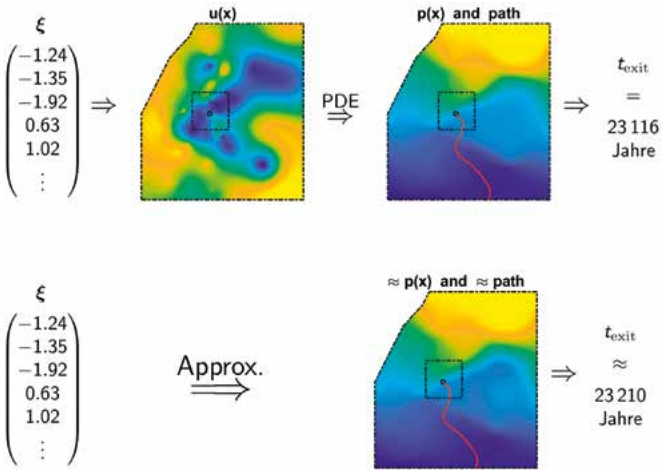


Abb. 5: Vergleich der direkten Simulation und der Simulation unter Nutzung polynomieller Approximation der ξ- bzw. Parameterabhängigkeit der PDE-Lösung anhand von 241 Interpolationsknoten (jeweils für 10-dimensionale ξ)

Inverse Probleme und Reduktion der Unsicherheit

Neben dem reinen Vorwärtsproblem bzw. der Unsicherheitspropagation (wie wirkt sich die Unsicherheit in den Modellparametern auf die Modellvorhersage aus?) sind auch inverse Probleme wichtige Bestandteile der UQ. Hier gilt es, aus zusätzlichen, indirekten Informationen wie z. B. Messungen des hydraulischen Potenzials p Rückschlüsse auf die ungenau bekannten Modellparameter wie die hydraulische log-Leitfähigkeit u zu ziehen und so die Unsicherheit über diese zu reduzieren. Dazu wird der Bayessche Zugang zu inversen Problemen genutzt: die anfangs angenommene Wahrscheinlichkeitsverteilung für u bzw. ξ wird durch die neuen Messdaten $\boldsymbol{p}$ des hydraulischen Potenzials p aktualisiert, und zwar gemäß des Satzes von Bayes für bedingte Wahrscheinlichkeiten bzw. Wahrscheinlichkeitsdichten:

$$\pi(\xi \mid \boldsymbol{p}) \cong L(\boldsymbol{p} \mid \xi)\,\pi(\xi).$$

Hier bezeichnet π die Dichte der a-priori Verteilung für ξ (beim WIPP-Problem eine Normalverteilung) und $\pi(\cdot \mid \boldsymbol{p})$ die Dichte der bedingten bzw. a-posteriori Verteilung von ξ für die gegebenen Messdaten $\boldsymbol{p}$ des Potenzials p. Die Funktion $L(\boldsymbol{p} \mid \xi)$ ist dabei die Likelihood für die beobachteten Daten $\boldsymbol{p}$ für ein fest vorgegebenes ξ und beinhaltet neben der Auswertung des PDE-Modells für eben jenes ξ weiterhin ein statistisches Messfehlermodell für die gemessenen Daten (oft ebenfalls eine Normalverteilung). Die a-posteriori Verteilung stellt die Lösung des Bayesschen inversen Problems dar und bietet im Vergleich zu klassischen Ansätzen für inverse Probleme mehr als nur eine einzelne Rekonstruktion eines Leitfähigkeitsfelds u. Diese Verteilung ist typischerweise kompliziert, und Realisierungen daraus, z. B. für eine Monte-Carlo-Simulation, sind im Allgemeinen nicht direkt generierbar. Man kann nur approximativ aus dieser Verteilung Stichproben ziehen z. B. mit Hilfe von Markowketten-Monte-Carlo-Methoden (MCMC-Methoden). Diese konstruieren mittels des Metropolis-Hastings-Algorithmus eine Markowkette, die die gewünschte Verteilung als Grenzverteilung besitzt. Aus einem hinreichend langen Pfad der Markowkette erhält man dann annährend Realisierungen aus der a-posteriori Verteilung, siehe *Abbildung 6* für eine Illustration. Die Einbindung indirekter Daten über Bayessche Inferenz und Markowketten-Monte-Carlo-Simulation bedeutet somit einen rechentechnischen Mehraufwand, der sich allerdings lohnen kann. Hierzu sind in *Abbildung 7* jeweils 100 simulierte Partikelpfade für das WIPP-Grundwasserproblem aus der a-priori Verteilung für u bzw. ξ sowie aus deren a-posteriori Verteilung nach Einbindung der ca. 40 verfügbaren Messdaten des hydraulischen Potenzials zu sehen. Man erkennt eine deutliche Reduzierung der Unsicherheit in der Prognose.

Abb. 6: Pfad einer Markowkette (blau) zur Erzeugung von Realisierungen gemäß der dargestellten Zielwahrscheinlichkeitsdichte (grün)

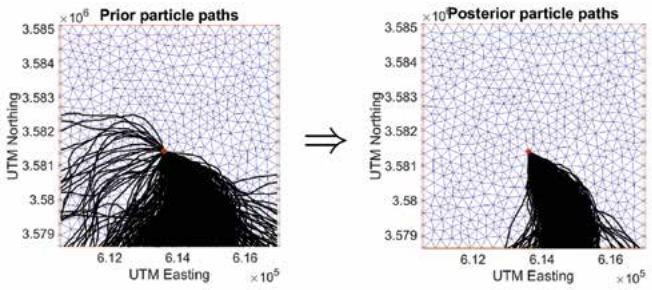


Abb. 7: Vergleich der unsicheren Vorhersage von Partikelpfaden für das WIPP-Grundwasserproblem nur auf Basis der verfügbaren Leitfähigkeitsmessungen (prior) sowie nach Einbeziehung der ebenfalls verfügbaren Messdaten des hydraulischen Potenzials (posterior). Im Hintergrund ist die Triangulation des Finite-Elemente-Ansatzes zur numerischen Lösung der PDE zu sehen.

Die Entwicklung und Analyse effizienter Verfahren zur UQ, sowohl Surrogatmethoden für die Unsicherheitspropagation als auch MCMC- und weitere Samplingverfahren für hochdimensionale Bayessche inverse Probleme, sind aktuelle Forschungsgegenstände der Juniorprofessur „Angewandte Mathematik“. Dabei stehen insbesondere die Untersuchung des Konvergenzverhaltens sowie der Dimensionsunabhängigkeit der Algorithmen im Fokus. Desweiteren werden auch Verfahren zur Datenassimilation in dynamischen Systemen wie der Ensemble-Kalman-Filter unter Gesichtspunkten der UQ studiert. Eine weitere Ausrichtung stellt die Übertragung der entwickelten Methoden und Ansätze zur Quantifizierung von Unsicherheiten im maschinellen Lernen dar: Wie gut sollte man z. B. der Prognose bzw. Entscheidung einer KI vertrauen können?

Literatur

Babuska, I., Nobile, F. und Tempone, R.: A stochastic collocation method for elliptic partial differential equations with random input data. SIAM J. Numer. Anal., 45(3), pp. 1005–1034, 2007.

Ernst, O. und Cliffe, K. A.: Uncertainty quantification 2012: probabilistic UQ for PDEs with random data: a case study. SIAM News, vol. 45, 2012.

Ernst, O. und Sprungk, B.: Stochastic collocation for elliptic PDEs with random data – the lognormal case. In: J. Garcke und D. Pflüger (Hrsg.) Sparse Grids and Applications – Munich 2012, pp. 29–53, 2014.

Ghanem, R., Higdon, D. und Owhadi, H.: Handbook of Uncertainty Quantification. Springer, Cham, 2017.

Rudolf, D. und Sprungk, B.: On a generalization of the preconditioned Crank-Nicolson Metropolis algorithm. Found. Comput. Math. 18, pp. 309–343, 2018.

Stuart, A. M.: Inverse problems: A Bayesian perspective. Acta Numerica, 19, pp. 451–559, 2010.

Der große „Lauschangriff“

Anja Weidner[1], Horst Biermann

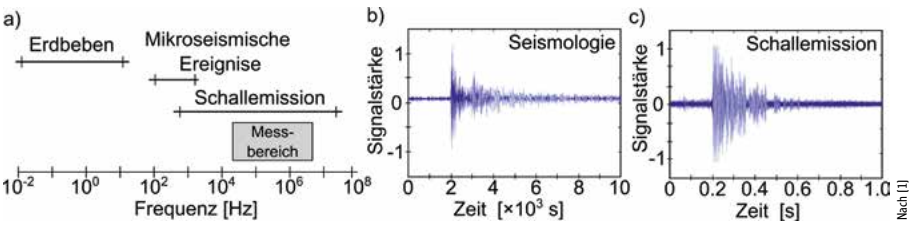
Pssst! Können Sie es hören? Nicht? Aber wir wissen es: Sie ist ständig in Bewegung – die Erdkruste mit ihren tektonischen Platten. Und es gibt jemanden, der ganz genau zuhört und jede ungewöhnliche Bewegung wie beispielsweise Erdbeben, Vulkanausbrüche, induzierte Beben, Sprengungen und registriert: der Seismologe bzw. sein entsprechend dafür ausgestattetes Messinstrument, der Seismograph.

Der Seismograph kann Bodenerschütterungen infolge von Erdbeben und anderen seismischen Wellen als eine Verschiebung im Zeitverlauf messen. Wie funktioniert das? Der Seismograph besteht aus einer an einer Federaufhängung gelagerten Masse. Bei einer Bodenbewegung überträgt sich die entstehende Schwingung auf das Gehäuse des Messinstruments, während die Masse aufgrund ihrer Trägheit in Ruhe verbleibt. Die Folge ist eine Relativbewegung zwischen Gehäuse und Masse, die in Form eines Amplitudensignals über der Zeit aufgezeichnet wird und somit Informationen über die Intensität der Bodenerschütterung liefert. Anhand der Höhe der Amplitude des Signals eines seismischen Ereignisses kann die Intensität des Ereignisses ermittelt werden. Da viele Seismographen auf der Welt verteilt die seismischen Aktivitäten registrieren, ist auch eine Lokalisierung des Ereignisses möglich.

Ähnliches können wir auch in anderen Bereichen nutzen. So können wir beispielsweise„zuhören“, wie sich Betonkonstruktionen, Brücken oder Druckbehälter im Verlaufe ihrer Nutzungszeit verändern. Auch im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik können wir untersuchen, was in einem Werkstoff passiert und wie er sich verändert, wenn wir ihn einer äußeren Beanspruchung aussetzen, d. h. z. B. an einem Metall ziehen oder drücken. In einigen Fällen können diese Prozesse so „laut“ sein, dass man sie mit dem bloßen Ohr wahrnehmen kann. Dies ist z. B. als das sogenannte „Zinngeschrei“ bekannt. Nimmt man beispielsweise einen dünnen Zinnstab und zieht an diesem oder biegt ihn hin und her, kann man dabei ein leichtes Knistern vernehmen. Doch was sind die Ursachen? Das sind Prozesse im Zinn, die mit hoher Geschwindigkeit ablaufen und bei denen dabei spontan ein hoher Betrag an elastischer Energie freigesetzt wird. Um die entstehenden Signale nicht nur zu hören, sondern auch quantitativ auswerten zu können, werden hier entsprechende Sensoren direkt auf der Oberfläche der zu untersuchenden Objekte angebracht. Diese Messmethodik trägt den Namen Schallemissionsanalyse. Zwischen den seismischen Signalen und den Signalen der Schallemissionsanalyse gibt es neben einigen Gemeinsamkeiten auch einen signifikanten Unterschied *(Abbildung 1)*. Während seismische Ereignisse wie Erdbeben vorwiegend im Niederfrequenzbereich (< 1 Hz) stattfinden, liegen die Signale der Schallemissionsanalyse im Hochfrequenzbereich zwischen 1 kHz und 1 MHz. Seismische Signale und Signale der Schallemissionsanalyse sind exemplarisch in *Abbildung 1b bzw. 1c* dargestellt. Generell sind beide Signale ähnlich in ihrem Erscheinungsbild, aber deutlich unterschiedlich in der Zeitskala. Während das seismische Signal eines Erdbebens einige Minuten umfassen kann, finden die Ereignisse bei der Schallemissionsanalyse im Bereich von Mikrosekunden statt.

Das Verfahren der Schallemissionsmessungen ist ein passives Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit einem hohen Potenzial zur Charakterisierung sowohl von Schädigungs- als auch Verformungsmechanismen in Werkstoffen. Besondere Vorteile dieses Verfahrens sind u. a. die hohe Zeitauflösung und der integrale Messcharakter, d. h. dass die Informationen aus dem gesamten unter Prüfung stehenden Volumen stammen und nicht wie bei mikroskopischen Verfahren auf zweidimensionale Oberflächeninformationen beschränkt sind. Quellen für Schallemissionssignale sind dabei Prozesse, die bei Beanspruchung eines Werkstoffs/Bauteils besonders schnell ablaufen und bei denen ein großer Betrag an elastischer Energie spontan freigesetzt wird. Diese Energie breitet sich im Materialvolumen in Form von elastischen Wellen aus und führt zu Oberflächenverschiebungen, die im Bereich von 10^{-14} m liegen können. Werden geeignete Sensoren (z. B. Piezo-Sensoren) auf der Oberfläche angebracht, können diese Oberflächenverschiebungen in elektrische Signale umgewandelt werden. Diese Signale können dann nachverstärkt, gefiltert und aufgezeichnet werden. *Abbildung 2a* zeigt die Rissentstehung als mögliche Quelle für Schallemission, *Abbildung 2b* das Prinzip der Schallemissionsmessung.

Prinzipiell können analog zu den seismischen Signalen zwei Grundformen der Schallemissionssignale unterschieden werden: (i) kontinuierliche Signale und (ii) transiente Signale. Beide Signalformen sind in *Abbildung 3* dargestellt. In der Praxis wird jedoch eine Überlagerung beider Signalformen beobachtet, wie es in *Abbildung 3c* gezeigt ist.



Nach [1]

Abb. 1: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen seismischen Signalen und Schallemissionssignalen

1 PD Dr.-Ing. habil. Anja Weidner, Institut für Werkstofftechnik (IWT), Gustav-Zeuner-Str. 5, 09599 Freiberg, weidner@ww.tu-freiberg.de, Tel: +49-3731-39-2124

Die kontinuierlichen Signale stellen zum einen das Untergrundrauschen (Rauschniveau, Störpegelniveau) dar, können aber andererseits auch durch langsam ablaufende Prozesse wie z. B. Versetzungsbewegung verursacht werden. Die Signalstärke (Amplitude) dieser Signale kann sowohl durch die maximale Amplitude als auch durch den Effektivwert angegeben werden. Transiente Signale hingegen werden durch sehr schnelle Prozesse wie z. B. Rissbildung verursacht und können durch eine Reihe von Parametern beschrieben werden, wie z. B. die maximale Signalstärke (Amplitude), die Anklingzeit, oder die Länge (Dauer) des Signals. *Abbildung 4* zeigt eine Darstellung beider Signalformen mit den entsprechenden Parametern.

Für die Aufzeichnung der Schallemissionssignale können zwei verschiedene Strategien zum Einsatz kommen. Dies ist zum einen die schwellenwertbasierte und zum anderen die schwellenwertfreie Aufzeichnung. Das Prinzip beider Strategien ist in *Abbildung 5* dargestellt. Bei der schwellenwertbasierten Aufzeichnung wird knapp oberhalb des Störpegelniveaus ein Schwellenwert festgelegt. Bei der Aufzeichnung werden nur diejenigen Signale registriert, deren Signalstärke oberhalb dieses Schwellenwerts liegt. Mit diesem Verfahren lässt sich sehr gut die Anzahl von transienten Ereignissen sowie deren Ankunftszeit ermitteln. Das schwellenwertfreie Verfahren hingegen registriert den kompletten Datensatz und zeichnet sowohl kontinuierliche als auch transiente Signale auf. Dies hat den Vorteil, dass auch langsame Ereignisse bzw. Ereignisse mit geringer Signalstärke, die innerhalb des Effektivwerts des Störpegelniveaus liegen, aufgezeichnet und ausgewertet werden können. Hier steht daher der gesamte Frequenzraum für die Datenanalyse zur Verfügung.

In der Vergangenheit wurde die Schallemission häufig zur Detektion der Rissbildung z. B. zur Überwachung von Druckbehältern eingesetzt. Dabei kam häufig die schwellenwertbasierte Aufzeichnung der Schallemissionssignale zum Einsatz. Dies ist eine besonders effiziente Methode bei Langzeitmessungen wie z. B. bei der Überwachung von Druckbehältern und anderen Anlagen/Bauwerken. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Computertechnologie ermöglicht es heute allerdings, Schallemissionsdatensätze kontinuierlich aufzuzeichnen, so dass alle Informationen für die Datenauswertung zur Verfügung stehen. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn neben den Schädigungsmechanismen wie z. B. Rissbildung und Risswachstum auch Verformungsmechanismen in metallischen Werkstoffen wie z. B. die Versetzungsbewegung für das Verständnis des Werkstoffverhaltens von Interesse sind.

Im Folgenden soll ein Beispiel gegeben werden, wie das Verfahren der Schallemissionsmessung im Bereich der Werkstofftechnik zur Charakterisierung des Werkstoffverhaltens bzw. der Werkstoffschädigung verwendet werden kann.

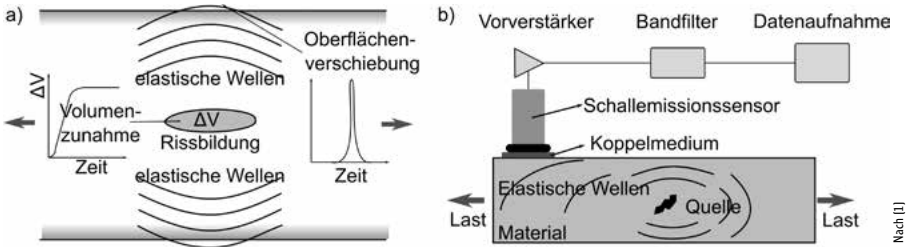


Abb. 2: (a) Entstehung von elastischen Wellen durch Bildung eines Risses während einer Zugbeanspruchung, (b) Prinzip der Schallemissionsmessung

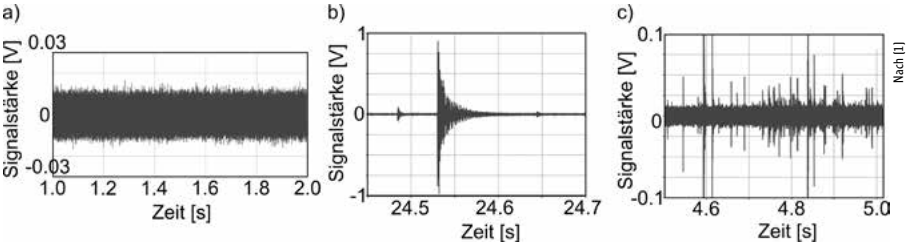


Abb. 3: Typische Grundformen der Schallemissionssignale in Werkstoffen: (a) Kontinuierliches Signal, (b) Transientes Signal, (c) Überlagerung von transienten und kontinuierlichen Signalen

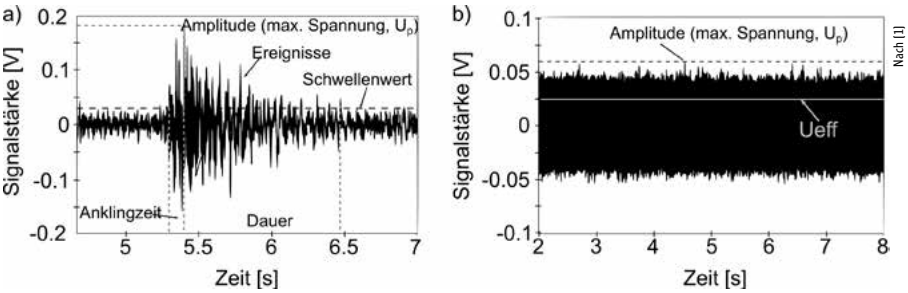


Abb. 4: Signaltypen der Schallemission inklusive charakteristischer Parameter: (a) Transientes Signal. (b) Kontinuierliches Signal. Nach [1]

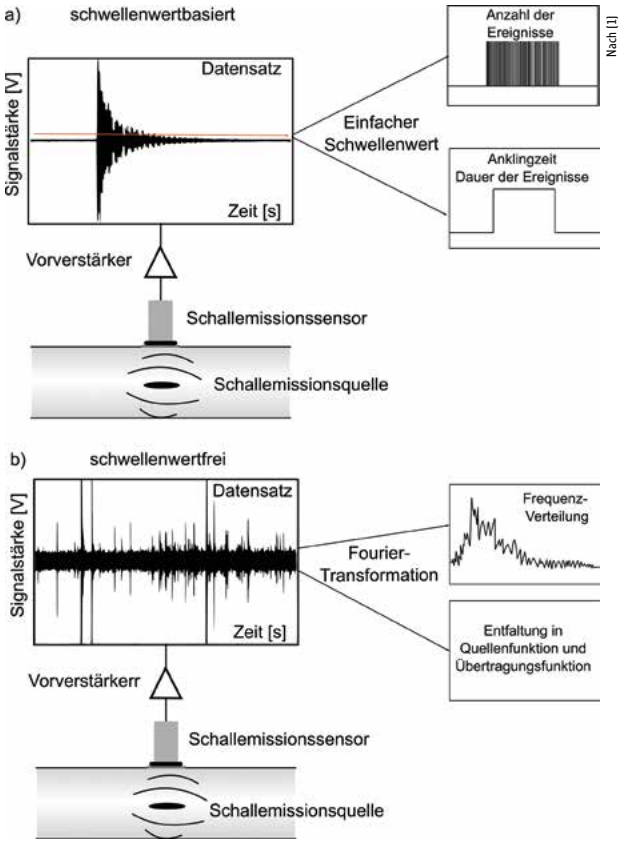


Abb. 5: Schwellenwertbasiertes (a) und schwellenwertfreies (b) Messprinzip der Schallemissionsmessungen

Bei dem Werkstoff, der hier mittels der Schallemission näher betrachtet wird, handelt es sich um einen besonderen Stahl aus der Klasse der hochfesten austenitischen Stähle mit herausragenden Eigenschaften wie einer sehr guten Verformbarkeit bei gleichzeitig guter Festigkeit. Dies wird durch einen Mechanismus möglich, der bei der mechanischen Beanspruchung des Werkstoffs z. B. unter Zug oder Druck abläuft – die Zwillingsbildung. Bei der Zwillingsbildung kommt es zu einer homogenen Abscherung zweier Kristallitbereiche gegeneinander, wobei beide Kristallitbereiche nach der Abscherung spiegelbildlich zueinander angeordnet sind. Diesem Mechanismus verdanken diese besonderen Stähle auch ihren Namen. Im englischen Sprachraum werden sie als TWIP-Stähle bezeichnet, wobei TWIP für Twinning-Induced Plasticity [2] steht, was zwillingsinduzierte Plastizität bedeutet. Das Legierungskonzept dieser austenitischen Stähle, welches an der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen des SFB 799 entwickelt und patentiert wurde [3], beruht auf einem niedrigen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt (< 0.05 Ma.%), einem hohen Anteil der Legierungselemente Cr (16 Ma.%), Mn (7 Ma.%) und Ni (9 Ma.%). Dieser Werkstoff wurde in den vergangenen zwölf Jahren intensiv erforscht. Details zum Werkstoff und den durchgeführten Untersuchungen können in [4–7] nachgelesen werden. An diesem Werkstoff wurde die Schallemissionsmessung während einer Zugbeanspruchung bei Raumtemperatur durchgeführt. *Abbildung 6* zeigt die verwendete Probengeometrie für einen Zugversuch *(Abbildung 6a)* sowie die Anordnung der Probe in der Prüfmaschine mit dem angebrachten Schallemissionssensor *(Abbildung 6b)*.

Die Aufnahme der Schallemissionssignale erfolgte während der gesamten

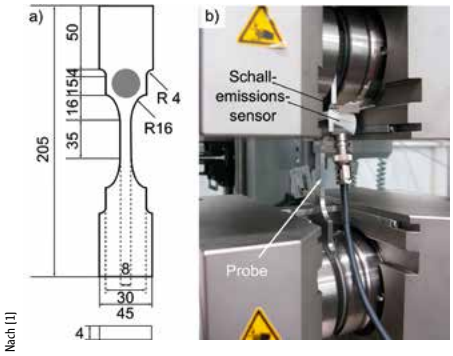


Abb. 6: Versuchsanordnung Zugversuch mit Probengeometrie (a) und Schallemissionssensor (b); grau markierter Bereich – Platz für Schallemissionssensor

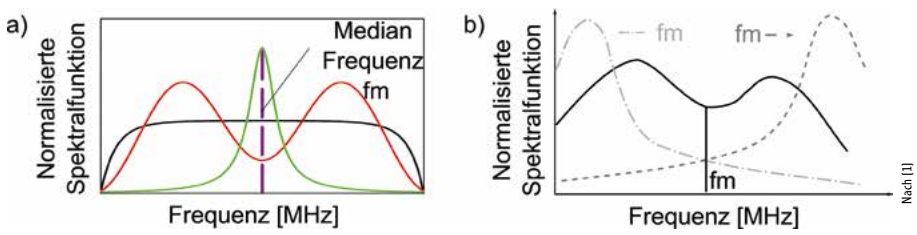
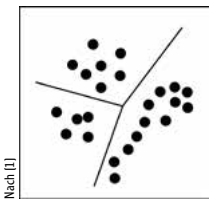


Abb. 7: Schematische Darstellung verschiedener, normalisierter Spektralfunktionen:
(a) Spektralfunktionen mit unterschiedlichen Energien der Schallemissionssignale aber identischer Medianfrequenz,
(b) Spektralfunktionen mit unterschiedlicher Energie und verschiedenen Medianfrequenzen

Zugbeanspruchung mit einem Breitband-Piezo-Sensor (100–1000 kHz), der im Schulterbereich der Flachzugproben mit Hilfe eines Gummibandes fixiert wurde. Die Aufnahme der Schallemissionssignale erfolgte dabei kontinuierlich, schwellenwertfrei mit einer hohen Datenerfassungsrate von zwei Millionen Datenpunkten pro Sekunde (2 MSPS). Damit stehen für die Datenauswertung sowohl die kontinuierlichen als auch die transienten Signale zur Verfügung. Die kontinuierlichen Schallemissionsdatensätze werden mit den Spannungs-Dehnungs- bzw. Kraft-Zeit-Kurven synchronisiert. Die Auswertung der Schallemissionsdaten erfolgt sowohl im Zeit- als auch im Frequenzspektrum. Im Zeitspektrum lassen sich zunächst Parameter wie die Art der Signale (kontinuierlich, transient), die Anzahl und die Amplitude analysieren. Für die Betrachtungen im Frequenzspektrum erfolgt eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) der Daten, wobei gleichzeitig eine Entfaltung der gemessenen Schallemissionsdaten in die Übertragungsfunktion (Wellenausbreitung, Eigenschaften des Schallemissionssensors) und die sogenannte Quellenfunktion erfolgt. Bei der FFT wird gleichzeitig das natürliche Untergrundrauschen abgetrennt. Für die FFT wird der gesamte Datensatz in einzelne Fenster mit einer Größe von 2^n Datenpunkten unterteilt, für die die Entfaltung durchgeführt wird. Dabei hängt die Wahl der Größe der Fenster von der Dichte der Schallemissionsereignisse ab. Üblicherweise wird mit Fenstergrößen von 2^{10} (1.024) bis 2^{13} (8.192) gearbeitet. Das Ergebnis der FFT ist eine spektrale Leistungsdichtefunktion *G(f)*, die sich je nach der Natur der Signale, d.h. ihres Ursprungs, signifikant voneinander unterscheiden können. Zwei charakteristische Parameter der spektralen Leistungsdichtefunktion sind die Leistung/Energie der Schallemissionssignale *E* und die Medianfrequenz f_m. Die Energie *E* entspricht dabei der Fläche unter der Kurve der Leistungsdichtefunktion. Die Medianfrequenz entspricht der Frequenz, die die Fläche unterhalb der Leistungsdichtefunktion in zwei gleichgroße Anteile trennt.

Durch Pomponi und Vinogradov [8] wurde ein Ansatz für eine Clusteranalyse in Anlehnung an einen sequentiellen *k-means*-Algorithmus entwickelt. Dieser Algorithmus erlaubt die Trennung von verschiedenen Schallemissionsquellen auf der Basis verschiedener spektraler Leistungsdichtefunktionen und deren Zusammenfassung in einzelnen Clustern. Dies geschieht nach dem Prinzip der Minimierung der Unterschiede zwischen Elementen innerhalb eines Clusters und Maximierung der Unterschiede zwischen Elementen unterschiedlicher Cluster.

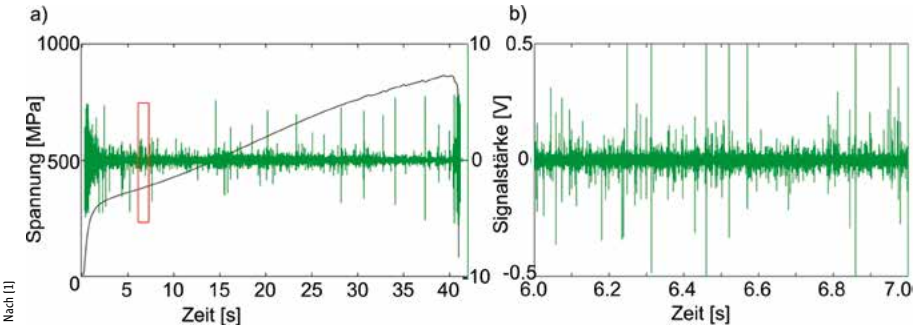
Abb. 8: Schematische zweidimensionale Darstellung der Clusterung von Elementen mit unterschiedlichen Eigenschaften



Die verschiedenen Cluster wiederum können dann mit verschiedenen Mechanismen, die im Werkstoff ablaufen, korreliert werden. Zur Interpretation der Schallemissionsdaten werden weitere Charakterisierungsmethoden herangezogen wie z. B. die Röntgenbeugung und die Raster- bzw. Transmissionselektronenmikroskopie.

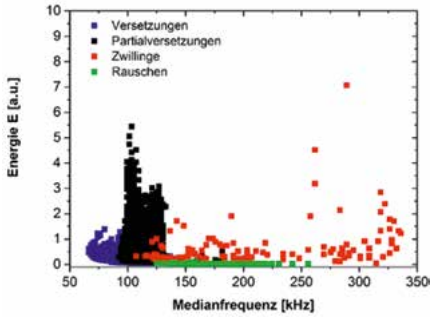
Abbildung 9a zeigt eine Spannungs-Dehnungs-Kurve (grau) eines Zugversuchs mit einem aufgenommenen Datensatz der Schallemissionsmessung (grün). In *Abbildung 9b* ist ein Ausschnitt für ein Zeitintervall von 1 s zu sehen. Hier wird deutlich, dass neben den kontinuierlichen Signalen eine Vielzahl dicht beieinander liegender transienter Signale überlagert sind.

Die Anwendung des durch Pomponi und Vinogradov [8] entwickelten Algorithmus der Spektral- und Clusteranalyse von kontinuierlich während des



Nach [1]

Abb. 9: (a) Spannungs-Dehnungs-Kurve (grau) in Kombination mit Schallemissionsdatensatz (grün), (b) Ausschnitt mit der Länge von 1 s entsprechend der roten Markierung in (a)

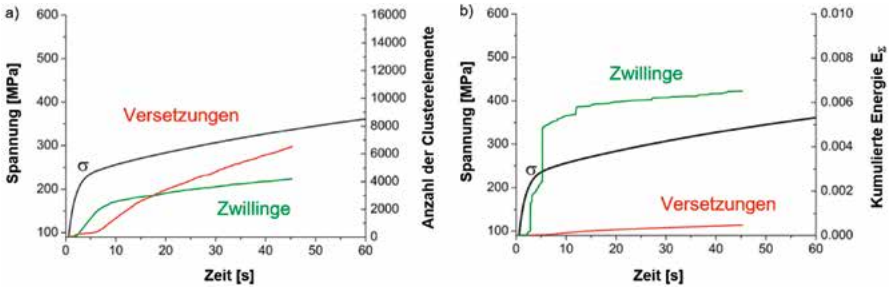


Nach [9]

Abb. 10: Ergebnis der Clusteranalyse eines Schallemissionsdatensatzes aufgenommen an einem TWIP-Stahl während einer Zugbeanspruchung bei Raumtemperatur

Beanspruchungsvorgangs registrierten Schallemissionssignalen führt zur Identifizierung verschiedener Cluster mit unterschiedlichen Eigenschaften wie z.B. der spektralen Energie der Signale *E* und der Medianfrequenz f_m, wie es in *Abbildung 10* für den Stahl mit der ausgeprägten Zwillingsbildung gezeigt ist. Diese Cluster wiederum können nun mit verschiedenen Prozessen, die im Werkstoff während der Beanspruchung ablaufen – den sogenannten Verformungsmechanismen – korreliert werden. Für den hier betrachteten Stahl wird neben der normalen Versetzungsbewegung auch die Bildung von Zwillingen beobachtet und mittels abbildender Verfahren wie der Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie bestätigt. Anders als in Werkstoffen wie Titan oder Magnesium erfolgt die Zwillingsbildung in diesen Stählen über die koordinierte Bewegung von sogenannten Partialversetzungen. Wie *Abbildung 10* zeigt, können neben dem normalen Untergrundrauschen (grün) drei unterschiedliche Quellen für die Entstehung von Schallemissionssignalen voneinander getrennt werden: (i) die Versetzungsbewegung (blau) – niedrige Frequenzen und geringe Energien, (ii) die Aufspaltung von Versetzungen in Partialversetzungen (schwarz) – niedrige Frequenzen in einem engen Frequenzband und höhere Energien, und (iii) die Zwillingsbildung (rot) – höhere Frequenzen und Energien mit jeweils breiter Streuung.

Konnten aus den Schallemissionsmessungen verschiedene Quellen für die Entstehung der Schallemissionssignale extrahiert und in Clustern zusammengefasst werden, so kann in einem nächsten Schritt die zeitliche Entwicklung der einzelnen Cluster über den gesamten Beanspruchungszeitraum hinweg betrachtet werden. Dies kann sowohl über die Entwicklung der Anzahl der Elemente pro Cluster als auch über deren kumulierte Energie



Nach [1, 7]

Abb. 11: Kinetik der Versetzungsbewegung und der Zwillingsbildung während des Zugversuchs eines TWIP-Stahls bei Raumtemperatur. Gezeigt ist die zeitliche Entwicklung der jeweiligen Cluster hinsichtlich der Anzahl der Clusterelemente (a) und ihrer kumulierten Energie E_Σ (b). Nach [1,7]

E_Σ erfolgen. *Abbildung 11* verdeutlicht das wiederum am Beispiel des TWIP-Stahls mit ausgeprägter Zwillingsbildung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden hier nur zwei Quellen (Cluster) für Schallemissionssignale betrachtet: (i) Versetzungsbewegung und (ii) Zwillingsbildung. Es ist deutlich zu erkennen, dass die beiden Quellen der akustischen Emission getrennte Zeitverläufe haben.

Wie eingangs erwähnt, liegt das große Potenzial der *In-situ*-Messung von Schallemissionen während der mechanischen Beanspruchung von Werkstoffen in der hohen Zeitauflösung (im Bereich von Mikrosekunden) sowie dem integralen Charakter der Messmethode, die Informationen aus dem gesamten getesteten Probenvolumen liefert. Der Vorzug der Schallemissionsmessungen ist die kontinuierliche Abbildung der Kinetik der ablaufenden Verformungsmechanismen.

Literatur:

1 A. Weidner, Deformation mechanisms of TRIP/TWIP steels: In situ characterization techniques, Springer Series in materials Science, Springer Nature (2020), ISBN 978-3-030-37149-4.

2 B.C. De Cooman, Y. Estrin, S.K. Kim: Twinning-induced plasticity (TWIP) steels. Acta Materialia 147 (2018), S. 283–362.

3 A. Weiß, H. Gutte, A. Jahn, P. R. Scheller: Nichtrostende Stähle mit TRIP/TWIP/SBIP-Effekt. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 40/8 (2009) S. 606–611.

4 H. Biermann, C.G. Aneziris: Austenitic TRIP/TWIP Steels and Steel-Zirconia Composites, Springer Series in Materials Science, Springer Nature (2020), ISBN 978-3-030-42603-3.

5 A. Weidner, H. Biermann: Combination of different in situ characterization techniques and scanning electron microscopy investigations for a comprehensive description of the tensile deformation behavior of a CrMnNi TRIP/TWIP steel. JOM 67/8 (2015), S. 1729–1747.

6 A. Vinogradov, A. Lazarev, M. Linderov, A. Weidner, H. Biermann: Kinetics of deformation pro-cesses in high-alloyed cast transformation-induced plasticity/twinning-induced plasticity steels determined by acoustic emission and scanning electron microscopy: Influence of austenite stability on deformation mechanisms Acta Materialia 61 (2013), S. 2434–2449.

7 M. Linderov, C. Segel, A. Weidner, H. Biermann, A. Vinogradov: Deformation mechanisms in austenitic TRIP/TWIP steels at room and elevated temperature investigated by acoustic emission and scanning electron microscopy. Mater. Sci. Eng. A597 (2014), S. 183–193.

8 E. Pomponi, A. Vinogradov: A real-time approach to acoustic emission clustering. Mechanical Systems and Signal Processing 40 (2013), S. 791–804.

9 A. Weidner, H. Biermann: Akustische Emission zur Untersuchung von Verformungs- und Schädigungsmechanismen, In: Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis: Tagung Werkstoffprüfung (2019) Verlag Stahleisen GmbH, ISBN: 978-3-88355-418-1, S. 299–304.

Zwölf Jahre erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit im SFB 799 – das Teilprojekt Ö

Margit Enke[1], Isabel Luther[1]

Es ist der 1. Juli 2008, ein freudiger Sommertag, als ein ganz besonderes Kapitel an der TU Bergakademie Freiberg aufgeschlagen wird: Der Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-Composite“ nimmt seine Forschungstätigkeit auf. Von diesem Tag an sollen zwölf Jahre exzellente Forschung und kollegiale Gemeinschaft folgen. Etwas ganz Besonderes ist der SFB 799 auch durch seine innovativen Teilprojekte. Bis dato galt es als absolute Neuheit, die Öffentlichkeitsarbeit als Teilprojekt in ein solches Gesamtvorhaben zu integrieren. Unter Leitung von Frau Prof. Dr. Margit Enke begleitete unser Pionierprojekt den SFB 799 auf seinem langjährigen Forschungsweg.

Die Hochzeit von Stahl und Keramik

In Fachkreisen sprach man von dem Verbund aus transformation-induced-plasticity-Stählen und Zirkondioxid-Keramiken. Die Aufgabe des Teilprojekts Öffentlichkeitsarbeit bestand nun darin, das Wissen und die Forschung um die Verbundwerkstoffe auf Fe-ZrO_2-Basis verschiedenen Zielgruppen zu vermitteln. Aber seien wir ehrlich: Nur ein Bruchteil unserer Gesellschaft interessiert sich für chemische Formeln und weiß, was mit „Fe-ZrO_2-Verbindungen“ gemeint ist. Deshalb bestand die eigentliche Herausforderung für unser Teilprojekt darin, auf einfache und verständliche Weise den Mehrwert dieses neuartigen Verbundwerkstoffs zu erklären. Und das haben wir geschafft. ‚Die Hochzeit von Stahl und Keramik zu einem noch leistungsfähigeren, ressourcenschonenden Verbundwerkstoff‘ ist nun für jeden von uns verständlich.

Die Industrie muss mit ins Boot

Konkret verstärken sich die beiden Werkstoffe Stahl und Keramik gegenseitig und können auf hohe äußere Beanspruchung reagieren. So zeichnet sich der neuartige Verbundwerkstoff durch spezielle Eigenschaften, wie hohem Energieaufnahmevermögen sowie Leichtigkeit und

„Ob und wie eine Maßnahme wahrgenommen wird, ist in der heutigen Zeit der Informationsüberflutung besonders bedeutend. Es ist das A und O unserer Arbeit.“

Margit Enke

Verformbarkeit bei gleichzeitig extremer Festigkeit aus. Das führt beispielsweise dazu, dass der Verbundwerkstoff bei einem Autocrash mehr Energie absorbieren und so gegebenenfalls Menschenleben retten kann. Anwendern aus der Industrie kamen die innovativen Materialsysteme und ihre Herstellungstechnologien besonders gelegen. Sie profitierten von umweltgerechten Lösungen und den besagten, herausragenden Werkstoffeigenschaften. Dem Sonderforschungsbereich 799 und seinen Mitarbeitenden zeigten die Industrieprojekte einmal mehr, dass die hier betriebene Forschung anwendungsfähig und zukunftsträchtig ist.

Den wissenschaftlichen Nachwuchs für Werkstoffe begeistern

Doch exzellente Forschung war noch nie ohne exzellente Mitstreiter möglich. Aus diesem Grund war uns die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses besonders wichtig. Manch einer würde sagen ‚Früher war alles besser‘. Die Hörsäle waren gut gefüllt, der wissenschaftliche Nachwuchs begeistert. Vielleicht ist aber in dieser Hinsicht heute gar nichts schlechter, sondern einfach nur anders. Um Schüler*innen und Studierende heute zu begeistern, bedarf es spannender und kreativer Methoden – Methoden, die emotional ansprechen und dabei helfen, sich in dem riesigen Geflecht von Kanälen und Informationen zurechtzufinden und einen Mehrwert schaffen. Unter diesem Leitsatz sind viele kreative Ideen und echte Eye-Catcher entstanden. Themen des Schülerwettbewerbs wie „STOP – Müll ist nicht tragbar, Deine Tasche schon“ oder „Zieglein, Zieglein in der Wand – Wer hat den Stärksten im ganzen Land?“ motivierten Schüler*innen dazu, sich dem Thema Verbundwerkstoffe anzunähern. Im Rahmen des Girls’ Days experimentierten die Teilnehmerinnen in verschiedenen Workshops, beispielsweise zur Herstellung von Diamanten, denn wir wissen alle: Diamonds are a girl’s best friends! In Kooperation mit dem Schülerlabor der TU Bergakademie Freiberg erfuhren Schüler*innen und Studierende, warum Metalle „denken“ können. Zwölf Jahre lang hat unser Teilprojekt den wissenschaftlichen Nachwuchs auf spielerische Art und Weise für den Bereich der Materialwissenschaft begeistert und damit so manche Schüler*innen für die Universität und Studierende für den Sonderforschungsbereich 799 gewinnen können.

Eine Ära geht zu Ende

Im Jahr 2020 schließt das Kapitel Sonderforschungsbereich 799 „TRIP-Matrix-Composite“. 28 Promotionen und sechs Habilitationen, über 500 internationale Publikationen, drei Mercator-Gastprofessuren, hochrangige Auszeichnungen und Forschungsfilme für die Ewigkeit – es ist ein Abschied unter Freudentränen. Die Wissenschaftler*innen der langjährigen, starken Forschungsgemeinschaft setzen ihre Wege fort – ohne Begleitung durch das Teilprojekt Ö, aber mit einzigartigem Know-how und unvergesslichen Erinnerungen. Ohne die Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft wäre der Erfolg von zwölf Jahren Forschung und Öffentlichkeitsarbeit nicht möglich gewesen.

Foto: Detlevv Müller/TU Bergakademie Freiberg

Schüler*innen forschen im Schülerlabor der TU Freiberg

1 Prof. Dr. habil. Margit Enke, Inhaberin des Lehrstuhls für Marketing und Internationalen Handel, TU Bergakademie Freiberg
Schloßplatz 1, 09599 Freiberg
Isabel Luther, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Marketing und Internationalen Handel

1) Mitarbeitende des SFB 799 während der Herbstschule in Aachen
2) Herstellung von Ballotines
3) Vorbereitung des Elektronenstrahlschmelzens in der EBM-Anlage
4) Beanspruchung einer Probe im Axial-Torsions-Ermüdungsprüfsystem
5) Stahlguss
6) Modellierung der Bruch- und Schädigungsmechanik
7) Pulverschmieden
8) Schüler*innen experimentieren im Rahmen des Girls'Days

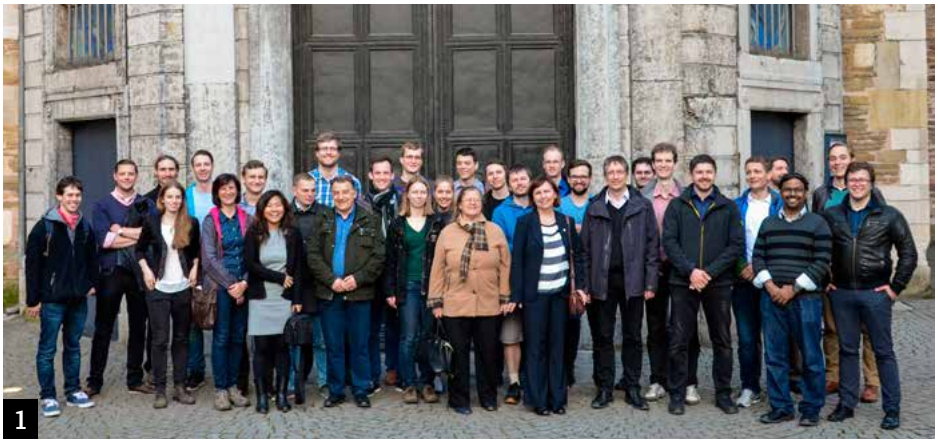
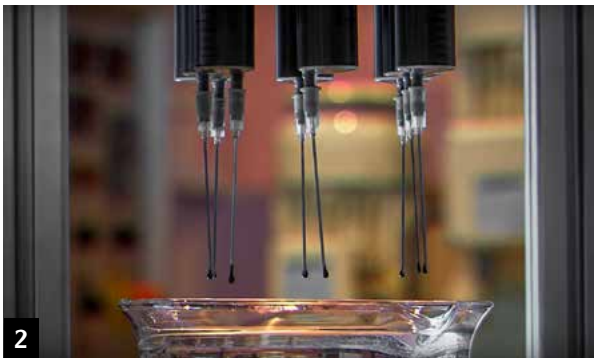
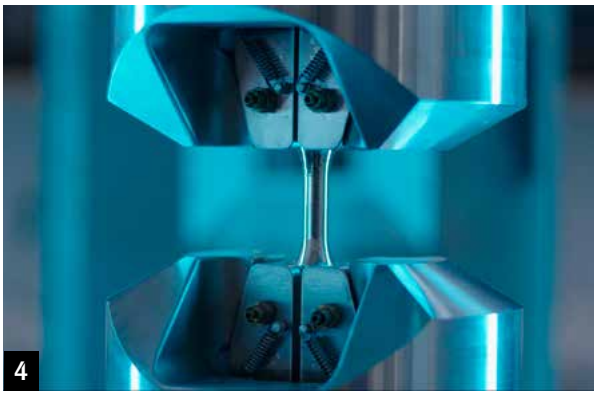

1

Foto: Isabel Luther

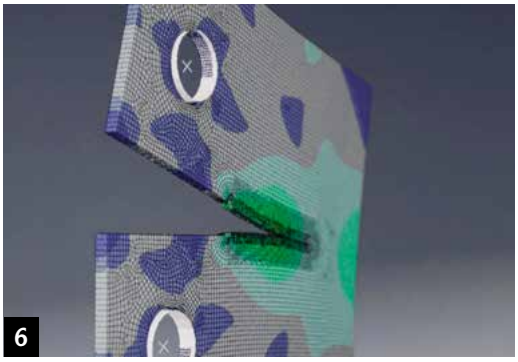

2

3

Fotos (2–7): Sons of Motion Pictures


4

5


6

7

8

Foto: Isabel Luther

Energieeffiziente Leistungselektronik

Valentin Garbe, Sarah Seidel, Christian Röder, Alexander Schmid, Johannes Heitmann[1]

Hocheffiziente Leistungselektronik ist die Voraussetzung für neuartige Anwendungen, wie smarte Energieversorgung, Automatisierung, Power-Management-Systeme, Elektromobilität, breitbandige Kommunikationssysteme der nächsten Generation (5G) und Anwendungen der künstlichen Intelligenz (KI).

Die Anzahl miteinander agierender und vernetzter Systeme wächst stetig. Zugleich ist der schonende Umgang mit Ressourcen eine zentrale gesellschaftliche Herausforderung. Durch die Zunahme leistungselektronischer Systeme sowie des Datenverkehrs steigt jedoch der Primärenergieverbrauch. Da elektrische Energie stets umgewandelt werden muss, um von verschiedenen Systemen genutzt werden zu können, nimmt der Bedarf an elektrischer Konversion zu. Derzeit verfügbare Leistungsbauelemente stoßen bezüglich ihrer Schaltgeschwindigkeit und der Kompaktheit ihres Aufbaus durch die verwendeten Halbleitermaterialien an ihre Grenzen. Kritisch ist hierbei, auch bei hohen Schaltgeschwindigkeiten oder Frequenzen effiziente Konverter oder Leistungsverstärker zu realisieren. Durch sogenannte Konversionsverluste in diesen Bauteilen geht noch immer eine erhebliche Menge Energie für die Nutzung verloren.[2] Die effiziente Wandlung von Energie wird damit zum Schlüssel für Anwendungen bei der Digitalisierung der Industrie sowie des weiteren Einsatzes der KI im großen Maßstab.

Im Verbundprojekt *Leistungstransistoren auf Basis von AlN* (*LeitBAN*) forscht das Institut für Angewandte Physik (IAP) zusammen mit Partnern aus in diesem Gebiet führenden Forschungsinstituten an Halbeitermaterialien und technologischen Maßnahmen, mit denen die Effizienz der elektrischen Energiewandlung weiter erhöht und damit Ressourcen geschont werden können. Voraussetzung dafür sind effizient schaltende Leistungshalbleiter mit deutlich verringerten Durchlassverlusten, die eine hohe Energiedichte ermöglichen. In großem Maßstab eingesetzt, ließe sich mit ihnen signifikant Energie einsparen und ein relevanter Beitrag zur CO_2-Reduktion leisten.

1 TU Bergakademie Freiberg, Institut für Angewandte Physik.

2 https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2019.pdf.

Nitridhalbleiter

Die hohen Anforderungen an Wirkungsgrade und Leistungsdichten zukünftiger Umrichter und Schalter übersteigen die Fähigkeiten der etablierten und auf Silizium (Si) basierten MOSFET[3]- und IGBT[4]-Technologie. Um kompaktere Transistoren mit bisher nicht erreichter Leistungsdichte, Effizienz und Zuverlässigkeit zu ermöglichen, werden am IAP neuartige Halbleitermaterialien untersucht, die viele Vorteile bieten. Für Leistungstransistoren müssen diese Halbleiter eine hohe Leistungsdichte aufweisen, d. h., vergleichsweise kleine Halbleitervolumina müssen in der Lage sein, hohe Leistungen zu schalten. Dafür werden sogenannte nitridische (Stickstoff-basierte) Halbleiter mit einer Bandlücke größer als die von Si (1,1 eV) verwendet. Eine größere Bandlücke des Halbleiters ermöglicht höhere Durchbruchsfeldstärken im Bauteil.

Anfang der 2000er Jahre wurden die ersten Transistoren auf Basis von Galliumnitrid (GaN) vorgestellt.[5] Die große Bandlücke von GaN (3,4 eV) eröffnete aufgrund der dadurch bedingten 10-fach höheren Durchbruchsfeldstärke im Vergleich zu Si neue Perspektiven in verschiedenen Bereichen der Leistungselektronik. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich die (im Gegensatz zu Si) direkte Bandlücke von GaN im System der nitridischen Halbleiter stufenlos anpassen lässt: durch die anteilige Substitution von Ga durch Aluminium (Al) lässt sich die Bandlücke weiter vergrößern (bis zu AlN: 6 eV), während sich durch die anteilige Substitution von Ga durch Indium (In) die Bandlücke verkleinern lässt (bis zu InN: 0,7 eV). Durch entsprechende Mischverhältnisse wird beispielsweise der gesamte Bereich des sichtbaren Lichts abgedeckt *(Abbildung 1).* Dies macht das System auch für optische Anwendungen interessant und hat zur Entwicklung der energieeffizienten blauen und weißen LED geführt. Während In, Ga und Al in der III. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente (PSE) stehen, ist Stickstoff (N) in der V. Hauptgruppe des PSE zu finden. Deshalb spricht man bei diesem Materialsystem von III/V-Verbindungshalbleitern.

3 Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (engl.; *Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*).

4 Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (engl.; *Insulated-Gate Bipolar Transistor*).

5 P. D. Ye, B. Yang, K. K. Ng, J. Bude, G. Wilk, S. Halder, and J. C. M. Hwang, Int. J. High Speed Electron. Syst. **14**, 791 (2004). https://doi.org/10.1142/S0129156404002843.

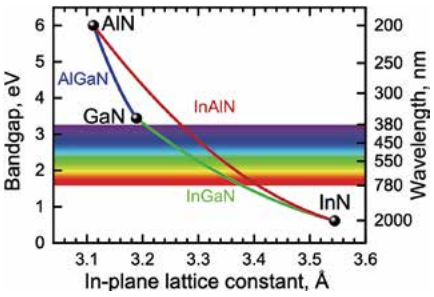


Abb. 1: Bandlücke und korrespondierende Wellenlänge (bzw. Farbe) sowie Kristallgitterkonstante des AlN-GaN-InN-Systems.[6]

Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit

Eine weitere Eigenschaft der III/V-Verbindungshalbleiter ist die in bestimmten Transistorkonzepten erreichbare hohe Elektronenbeweglichkeit und damit erzielbare Schaltgeschwindigkeit. Grundlage dafür ist die Erzeugung einer Grenzfläche zwischen zwei Nitridhalbleitern unterschiedlicher Bandlücke bzw. Kristallgitterkonstante, z. B. GaN/AlGaN. Aufgrund von Verspannungen und einer fehlenden Inversionssymmetrie kommt es zu einer spontanen und piezoelektrischen Polarisation *(Abbildung 2a)*, welche eine Verbiegung der Energiebänder hervorruft. An der Grenzfläche zwischen GaN/AlGaN sinkt das Leitungsband unter das Ferminiveau *(Abbildung 2b).* Da alle elektronischen Zustände unter dem Ferminiveau besetzt sind, bildet sich lokal ein zweidimensionales Elektronengas (2DEG). In diesem 2DEG sind die Elektronen aufgrund der räumlichen Beschränkung auf zwei Dimensionen und der fehlenden Streuung an Störstellen äußerst beweglich. Diese sogenannte Heterostruktur mit 2DEG *(Abbildung 2c)* wird im Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit (engl. *high electron mobility transistor*, *HEMT*) für leistungselektronische und schnell schaltende Bauteile genutzt.

Auch am IAP wurden solche auf GaN/AlGaN-basierten Leistungstransistoren im zentralen Reinraumlabor der TU Bergakademie Freiberg entwickelt, wobei bisher der Fokus neben der Entwicklung dünner dielektrischer Passivierungsschichten für dieses Materialsystem auf der Herstellung der drei elektrischen Anschlüsse eines

6 D. S. Arteev, A. V. Sakharov, E. E. Zavarin, W. V. Lundin, A. N. Smirnov, V. Y. Davydov, M. A. Yagovkina, S. O. Usov, and A. F. Tsatsulnikov, J. Phys.: Conf. Ser. **1135**, 012050 (2018).

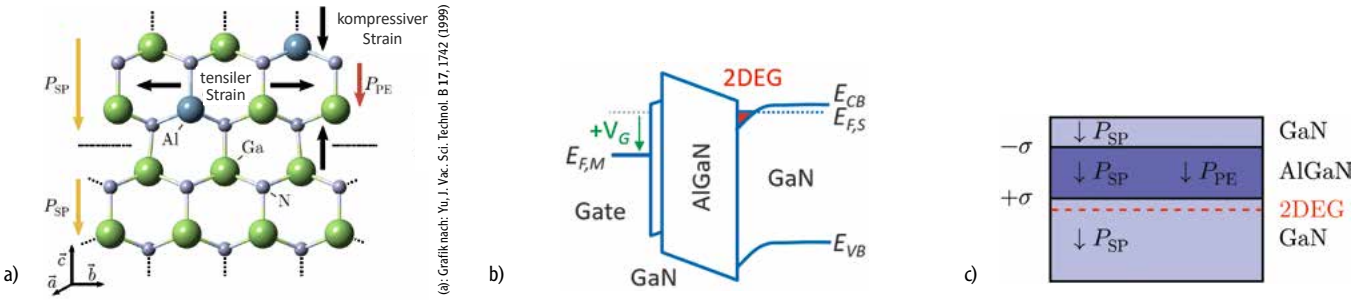


Abb. 2: (a) Spontane (P_{SP}) und piezoelektrische (P_{PE}) Polarisation im Kristallgitter an der Grenzfläche GaN/AlGaN, (b) dadurch erzeugte Bandverbiegung in einem HFET mit Leitungsband (E_{CB}) unterhalb des Ferminiveaus ($E_{F,S}$), (c) Ausbildung des 2DEG im HFET.[7]

solchen Transistors lag: Source, Drain und Gate *(Abbildung 3)*. Die Gate-Elektrode ist die Steuerelektrode des Bauteils und schaltet den Transistor durch Anlegen einer Spannung an oder aus. Sie liegt entweder direkt am Nitridhalbleiter an oder ist durch ein Oxid elektrisch vom 2DEG isoliert. Bei Source und Drain handelt es sich um sogenannte ohmsche Kontakte, die für den Stromzufluss (Source) und Stromabfluss (Drain) des Bauteils zuständig sind und eine lineare Strom/Spannungs-Abhängigkeit zeigen.

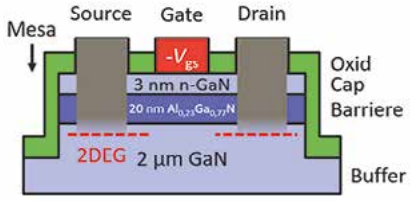


Abb. 3: HEMT als Heterostruktur mit 2DEG, ohmschen Kontakten (Source und Drain) und Gate-Elektrode.[7]

Ohmsche Kontakte

Ohmsche Kontakte dienen der Kontaktierung elektronischer Bauelemente und verbinden sie elektrisch mit anderen Bauteilen. Dabei bestimmt ihr Kontaktwiderstand, neben der Leitfähigkeit des 2DEG, maßgeblich den Leistungsverlust des HEMT im angeschalteten Zustand und damit den Energieverbrauch des fertigen Bauteils.

Die Herstellung ohmscher Kontakte zu Halbleitern mit großer Bandlücke ist grundsätzlich anspruchsvoll. In den letzten Jahren hat sich der etwa 200 nm dünne Ti/Al/Ni/Au-Kontaktstapel als Standard-Metallisierung durchgesetzt *(Abbildung 4a)*, wobei alle vier Metallschichten einen bestimmten Zweck erfüllen. Wie jede Metallisierung bildet auch dieser Kontaktstapel zunächst an der Grenzfläche zum Halbleiter mit großer Bandlücke eine Schottky-Barriere[8] aus. Um diese Barriere zu überwinden, muss der Halbleiter dotiert werden.

Abb. 4: Schematische AlGaN-basierte Heterostruktur (nicht maßstabsgetreu) mit 2DEG und ohmschen Kontakten. (a) Standard-Metallisierung Ti/Al/Ni/Au mit Au-Deckelektrode, (b) Vanadium-basierter Kontakt, (c) goldfreier Kontakt mit TiN-Deckelektrode

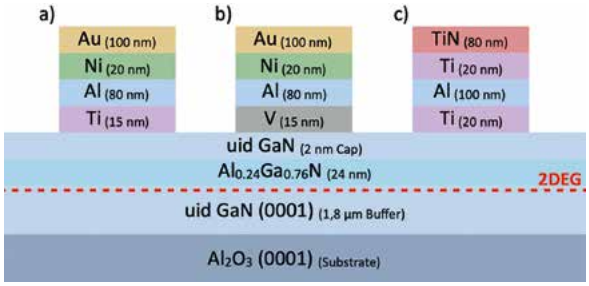
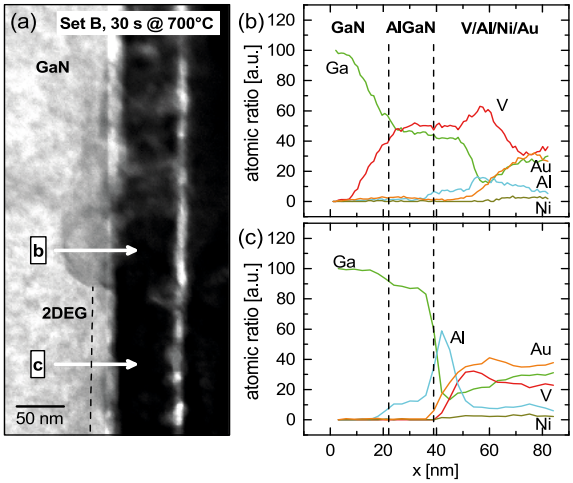


Abb. 5: (a) Transmissionselektronenmikroskopische (TEM) Aufnahme einer AlGaN/GaN-Heterostruktur mit V/Al/Ni/Au-Elektrode nach 30 s Tempern bei 700 °C. Mittels energiedispersiver Röntgenanalyse im TEM wurde entlang der Pfeilrichtung die Elementzusammensetzung bestimmt. (b) Lokal zeigt sich eine Eindiffusion von V durch die AlGaN-Barriere, welche zur Kontaktierung des 2DEG und damit zur Ausbildung eines ohmschen Kontakts führt. (c) Neben dem Kontaktbereich ist die Barriere noch intakt. Es bildet sich eine Al-reiche Phase an der Grenzfläche AlGaN/Elektrode aus (veröffentlicht in [9]).



Die Dotierung findet während eines Kurzzeit-Hochtemperaturschritts (engl. *rapid thermal annealing, RTA*) statt und erzeugt unter anderem durch metallische Mischphasenbildung eine Bandverbiegung an der Halbleiteroberfläche. Ist die Bandverbiegung ausreichend groß, wird die Barriere schmal genug, sodass sie von Elektronen quantenmechanisch durchtunnelt werden kann. Dieses sogenannte Bandlücken-Engineering führt zu einem quasiohmschen Kontakt mit einem linearen Strom/Spannungs-Verhalten trotz theoretisch vorhandener Schottky-Barriere.

Ohmsche Kontakte werden durch Elektronenstrahlverdampfen bzw. thermisches Verdampfen im zentralen Reinraumlabor hergestellt. In Vorarbeiten des IAP konnte gezeigt werden, dass sich durch Einbringung von Vanadium (V) in den Kontaktschichtstapel *(Abbildung 4b)* die Formierungstemperatur von 850 °C auf 700 °C verringern lässt, was wiederum die elektrische Leitfähigkeit des 2DEG weniger beeinträchtigt.[9] Zudem konnte die Formierung der Kontakte auf mikrostruktureller Ebene aufgeklärt und gezeigt werden, dass V durch die AlGaN-Barriere eindiffundiert und so das 2DEG lokal direkt kontaktiert *(Abbildung 5)*. Daher sollte diese Technologie auch in der Lage sein, auf den im Projekt *LeitBAN* geplanten

7 A. Schmid (2019). Untersuchungen zu Vanadium-basierten ohmschen Kontakten in AlGaN/GaN-MISHFETs [Dissertation, TU Bergakademie Freiberg].

8 Potenzialbarriere am Metall/Halbleiter-Kontakt, welche für ein gleichrichtendes/sperrendes Verhalten sorgt; benannt nach dem Physiker Walther Schottky.

9 A. Schmid, C. Schroeter, R. Otto, M. Schuster, V. Klemm, D. Rafaja, and J. Heitmann, Appl. Phys. Lett. **106**, 053509 (2015). http://doi.org/10.1063/1.4907735.

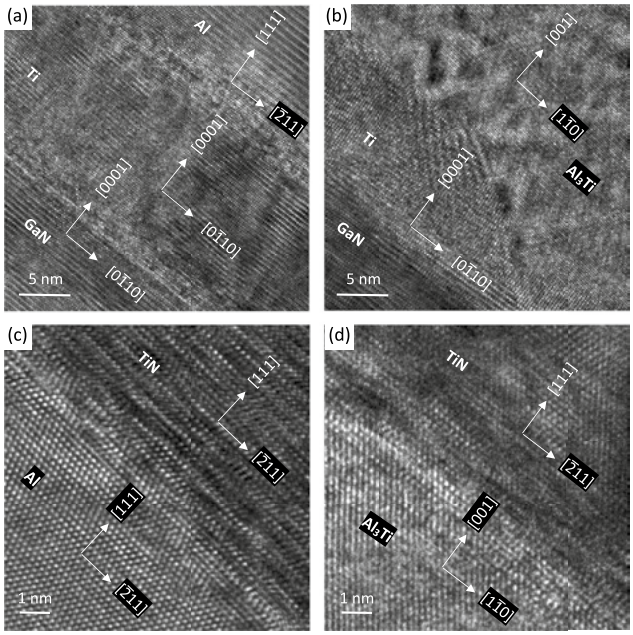


Abb 6: Hochauflösende TEM-Bilder der GaN/Ti/Al-Grenzflächen: (a) im direkt abgeschiedenen Zustand und (b) RTA-getempert; Al/TiN-Grenzfläche: (c) im direkt abgeschiedenen Zustand und (d) RTA-getempert. Kristallographische Richtungen sind angegeben (veröffentlicht in [11]).

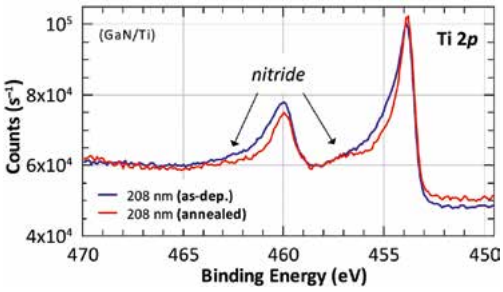


Abb 7: Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) zeigt Ti-2*p*-Kernlevel-Spektren an der GaN/Ti-Grenzfläche vor und nach dem RTA-Prozess. Im direkten Vergleich ist keine signifikant erhöhte TiN-Bildung durch das RTA zu erkennen (veröffentlicht in [11]).

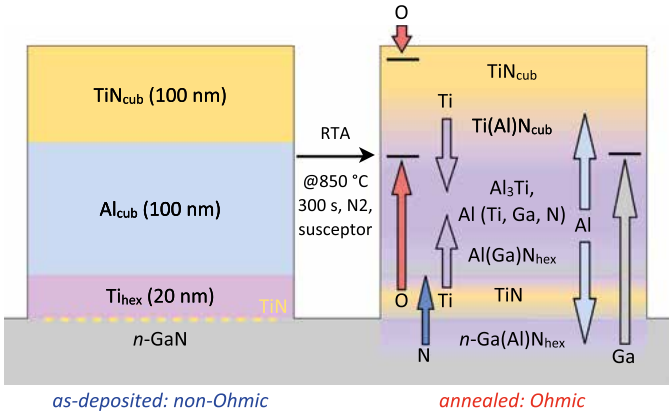


Abb 8: Schematischer Aufbau des goldfreien Ti/Al/TiN-Kontakts vor und nach dem RTA-Prozess. Diffusion und Phasenbildungen sind angegeben (veröffentlicht in [11]).

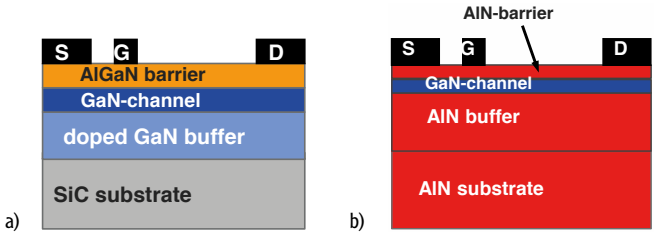


Abb. 9: Schema eines HEMT (a) nach klassischer Bauweise mit GaN/AlGaN-Heterostruktur auf SiC-Substrat und (b) mit GaN/AlN-Heterostruktur auf AlN-Substrat[12]

Transistoren mit AlN- statt AlGaN-Barrieren niederohmsche, stabile und zuverlässige Kontakte zu realisieren.

Das Interesse an integrierten GaN-Bauelementen auf kostengünstigen Si-Substraten für Ein-Chip-Systeme (System-On-A-Chip, SoC) hat darüber hinaus in den letzten Jahren das Bedürfnis nach einer goldfreien Kontaktierung von GaN/AlGaN-HEMTs geweckt, da die dort verwendete CMOS-Technologie[10] eine goldfreie Prozessierung voraussetzt. Auch dazu hat das IAP in Zusammenarbeit mit dem Institut für Experimentelle Physik (IEP) und dem Institut für Werkstoffwissenschaft (IWW) geforscht und eine goldfreie Ti/Al/TiN-Kontaktierung zu GaN entwickelt *(Abbildung 4c)*.[11] Da TiN erst bei 2.950 °C schmilzt, wurde die Abscheidemethode des physikalischen Sputterns genutzt. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Metallstapel epitaktisch (an die Kristallstruktur des Substrats angepasst) auf der GaN-Oberfläche aufwächst *(Abbildung 6)*. Außerdem konnte erstmals gezeigt werden, dass die sich an der Grenzfläche GaN/Ti bildende TiN-Schicht bereits vor der RTA-Behandlung formiert *(Abbildung 7)*, auch wenn das ohmsche Kontaktverhalten sich erst nach dem RTA zeigt. Die Bildung der TiN-Schicht wurde üblicherweise in der Literatur für die Formierung des ohmschen Verhaltens verantwortlich gemacht, da sie die Bildung von Stickstoffvakanzen im GaN-Kristallgitter und damit die lokale Dotierung des Halbleiters anzeigt.

Die metallischen Phasenbildungen während des RTA-Prozesses wurden durch eine große Anzahl an kristallographischen und elektrischen Analysemethoden untersucht und beschrieben *(Abbildung 8)*.

Aluminiumnitrid

Im aktuellen Projekt *LeitBAN* geht das IAP noch einen Schritt weiter und wird mit den im Projekt arbeitenden Partnern das Halbleitermaterial AlGaN im HEMT durch Aluminiumnitrid (AlN) ersetzen. Darüber hinaus soll auch das Substrat und die GaN-Pufferschicht durch AlN ersetzt werden, was das Wachstum von nahezu defektfreien Kristallen ermöglicht, wie es bei der Prozessierung auf Fremdsubstraten nicht möglich ist *(Abbildung 9)*.

Das für elektronische Anwendungen bislang wenig erforschte Halbleitermaterial AlN zeichnet sich durch vielversprechende Eigenschaften aus. Im Vergleich zu Si-Bauelementen hat AlN einen bis zu 10.000-fach geringeren Durchlassverlust. AlN zeichnet sich zudem durch eine sehr hohe Durchbruchsspannung *(Abbildung 10)* und Wärmeleitfähigkeit aus, was AlN als Leistungshalbleiter mit hoher Energiedichte und Effizienz interessant macht. Durch die kompakte Bauweise der

10 *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* (engl.; komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter).

11 V. Garbe, J. Weise, M. Motylenko, W. Münchgesang, A. Schmid, D. Rafaja, B. Abendroth, and D. C. Meyer, J. Appl. Phys. **121**, 065703 (2017). http://doi.org/10.1063/1.4975485.

12 Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH).

AlN-Transistoren treten im Vergleich zu GaN-Transistoren weniger Leitungs- und Schaltverluste auf, was zu signifikanten Effizienzsteigerungen bei Anwendungen in der Leistungselektronik führen soll.

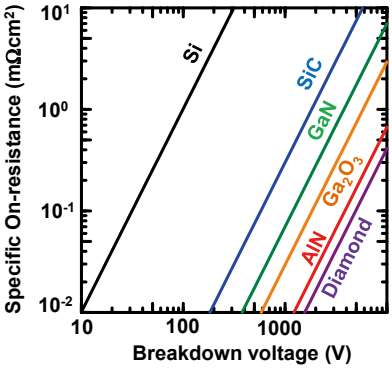


Abb. 10: Überlegene Materialeigenschaften von AlN im Vergleich zu GaN und Si. Ziel ist ein niedriger Widerstand im angeschalteten Zustand (On-resistance), bei gleichzeitig hoher Durchbruchsspannung (Breakdown voltage).[13]

Die Herstellung von AlN-Bauelementen kann zwar auf viele Module der GaN/AlGaN-Technologie zurückgreifen, unterscheidet sich jedoch in einigen kritischen Prozessschritten. Insbesondere bei den ohmschen Kontakten bedarf es einiger Anpassungen: trotz der extrem niedrigen Elektronenaffinität des AlN soll eine Metallisierung gefunden werden, die einen geringen Kontaktwiderstand zum 2DEG im AlN-HEMT aufweist. Dabei gerät man an die physikalischen Grenzen der Metalleigenschaften und muss neue Wege des Bandlücken-Engineerings gehen.

Vom AlN-Wafer zum leistungselektronischen System

Im Verbundprojekt *LeitBAN* sollen AlN-HEMTs entwickelt und in integrierten Systemen für zukünftige Anwendungen erprobt werden. Das Projekt ist Teil des Programms *ForMikro* des Bundesministeriums für Bildung und Forschung[14] und wird bis 2023 mit 3,3 Millionen Euro gefördert. *ForMikro-LeitBAN* soll die Brücke zwischen Grundlagenforschung und industrieller Forschung bei zukünftigen Leistungsbauelementen schlagen und ist eingebettet in das Rahmenprogramm *Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung* der Bundesregierung.[15] Schwerpunkte von *LeitBAN* sind die Materialentwicklung, Wafertechnologie, Epitaxie, Prozessierung, Charakterisierung und Modellierung von AlN-basierten Bauelementen. Die Vorteile der AlN-Technologie gegenüber konventioneller Si- oder GaN-Technologie sollen anhand von Demonstratoren gezeigt und mithilfe der assoziierten Industriepartner bewertet werden. Darüber hinaus ist der Transfer dieser Technologie in eine industrielle Umgebung vorgesehen. Dies ist im Rahmen eines Folgeprojekts geplant. Ein Industriebeirat unterstützt die Arbeiten im Konsortium: *Infineon* für die Leistungselektronik, *UMS* für die Millimeterwellen-Technik und *III/V-Reclaim* für die Wiederverwertung der AlN-Wafer.

Folgende Partner beteiligen sich an *LeitBAN* und decken gemeinsam die komplette Wertschöpfungskette vom AlN-Wafer bis hin zum Millimeterwellen- oder leistungselektronischen System ab:

- Ferdinand-Braun-Institut (FBH) (Projektkoordinator): AlN-Bauelementdesign und -entwicklung
- Fraunhofer IISB, Erlangen (IISB): AlN-Kristallzucht, Waferherstellung
- TU Bergakademie-Freiberg (IAP): Ohmsche Kontaktentwicklung und Charakterisierung
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU): Materialanalytik
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU): AlN-Millimeterwellen-Systeme
- Technische Universität Berlin (TUB); AlN-Leistungselektronische Systeme.

13 H. Okumura, S. Suihkonen, J. Lemettinen, A. Uedono, Y. Zhang, D. Piedra, and T. Palacios, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 04FR11 (2018).

14 https://www.elektronikforschung.de/projekte/formikro-leitban.

15 https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Rahmenprogramm_Mikroelektronik.pdf.

Recycling von Li-Ionen-Batterien – eine Herausforderung für die Aufbereitungstechnik

Urs A. Peuker

Das Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik (MVTAT) beschäftigt sich seit ca. zehn Jahren in verschiedenen Forschungsprojekten mit dem mechanischen Recycling von Li-Ionen-Batterien. Diese Fragestellung hat mit dem nun anstehenden Wachstum der Elektromobilität eine ganz neue Dynamik gewonnen.

Was sind aber die Herausforderungen beim Recycling dieser Energiespeicher? Zum einen müssen wir daran denken, dass die Energiedichte in den Li-Ionen-Batterien mit bis zu 180 Wh/kg so hoch ist, dass auch teilgeladene Zellen noch so große Energiemengen enthalten, dass diese ein Gefährdungspotenzial bei der Aufbereitung darstellen können. Zum anderen geben die aktuellen Richtlinien der EU eine Mindestrecyclingquote von 50 Prozent für diese Batterietypen vor. Die Novelle der einschlägigen Richtlinien ist aktuell in Arbeit und man erwartet zukünftig deutlich höhere Quoten, ggf. auch über 90 Prozent. Um dies einordnen zu können, müssen wir einen Blick auf die Zusammensetzung einer typischen Li-Ionen-Batteriezelle aus bspw. einem Elektroauto werfen *(Abbildung 1)*. Das sind: das Gehäuse aus Stahl oder Aluminium (14–24 Prozent), die Elektroden, d. h. Anode aus Kupfer (8–10 Prozent) mit Graphitbeschichtung (16–20 Prozent) und Kathode aus Aluminium (3–4 Prozent) mit entsprechend aktiver Beschichtung je nach Batterietyp (30–35 Prozent), die Separatorfolie aus Polymer (6–10 Prozent), die elektrochemisch notwendigen Li-Salze sowie der organische Elektrolyt (zus. 10–15 Prozent). Hier sehen wir die potenziellen Wert-, Rest- und Störstoffe.

Klassische Recyclingwege existieren insbesondere für die Metallfraktionen, d. h. Aluminium, Stahl und Kupfer, die aber nur ca. 35 Prozent der Gesamtmasse einer Zelle ausmachen. Die Herausforderung ist, damit auch Recyclingwege für die restlichen Bestandteile zu finden und hierfür die Batteriezellen entsprechend gut aufzutrennen, so dass möglichst sortenreine Fraktionen erzeugt werden können. Mit einer rein pyrometallurgischen Aufbereitung in einem Schmelzofen sind bereits heute kaum noch die erforderten 50 % Recyclingquoten zu erfüllen. Hohe Recyclingquoten erfordern eine enge Zusammenarbeit über die gesamte Prozesskette hinweg mit Akteuren aus den

Quelle: MVTAT

Abb. 1: Demontierte Komponenten einer ca. 1.700 g schweren prismatischen Einzelzelle aus einem Elektroauto

Bereichen der Chemie sowie der Hydro- und Pyrometallurgie, wie dies in Freiberg beispielsweise durch eine Kooperation mit dem Institut für Technische Chemie, Prof. Bertau, erfolgt.

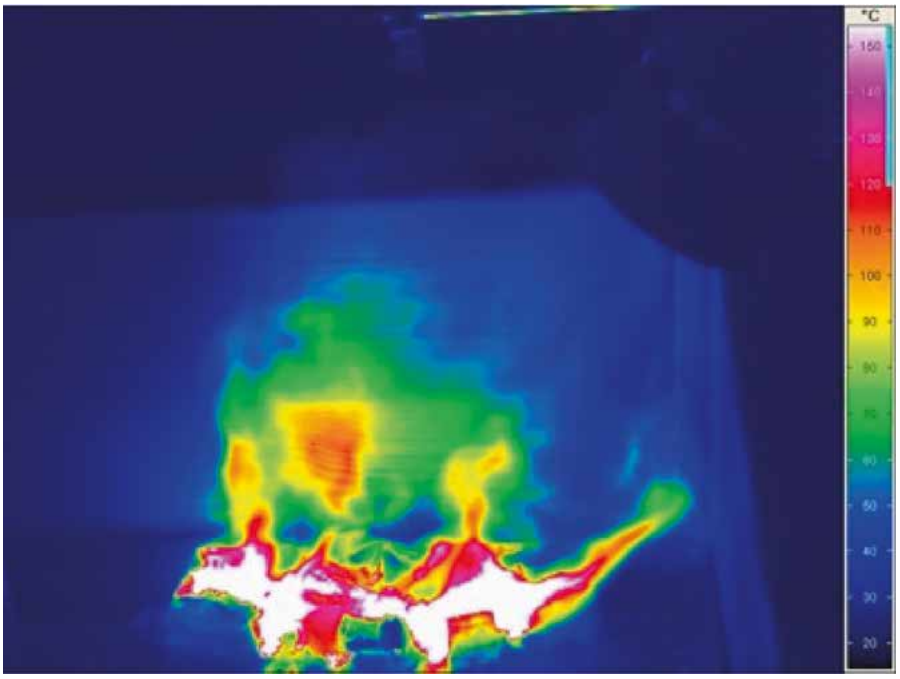
Der am Institut MVTAT entwickelte und kontinuierlich an viele Batterietypen adaptierte mechanische Recyclingprozess umfasst das Zerkleinern der Zellen über ein- oder mehrstufige Schredder und nachfolgende Sortier- und Klassierschritte. Die Problematik der Restladung umgehen wir, indem die Batterien vor der Verarbeitung vollständig elektrisch entladen werden. Ansonsten würde die gespeicherte elektrische Energie bei einer Zerkleinerung über Kurzschlüsse freigesetzt werden und zu einem Temperaturanstieg führen. Dieser könnte auch den organischen Elektrolyten entzünden und die Batterie zum Brennen bringen. Die Thermographieaufnahme eines solchen Ereignisses zeigt Temperaturen, dargestellt in den weißen Bereichen in *Abbildung 2*, die oberhalb von 150 °C liegen.

Während der mechanische Aufschluss der Batteriezellen prinzipiell gut funktioniert, besteht die Kunst bei diesem Prozessschritt darin, auch gut weiterverarbeitbare Systeme zu erzeugen: Zum einen muss vermieden werden, dass die Elektrodenfolien zu stark zerkleinert – d. h. kleiner als ca. 1 mm – werden und damit im Größenbereich der Bruchstücke der Beschichtungen liegen, zum andern muss aber auch der Aufschluss des Primärmaterialverbundes erfolgen. Die dritte Spezifikation, die etwas in den Hintergrund tritt, betrifft die Entschichtung der Elektrodenfolien selbst, d. h. das Ablösen des Graphits oder Aktivmaterials von den Kupfer- bzw. Aluminiumfolien.

Nach der Aufschlusszerkleinerung können durch Siebung und Aufstromklassierung die Gehäuse, Teile der Beschichtungen sowie die Separatorfolien als Stoffströme gewonnen werden. Die Elektrodenfolien benötigen noch weitere mechanische Behandlungsschritte, um eine vollständige Entschichtung zu erreichen.

Ferner ist die stoffliche Trennung von Folienstücken im Größenbereich von ca. zwei bis zehn Millimetern eine Herausforderung, der wir durch eine mechanische Formänderung begegnen. In einem weiteren Zerkleinerungsprozess werden die Folienstücke verkugelt, d. h. durch mechanische Einwirkung verknüllt. Die so erhaltenen Aluminium- und Kupfer-Kügelchen lassen sich dann über eine Aufstromsortierung trennen. Aktuell ermöglicht die am Institut MVTAT entwickelte Prozessstrategie Produktreinheiten der Teilströme von größer 85–98 Prozent.

Zukünftige Herausforderungen unserer Forschung werden die Beherrschung der Lösemittel sowie der Elektrolytemissionen während der Zerkleinerung und der nachfolgenden Sortierschritte sein. Desweiteren spielt die Digitalisierung und Automatisierung der Prozesse eine große Rolle. D. h., eine Aufbereitungsanlage 4.0 sollte in der Lage sein verschiedene Batterietypen zu verarbeiten, die sich in Gehäusematerial und -festigkeit, Anteil, Art und Kontaktierung der Elektrodenbeschichtungen sowie allen Betriebseinflüssen bezüglich der Lebensdauer voneinander unterscheiden. Sie muss kontinuierlich aus ihren Prozessdaten lernen und damit die Betriebsparameter an die Materialeigenschaften des jeweiligen Schrittes anpassen können. Dazu sind neue Sensoren für die Prozessüberwachung erforderlich, die zukünftig in Kooperation mit weiteren Professuren der TU Bergakademie und dem Helmholtz-Institut Freiberg entwickelt werden.



Quelle: MVTAT

Abb. 2: Thermographische Aufnahme einer brennenden prismatischen Batteriezelle im Austrag einer Rotorschere

Start des Verbundvorhabens „ProBaSol – Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung“

Hartmut Stöcker[1], Barbara Abendroth[2], Theresa Lemser[2], Michael Höck[3], Dirk C. Meyer[1,2]

Förderkennzeichen ProBaSol: 03EI3014A

Die Stromspeicherung nach elektrochemischen Konzepten bildet ein wesentliches Element der Energiewende sowie zum Erlangen der nationalen und internationalen Klimaschutzziele. Mit dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojekt „ProBaSol – Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung“ (FKZ: 03EI3014A) zielen Freiberger Wissenschaftler des Instituts für Experimentelle Physik (IEP) unter fachlicher Erweiterung durch die Professur für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft, Logistik der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam mit Partnern auf entsprechende Lösungen, welche die Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Industrie in einem wesentlichen Punkt stärken sollen.

Im November vergangenen Jahres machte das BMWi den Weg frei für ein auf einschlägigen Vorarbeiten basierendes Verbundvorhaben zur Realisierung elektrochemischer Energiespeicher, für dessen Umsetzung drei Jahre vorgesehen sind. Unter Leitung des IEP gehören zum Konsortium die FROLYT Kondensatoren und Bauelemente GmbH (Freiberg), die ROVAK GmbH (Grumbach), das Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen (Freiberg), das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (Dresden) und die Professur für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft, Logistik der TU Bergakademie Freiberg.

Den Hintergrund bilden dabei der gesamte Systemzusammenhang der Elektrifizierung und damit Flexibilisierung insbesondere energieintensiver Technologien, die Elektromobilität und die Sicherung der Netzstabilität, um das zeitlich fluktuierende Angebot des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien sinnvoll zu steuern. Damit wird zugleich die Forschungsprogrammatik des Zentrums für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) an einer zentralen Stelle adressiert.

Eine wesentliche Technologie zur Herstellung von Batterie-Elektroden stellt das Sputtern mit anschließender Blitzlampenbehandlung (engl. *Flash Lamp Annealing, FLA*) dar. Darunter versteht man das Verfahren zur Modifizierung von Materialoberflächen und angrenzenden Bereichen hinsichtlich eines optimalen Ionenaustauschs für Lade- und Entladevorgänge, ohne jedoch dabei eine Veränderung der Eigenschaften im tiefen Volumen des Werkstücks zu bewirken. Dies erreicht das FLA durch Aufheizen der Werkstückoberfläche auf Temperaturen nahe dem Schmelzpunkt bei Begrenzung der Wirkdauer auf wenige Millisekunden. Damit ist das gesamte thermische Budget des FLA-Prozesses deutlich verschieden von dem eines konventionellen Ofenausheizprozesses. Eine weitere Zielsetzung im Zusammenhang ist die Optimierung der Energiebilanz des gesamten Prozesses. Zum einen müssen die energieintensiven Teilschritte so effizient wie möglich gestaltet werden (u. a. Wärmerückgewinnung und Wandlung in ebenso erforderliche Prozesskälte), zum anderen soll die Anlage flexibel auf die fluktuierende Energieversorgung aus regenerativer Stromerzeugung reagieren. Am ZeHS wird dieses Verfahren zukünftig an einer modularen Rolle-zu-Rolle-Anlage als Kernbestandteil der Forschungsprogrammatik des Vorhabens fortentwickelt. Der Träger der funktionellen Schichten stellt im vorliegenden Fall eine metallische Folie dar, die in der Maschine am Anfang von einer Rolle eingespeist und nach Produktionsabschluss nach mehreren Prozessschritten für das spätere Konfektionieren in Batterien wieder auf einer solchen aufgewickelt vorliegt.

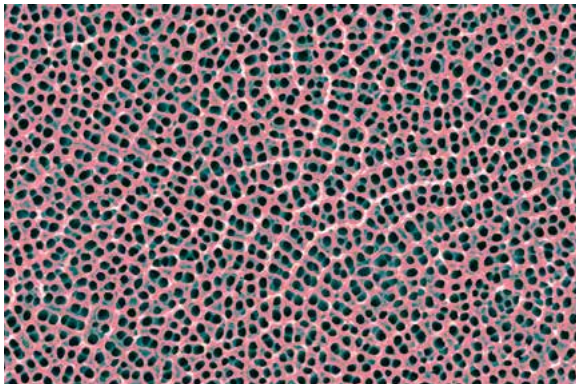


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopie-Aufnahme von TiO_2-Anatas-Nanoröhren einer Batterieelektrode in Draufsicht, untere Kantenlänge ca. 2,5 µm

Die Vorarbeiten wurden insbesondere im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekte CryPhysConcept[4] und R2R-Battery[5] geleistet, welche nunmehr im Sinne eines Transfers in industrielle Anwendungen ihre Fortsetzung finden. Verfolgt wird jetzt das Ziel der Implementierung neuartiger Technologien zur Fertigung elektrochemischer Energiespeicher als Alternative zu Lithium-basierten Batteriesystemen. Im Ergebnis von ProBaSol sollen Prototypen von Aluminium-Batterien, produziert auf industrieskaligen Anlagen und erprobt in Einsatzumgebung, vorliegen. Wesentliche Vorteile sind die erzielbaren Energiedichten, die hohe Sicherheit, die umfassende Verfügbarkeit der Materialien sowie die Recycelbarkeit der Systeme.

Schwerpunktmäßig wird auf eine Festkörperbatterie für mobile hochvalente Aluminium-Ionen sowie die dazugehörigen Fertigungstechnologien für Festkörperelektrolyte und Elektroden gesetzt. Neben dem Kurzzeittempern mit Blitzlampen wird das anodische Oxidieren in Rolle-zu-Rolle-Technologie umgesetzt. Als Materialien kommen insbesondere Kathoden aus TiO_2-Anatas-Nanoröhren und W-dotiertem VO_2, Metall-Einlagerungselektroden auf Si-Basis sowie Festelektrolyte auf Polymerbasis zum Einsatz. Die volumetrische Energiedichte kann potenziell doppelt bis viermal so hohe Werte im Vergleich zu kommerziellen Lithium-Ionen-Batterien erreichen. Zudem ist ein Kostensenkungspotenzial von bis zu 20 Prozent bezogen auf den Preis pro kWh gegeben.

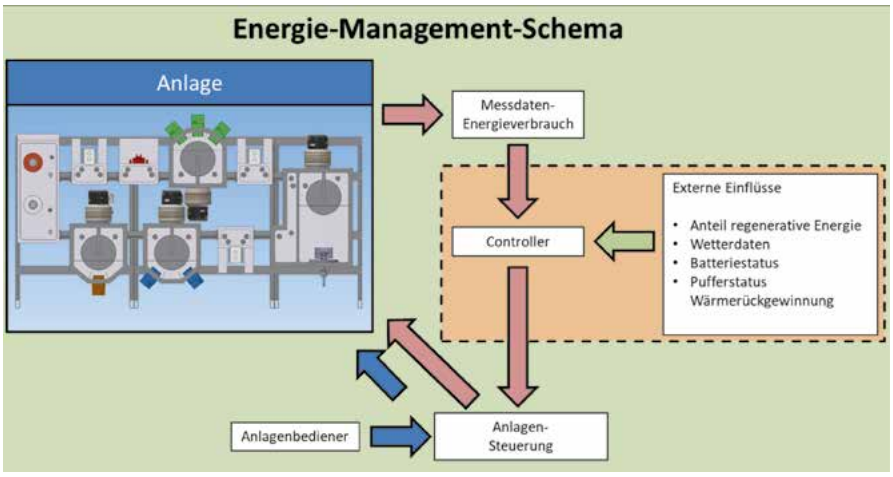
Die Materialentwicklungen werden

1 Institut für Experimentelle Physik, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg
2 Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg
3 Professur für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft, Logistik

4 FKZ: 03EK3029A
5 FKZ: 03SF0542A

durch die Arbeit der Freiberger Professur für Industriebetriebslehre, Produktionswirtschaft, Logistik unter Leitung von Prof. Dr. Michael Höck begleitet. Damit werden die für den Markteintritt erforderlichen Technologiefolgeneinschätzungen zu Chancen und Risiken, auch im Hinblick auf Umwelt und Nachhaltigkeit, gewährleistet. Für die teilweise stromintensiven Prozesse wird ein eigenständiges Energie-Monitoring und Managementsystem realisiert. Dies ist zugleich exemplarisch für den zeitlich flexiblen Einsatz von Strom aus den erneuerbaren Quellen, der zeitlich variabel und an der Strombörse im Tages- und Wochenverlauf angeboten wird: Eine zentrale Fragestellung der Forschungsprogrammatik des Zentrums (ZeHS), für das der Autor D. C. Meyer seit Anbeginn als Wissenschaftlicher Sprecher tätig ist. Einen Hinweis auf diesen Themenkreis gibt *Abbildung 2*.

Ein wichtiger Partner für die Überführung in die industrielle Produktion ist die ROVAK GmbH, die aktuell die Methode des Blitzlampentemperns für vielfältigste Anwendungen etabliert. Die im Sommer 2020 in Kesselsdorf gegründete NORCSi GmbH überführt die Entwicklungen auf dem Gebiet der Batterie-Materialien in ein eigenes Unternehmen. Dies unterstreicht die regionale Verankerung des Verbundvorhabens und legt das Fundament für die Kommerzialisierung der im Verbund entwickelten Aluminiumbatterie.



Quelle: Dr. Marcel Neubert, ROVAK GmbH

Abb. 2: Schema Energie-Management

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Effiziente Rohstoffaufbereitung mit Hochspannungsimpulsen

Holger Lieberwirth, Margarita Mezzetti

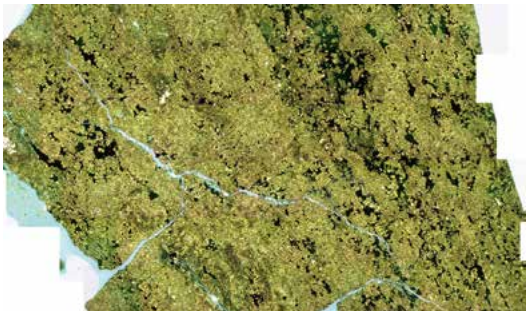
Die Zerkleinerungswirkung kurzer Hochspannungsimpulse wurde erstmalig vor ca. 60 Jahren von russischen Wissenschaftlern beschrieben [1]. Ein hochenergetischer zwischen zwei Elektroden erzeugter elektrischer Impuls wird in Präsenz eines Dielektrikums durch einen in diesem befindlichen Feststoff entladen. Der Elektroimpuls verbreitet sich durch das Material vorzugsweise entlang von Korngrenzen metallhaltiger mineralischer Phasen. Durch den sich bildenden Plasmakanal kann das Material in seine Bestandteile zerlegt werden. Von besonderem Interesse für die Rohstoffaufbereitung sind der mit dieser Technologie mögliche vollständige Wertstoffaufschluss bei großen Korngrößen, die damit verbundene Energieeinsparung und Vermeidung von Übermahlung und daraus resultierender Wertstoffverluste.

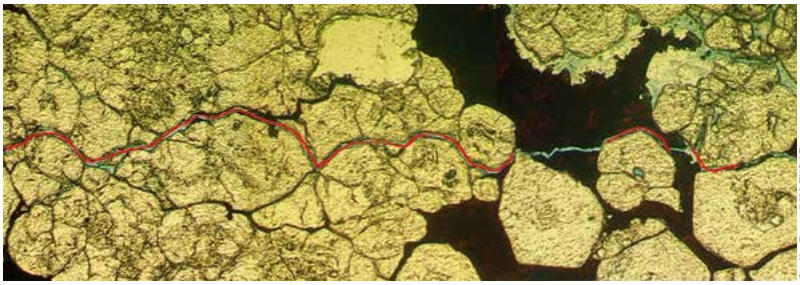
Die Technologie wurde als interessant für eine Vielzahl von Anwendungen erkannt und insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten sehr dynamisch weiterentwickelt. Dabei haben sich zwei Richtungen herauskristallisiert: zum einen kleine Laboranlagen für mineralogische und geologische Labors, z. B. von der Firma SelFrag [2], zum anderen Anlagen für praktische Anwendungen, z. B. zur Gesteinsbearbeitung und Tiefbohrtechnik an der TU Dresden [3–5]. Nachteilig bei den Laboranlagen sind die begrenzte Kapazität und ihre Arbeitsweise im Batchbetrieb. Bis heute fehlen geeignete Lösungen zur Realisierung großtechnischer Durchsätze in der Aufbereitung primärer und sekundärer Rohstoffe.

Der Leitgedanke für die Entwicklung einer eigenen Elektroimpuls-Anlage am Institut für Aufbereitungsmaschinen (IAM) der TU Bergakademie Freiberg war, diese Technologie für kontinuierliche Aufbereitungsprozesse von primären und sekundären Rohstoffen weiterzuentwickeln, um so unter anderem einheimische polymetallische Komplexerzlagerstätten mit hohen Festigkeiten, für die es bisher keine wirtschaftliche Aufbereitungstechnologie gibt, in Wert zu setzen. Gerade bei kritischen und wirtschaftsstrategisch relevanten Rohstoffen soll es dadurch gelingen, die Importabhängigkeit Deutschlands zu reduzieren [6]. Die Vorteile der Elektroimpuls-Technologie für diese Aufgabe sind offensichtlich: eine verschleißarme, staubfreie und energieeffiziente Technologie, die hohes Wertstoffausbringen bei geringer Umweltbelastung erlaubt.

Im Rahmen des r4-Forschungsprogramms „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ wurde das Verbundprojekt „ELIZE – Elektroimpulszerkleinerung in großtechnischen Zerkleinerungsmaschinen zur Aufbereitung komplexer Erze“ (BMBF FKZ: 033R161) gefördert. Das Hauptziel des Projekts war die Entwicklung einer kontinuierlichen Anlage für die Aufbereitung komplexer Erze mittels Elektroimpulsen. Durch die Behandlung mittels Elektroimpulsen wird im untersuchten Verfahren eine selektive Vorschädigung der Erze an den Korngrenzen angestrebt, so dass die nachfolgenden Aufbereitungsschritte zur Aufschlusszerkleinerung energiegünstiger und bei geringeren Wertstoffverlusten erfolgen können. Das Projekt wurde gemeinsam mit Partnern aus der Industrie (Haver Engineering GmbH, G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft, Werner Industrielle Elektronik) und Wissenschaft (TU Dresden) erfolgreich bearbeitet. Das IAM übernahm die Leitung des Projekts.

Die Vorgehensweise für die Entwicklung kann in drei Hauptphasen unterteilt werden. In der ersten Phase wurden die





Quelle: Popov/IAM-TUBAF

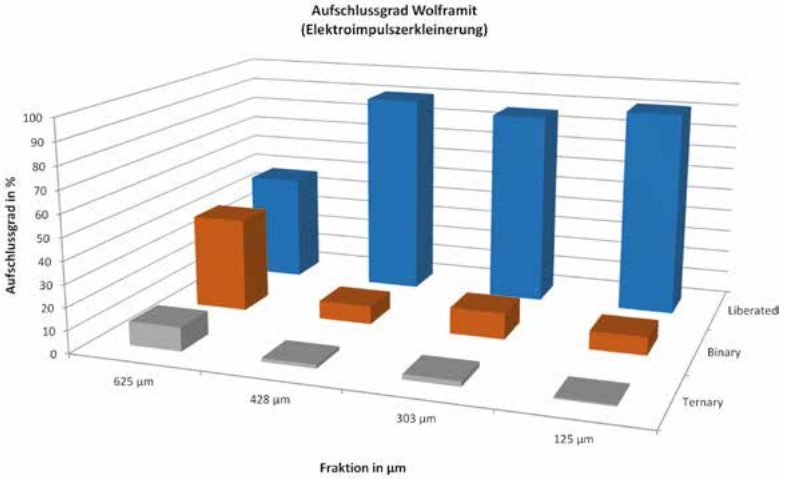


Abb. 1, oben: Rissausbreitung in Granatskarn nach Beanspruchung mittels Elektroimpuls; rechts: Wolframit-Aufschlussgrad in Greisen aus Sadisdorf, mit Elektroimpulsen beansprucht

Erze ausgewählt und charakterisiert, Vorversuche mit Einzelpartikeln durchgeführt und die wichtigsten elektrotechnischen Komponenten konzipiert. Unter den ausgewählten Erzen befanden sich Greisen aus Sadisdorf, Scheelitskarn aus Antonstahl und Granatskarn aus Pöhla-Tellerhäuser. Der Nachweis der Vorschädigung mittels Elektroimpulsen wurde erbracht. Ein Beispiel der Rissausbreitung in Granatskarn ist in *Abbildung 1 (links)* zu sehen, rechts ein weiteres vom Wolframit Aufschluss in Greisen (mit Elektroimpulsen beansprucht).

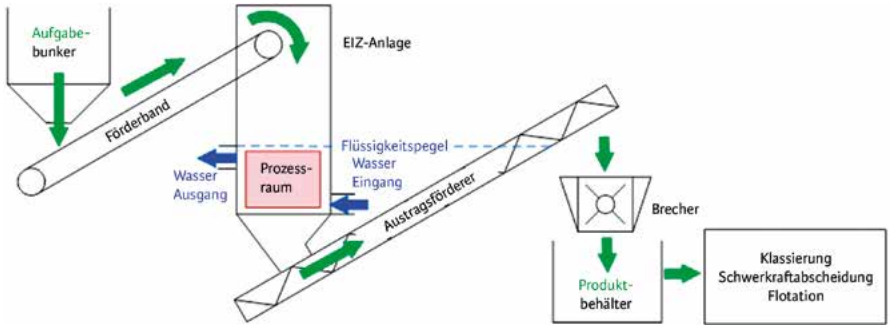
In der zweiten Phase wurde ein erster kontinuierlich arbeitender Versuchsstand zur Konzeptverifizierung entwickelt und aufgebaut. Dieser beruhte auf einem gemeinsamen Patent der TU Bergakademie Freiberg und der TU Dresden [7]. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden die weiteren für die ELIZE-Pilotanlage benötigten Komponenten konzipiert und das Gesamtsystem ausgelegt.

Die letzte Phase bildeten Aufbau und Inbetriebnahme der ELIZE-Pilotanlage. Diese kann einen Durchsatz von bis zu 500 kg/h Erz kontinuierlich bearbeiten. Das Prozessfließbild der Anlage ist in *Abbildung 2 (links)* dargestellt, die Pilotanlage ist rechts zu sehen.

Das Hauptziel des ELIZE-Projekts, die Errichtung einer kontinuierlich arbeitenden Pilotanlage für die Aufbereitung primärer und sekundärer Rohstoffe mittels Elektroimpulszerkleinerung konnte mit der Anlage erfolgreich umgesetzt werden. Die Pilotanlage ist funktionstüchtig und einsatzbereit. Aktuell laufen Gespräche mit interessierten Projektpartnern über weitere Untersuchungen zur Anwendung der kontinuierlichen Beanspruchung primärer und sekundärer Rohstoffe mittels Elektroimpulsen. Die Skalierung der Anlage für noch höhere Durchsatzleistungen beziehungsweise die Integration der Elektroimpulstechnologie in vorhandene oder geplante Aufbereitungsanlagen bilden die nächsten Schritte in Richtung effizienter und nachhaltiger Rohstofftechnologien. Durch die neue Technologie könnte die Evaluation des Potenzials von Komplexerz-Lagerstätten oder der Verwertung von Schlacken und Baureststoffen beeinflusst werden. Die Entwicklung der ELIZE-Anlage ist daher ein wichtiger Schritt in Richtung energieeffizienter und nachhaltiger Rohstoffaufbereitung.

Literatur

1 L. A. Yutkin, Электрогидравлический эффект: Electrohydraulic Effect, Mashgis, Moscow 1955.
2 Ammann, SelFrag-Lab Labor Fragmentierer: Selektive Fragmentierung von Materialien mittels Hochspannungs-Impulstechnik.
3 F. Lehmann, M. Reich, M. Mezzetti, E. Anders, M. Voigt, Oil & Gas European Magazin 2017 (4), 187–191.
4 Kunze, G., Anders, E., Beyer, T., Untersuchung zur Verfahrens- und Geräteentwicklung für eine ökologische Natursteinbearbeitung mit der Elektroimpulstechnik, Dresden 2007.
5 F. Lehmann, E. Anders, M. Voigt, M. Reich, G. Kunze, Oil & Gas European Magazin 2015 (01).
6 Neubewertung von Spat- und Erzvorkommen im Freistaat Sachsen: Steckbriefkatallog (Eds: Geokompetenzzentrum Freiberg e.V.), Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft & arbeit, Freiberg 2008.
7 H. Lieberwirth, O. Popòv, M. Hesse, T. Krampitz, G. Kunze, I. Gubsch, E. Anders, DE 10 2014 008 989 A1, 2014.



Quelle: Mezzetti/IAM-TUBAF

Abb. 2, links: Prozessfließbild der kontinuierlichen Elektroimpulszerkleinerungsanlage; rechts: ELIZE-Pilotanlage am IAM

EIT RawMaterials Projekt „RoStar“ – Entwicklung des Prototyps einer Feinstmühle

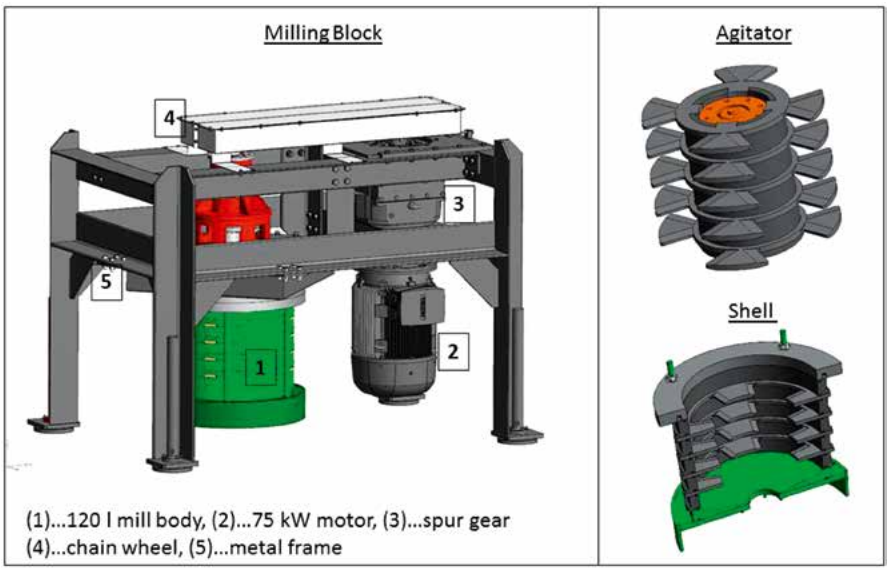
Alexander Hesse[1]

Die im Rahmen des EIT RawMaterials Projekts entwickelte Mühle ist ein Prototyp einer neuen Feinstmühle zur Freisetzung hochwertiger Partikel in Metallen der Platingruppe, die Erze, Kupfererze oder andere polymetallische Erze enthalten. „Diese Mühle verbraucht 20 bis 30 Prozent weniger Energie im Vergleich zu ähnlich etablierten Mühlen und erhöht die Erzfreisetzung mit mindestens 20 Prozent weniger gebundenem Erz bei gleicher Partikelgröße“, sagt Prof. Dr.-Ing. Urs Peuker von der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Projektleiter von RoStar.

Die TU Bergakademie Freiberg beteiligt sich als Hauptpartner am European Institute of Innovation and Technology (EIT) innerhalb des EIT RawMaterials. Dieses wirtschaftlich starke Partnernetzwerk, das mit dem Ziel angetreten ist, innerhalb der nächsten 15 Jahre die Materialkreisläufe für die kritischen Materialien zu schließen, bündelt ca. 80 Prozent der europäischen Ressourcen (ohne Energieressourcen). Der TU Bergakademie Freiberg als Partner des EIT RawMaterials ist es ein großes Anliegen, die erheblichen wirtschaftlichen Entwicklungspotenziale dieses Konsortiums für die regionale Wirtschaft zu erschließen und zu nutzen. Im September 2015 setzten deshalb die Aktivitäten zur Etablierung eines „EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg“ als zentrale Einheit an der TU Bergakademie Freiberg ein. Innerhalb der EIT RawMaterials Community ist das Regional Center Freiberg mittlerweile sehr gut vernetzt und bietet Kontakte zu zahlreichen potenziellen Geschäftspartnern sowie die Möglichkeit zum fachlichen Austausch, u. a. auf regelmäßig stattfindenden Veranstaltungen, bei denen KMU und Start-Ups ihre Projektideen vorstellen. Das Büro dient der regionalen Wertschöpfung und ermöglicht vor allem auch KMU aus der Region den Zugang zu neuen Märkten durch Unterstützung bei der Projektanbahnung/-abwicklung sowie der Akquise von Fördermitteln. Die Sichtbarkeit der TU Bergakademie Freiberg sowie deren Partner wird dabei im internationalen Kontext gesteigert.

Das von 1. April 2016 bis 31. Dezember 2018 durchgeführte RoStar-Projekt ist ein Erfolgsbeispiel für die vollständige Integration der Projektpartner in das EIT RawMaterials Wissensdreieck (Bildung, Forschung und Industrie). Der Projekterfolg basierte einerseits auf einer engen Zusammenarbeit der beteiligten Universitäten (TU Bergakademie Freiberg als Koordinator und Université de Liège, Belgien) mit dem spanischen Nationalen Forschungsrat (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)), andererseits – als Schwerpunkt – durch starke Branchenverpflichtungen lokaler KMU (Assarel Medet (Bulgarien), Maelgwyn Mineral Services Limited (Großbritannien), CEMTEC (Österreich), Sandvik AB und Sandvik SRP AB (Schweden) und UVR-FIA GmbH (Deutschland)), um Hintergrundinformationen, Pilotstandorte und Know-how bereitzustellen. Weitere wichtige Ergebnisse resultierten aus der Kopplung von Innovations- und Bildungsaktivitäten durch die Einbeziehung internationaler Studenten in das Projekt. So konnte ein Masterstudent im Rahmen des „EMerald“ Masterstudiengangs in Resources Engineering im Projekt eingesetzt werden. „EMerald“ ist ein Erasmus Mundus- und EIT-labeled Masterstudiengang, der entwickelt wurde, um ein Gleichgewicht in der Ausbildung zwischen Ressourcenwissen und Verfahrenstechnik herzustellen. Das Industriepraktikum wurde bei Assarel Medet absolviert, die Masterarbeit beinhaltete die RoStar-Pilotversuche. Durch die Schulung dieses Technologieexperten konnten neue Ergebnisse erzielt und ein effizienterer Technologietransfer zu anderen Bergbaustandorten durchgeführt werden.

Ein bedeutendes Ergebnis des RoStar-Projekts war die Entwicklung eines Prototyps einer Feinstmühle. Die Mühle ist als vertikale Feinmahlmühle konstruiert, bei der die Schwerkraft einen höheren Füllstand als bei horizontalen Mühlen und einen hydraulischen Druck auf die Mahlkügelchen ermöglicht und einen kleineren Geschwindigkeitsgradienten zwischen Innen- und Außendurchmesser des Rotors aufweist. Der Prototyp verlängert nachweislich die Betriebsdauer zwischen den Wartungen um 50 Prozent. Die Wartung selbst kann darüber hinaus aufgrund einer optimierten Rotor-Stator-Geometrie und einer verbesserten Verschleißfestigkeit durch einen modularen Aufbau des Mühlengehäuses 50 Prozent schneller als bei ähnlich etablierten Mühlen durchgeführt werden. „Die RoStar-Mühle bietet eine Antwort auf die bestehenden Herausforderungen, die bereits bei Feinfrästrends auftreten. In Nachschleif-Flotationskreisläufen, Verarbeitung von Rückständen sowie in der Ermöglichung des Zugangs zu zukünftigen Ablagerungen, die wertvolle oder kritische Materialien enthalten, werden konkrete Anwendungsmöglichkeiten



Ab. 1: 3D-Modell RoStar

1 TU Bergakademie Freiberg
EIT RawMaterials – Regional Center Freiberg
Tel. +49 (03731) 39-4843
alexander.hesse@eit.tu-freiberg.de
http://tu-freiberg.de/eitrawmaterials

eröffnet“, erläutert Prof. Urs Peuker. Das neue verbesserte Design des Rotor-Stator-Systems *(Abbildung 1)* wurde im Jahr 2018 auf den Markt gebracht. Zu den ersten Kunden zählten die KMU als Partner im EIT-Projekt Assarel Medet (Bulgarien) und Maelgwyn Minerals (Großbritannien), das einen Vertrag mit einer türkischen Ag/Au-Mine (15 kW Größe) hält. Weitere Verkäufe (160 kW) sind in naher Zukunft für kleine Goldminen in Südafrika möglich.

Als Ergebnis des RoStar-Innovationsprojekts entstand ferner eine containerbasierte Pilotanlage, welche einen Feinmahlprozess mit sehr geringem Energieverbrauch ermöglicht. Mit dieser für flexible und mobile Einsätze entwickelten und gebauten Einheit konnte der Nachweis der Mühlenleistung in einer realen industriellen Umgebung gebracht werden. Der Technologiereifegrad *(Technology Readiness Level – TRL)* der Mühle wurde im Verlauf der Projektbearbeitung von TRL 5 auf TRL 7 erhöht. Die Tests fanden am Standort des Werks Assarel Medet in Bulgarien statt. Das Prozessflussdiagramm der Anlage ist in *Abbildung 2* dargestellt.

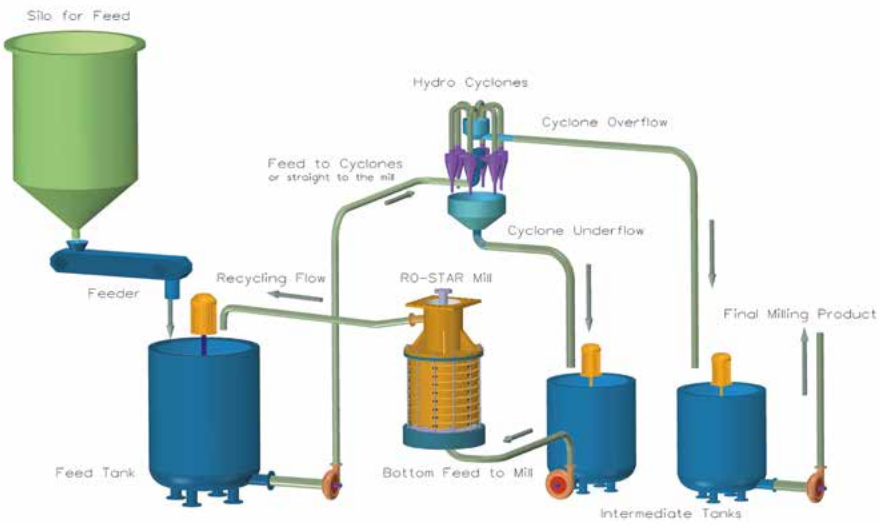


Abb. 2: Prozessflussdiagramm RoStar

Bergbauexploration einmal anders: ein europäisches Projekt, um neue Werte in den Sektor zu bringen

Moritz Kirsch[1,2], Richard Gloaguen[1] und Leila Ajjabou[1]

Der Hintergrund

Jedes technische Gerät, das in unserer Gesellschaft eingesetzt wird, benötigt Materialien, die entweder aus unserer natürlichen Umwelt („Primärrohstoffe“) oder aus der Wiederverwendung von Materialien in bestehenden Produkten (Recycling, „Sekundärrohstoffe“) gewonnen werden. Darüber hinaus nimmt die von der Industrie benötigte Materialmenge in dem Maße zu, wie der menschliche Reichtum und die Bevölkerung wachsen. Selbst in einer Kreislaufwirtschaft müssen die Bodenschätze die Sekundärrohstoffe ergänzen und eine grundlegende Basis für unseren materiellen Wohlstand bilden. Natürlich stellen die Gewinnung von Primärrohstoffen, die Notwendigkeit eines effizienteren Recyclings und die Entsorgung von Abfällen, die nicht effizient genutzt oder recycelt werden können, unsere Gesellschaft vor große und komplexe Herausforderungen. Zum Beispiel sind Rohstoffe für die Herstellung von Batterien, die eine Schlüsseltechnologie für den Energiewandel darstellen, unerlässlich. Während in den kommenden Jahren mit einem exponentiellen Anstieg der Nachfrage nach Batterien gerechnet wird, war die Entwicklung einer wettbewerbsfähigen und lebensfähigen Batterieherstellungsindustrie noch nie so wichtig wie heute, und in ihrem Kern die Versorgung mit sogenannten „kritischen“ Metallen. Auf der anderen Seite steht die starke Nachfrage nach Rohstoffen in unserer postindustriellen Gesellschaft im Gegensatz zu den zunehmenden Schwierigkeiten bei der Suche und Erschließung neuer Mineralvorkommen.

Europa und der Bergbau

In Europa sind die zugänglichen und erzreichsten Lagerstätten größtenteils erschöpft oder werden derzeit ausgebeutet. Daher muss sich die künftige Erkundung auf die verbleibenden Lagerstätten konzentrieren, die sich in entlegeneren Gebieten oder in größeren Tiefen der Erdkruste befinden. Trotz der damit verbundenen Kosten haben in der Vergangenheit Innovationen zu bedeutenden Rohstofffunden geführt, entweder mittels eines besseren Verständnisses der geologischen Explorationsziele oder mittels technischer Entwicklungen, die den Zugang zu neuen Regionen und Tiefen ermöglicht haben. Ausgehend von den Erfahrungen der Vergangenheit würde die Aufrechterhaltung innovativer Explorationsaktivitäten daher theoretisch sowohl die Entwicklung von Schlüsseltechnologien als auch die nachhaltige und ethische Produktion technologischer Metalle ermöglichen, die für den Erfolg einer 4.0-Industrie und die effiziente Nutzung erneuerbarer Energien notwendig sind. Während die Notwendigkeit der Rohstoffgewinnung in Europa ethisch, strategisch und wirtschaftlich relevant ist, sind Explorationsaktivitäten in Europa jedoch praktisch nicht existent und weitgehend auf unbewohnte Gebiete beschränkt. Keiner der Hauptakteure im Bergbausektor hat ein starkes Interesse an der Entwicklung seiner Aktivitäten in Europa gezeigt. Andererseits ist Europa im Bereich der Forschung und Entwicklung von Explorationstechnologien führend. Diese paradoxe Situation niedriger Explorationsaktivität trotz hoher Rohstoffnachfrage, verfügbarer Ressourcen und verfügbarer Technologien ist eine europäische Besonderheit und ist hauptsächlich auf gesellschaftliche und politische Widerstände zurückzuführen. Traditionelle

1 Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF); Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR) Chemnitzer Str. 40 | 09599 Freiberg http://www.hzdr.de/hif
2 Dr. Moritz Kirsch, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilung Erkundung, m.kirsch@hzdr.de, Tel. +49 (0) 351 260-4439

Abb. 1: Datenerfassung der Hubschrauber-Elektromagnetik als Referenztechnik

Explorationsaktivitäten gelten als zerstörerisch und nicht nachhaltig.

Europäische Initiativen

Um diesen ungünstigen Status quo aufzulösen, stellt sich das europäische Forschungsprojekt INFACT *(Innovative, Non-invasive and Fully Acceptable Exploration Technologies)*, das aus dem Horizon 2020-Fonds der Europäischen Kommission finanziert wird, der Herausforderung innovative Explorationstechnologien zu entwickeln und zu testen, die auch für die Gesellschaft akzeptabel sein könnten. Das Konsortium setzt sich aus sozial- und geowissenschaftlichen Forschern, Universitäten, Dienstleistungs- und Bergbauunternehmen zusammen, die gemeinsam an der Verwirklichung einer an den europäischen Kontext angepassten Vision der Bergbauexploration arbeiten.

Europa ist ein dicht besiedelter Kontinent, die meisten Gebiete sind bereits durch andere Aktivitäten in Anspruch genommen (Landwirtschaft, städtische Gebiete, Infrastruktur, Natura 2000-Gebiete ...), aber die derzeit bekannten Mineralvorkommen bestätigen ein unausgeschöpftes Bergbaupotenzial. Warum weiterhin Metalle importieren, die unter katastrophalen Bedingungen in Afrika oder Asien gewonnen werden? INFACT hat drei Standorte als Referenzgebiete identifiziert, um einen neuen Explorationsansatz zu testen:

- die in Betrieb befindlichen Kupferminen von Rio Tinto und Cobre las Cruces in Andalusien,
- die ehemaligen Zinn- und Wolframbergwerke von Geyer/Ehrenfriedersdorf in Sachsen und
- die Nickelexplorationsstätte Sakatti in Lappland.

An diesen Standorten wird die gesellschaftliche Akzeptanz nicht-invasiver Explorationstechniken durch die Integration von Verfahren getestet, die darauf abzielen, die Zuverlässigkeit, Leistung, Akzeptanz und Qualität („best practices") von Explorationsaktivitäten zu erhöhen, vor allem im Hinblick auf die spezifischen Bedürfnisse der europäischen Bevölkerung. Bei den genannten Referenzgebieten handelt es sich um langfristige Anlagen in einer Vielzahl von Regionen und Umgebungen (im Süden, im Zentrum und im Norden der EU), die eine Reihe „echter" sozialer, physischer und technischer Herausforderungen darstellen, bei denen die Wirksamkeit nicht-invasiver und umweltfreundlicher Technologien verglichen und bewertet werden kann.

Innovative Technologien, die als gesellschaftlich akzeptabler angesehen werden (z. B. Magnetometer und Hyperspektralkameras, die auf Drohnen montiert sind), wurden in den Referenzgebieten getestet und ihre Leistung im Sinne technischer Parameter wie Auflösung, Präzision und Genauigkeit sowie ihre Zwecktauglichkeit für die Erkundung von Rohstoffen mit traditionellen Referenztechniken verglichen.

Gleichzeitig muss der Bedarf an Rohstoffen und damit die Notwendigkeit der Exploration bereits in einer sehr frühen Phase der Erkundungsarbeiten, d. h. während der ersten Geländearbeiten, kommuniziert werden. Selbst wenn nur eines von tausend Explorationsprojekten eines Tages zu einem Bergwerk wird, und selbst wenn die Rohstofferkundung nicht diejenige ist, die die größten Auswirkungen auf die Gebiete hat, wird ihre Bedeutung im Akzeptanzprozess zu oft unterschätzt. Die Nachhaltigkeit eines Bergbauprojekts hängt von einer akzeptablen und akzeptierten Exploration ab. Technologische Innovationen im Bereich der Erkundung von Lagerstätten sind daher direkt mit gesellschaftlicher Akzeptanz verbunden.

Akzeptanz

Die Forschung von INFACT hat ermöglicht, die Mechanismen der Akzeptanz zu charakterisieren. Die Kommunikation muss auf einer ehrlichen und klaren

Botschaft über die Auswirkungen der Erkundungsaktivitäten auf die Bevölkerung und ihre Umwelt basieren. Das Erkundungsprojekt muss eine positive Bilanz aufweisen. Auch wenn sich die Mehrheit der Bürger des Bedarfs an kritischen Metallen bewusst ist, sollte die Lokalbevölkerung nicht die einzige sein, die unter diesen nationalen und internationalen Zwängen leidet. Es muss also einen Ausgleichsmechanismus geben.

Ein nachhaltiges Projekt basiert auf Selbstbestimmung. Alle Beteiligten müssen in der Lage sein, die Kontrolle über die Entscheidungen zu haben, die ihre Zukunft beeinflussen, auch wenn es sich nur um eine kleine Gruppe handelt. Dies gilt für die Anwohner, die ein Explorationsprojekt um so mehr akzeptieren werden, wenn ihre Meinung berücksichtigt wird (beispielsweise über den Zeitraum, in dem Geländearbeiten oder Befliegungen durchgeführt werden). Schließlich ist ein Explorationsprojekt nur dann wirklich nachhaltig, wenn emotionale Eigenverantwortung erworben wurde: Die Lokalbevölkerung muss vom Nutzen des Projekts überzeugt sein und es daher verteidigen können.

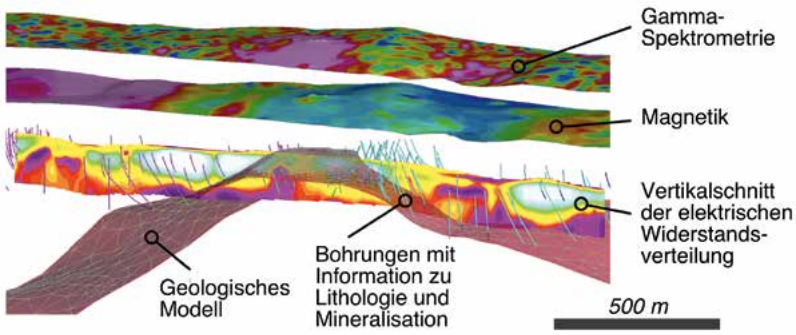


Abb. 2: Beispiel von verfügbaren geologischen und geophysikalischen Datensätzen eines Referenzgebiets; Daten, die als Referenz dienen, um die Wirksamkeit nicht-invasiver Technologien zu messen

Regenerative Energiegewinnung aus Grubenwasser

Lukas Oppelt[1], Sebastian Pose[1], Thomas Grab[1], Tobias Fieback[1]

Das Erzgebirge und insbesondere auch Freiberg wurden jahrhundertelang durch den Bergbau geprägt. Inzwischen sind die meisten Gruben stillgelegt und geflutet, doch sie haben weiterhin Potenzial: Energie. Da sie ganzjährig ein nahezu konstantes Temperaturniveau aufweisen, sind sie optimal zur regenerativen Wärme- und Kälteversorgung geeignet.

Das grundlegende Prinzip der energetischen Nutzung von Grubenwasser ist dabei stets ähnlich, das Wasser wird entnommen und über einen Wärmeübertrager mit angeschlossener Wärmepumpe zum Heizen verwendet oder ohne Wärmepumpe als Wärmesenke zum Kühlen eingesetzt *(Abbildung 1)*. Die Bergwerke unterscheiden sich jedoch in ihrem generellen Aufbau abhängig vom abgebauten Rohstoff bzw. der Lagerstätte. Als mögliche Entnahmestellen werden dabei unter anderem Wasserlösestollen, wassergefüllte Abbaue oder aufsteigende Tiefenwässer, die oft höhere Temperaturen haben, genutzt.

In den meisten Fällen wird das Grubenwasser zunächst zu einem Wärmeübertrager gepumpt und Wärme an einen Zwischenkreislauf abgegeben. Dadurch werden Ablagerungen und Beschädigungen durch Korrosion, aufgrund von Bestandteilen im Grubenwasser, im übrigen System der Anlage (z. B. Wärmepumpe) verhindert. Nach dem Passieren des Wärmeübertragers wird das Grubenwasser z. B. zurück in Wasserlösestollen oder in Oberflächengewässer abgegeben.

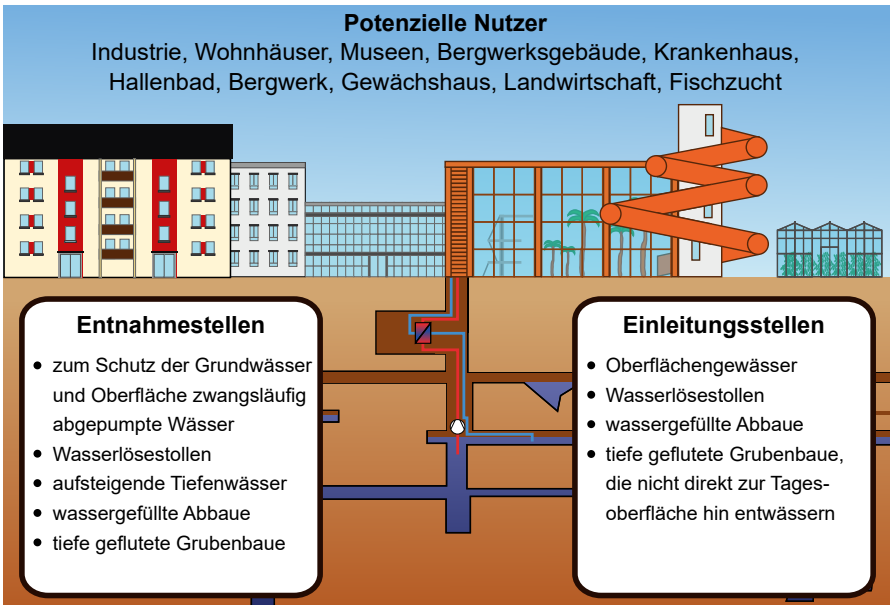


Abb. 1: Schematische Darstellung der Nutzung von Grubenwässern

Ein Temperaturniveau, welches ohne Wärmepumpe direkt zum Heizen geeignet ist, ist nur an wenigen Standorten vorhanden. Durch die Kombination der Grubenwassergeothermie mit Wärme- und Kältespeichern bieten sich weitere Möglichkeiten der Effizienzsteigerung. Anwendung findet Grubenwassergeothermie, je nach Temperaturniveau, beispielsweise zur Beheizung von Wohnhäusern, Krankenhäusern (z. B. Kreiskrankenhaus Freiberg), Gewächshäusern oder auch Hallenbädern. Im Freiberger Revier befinden sich drei Anlagen, die der Beheizung und teilweise der Kühlung des Schlosses Freudenstein, des Kreiskrankenhauses und der Gebäude der Reichen Zeche dienen.

Im Projekt VODAMIN II[2], gefördert durch die Europäische Union im Rahmen des Kooperationsprogramms des Freistaates Sachsen und der Tschechischen Republik, wird der Betrieb von insgesamt

1 Dipl.-Wi.-Ing. Lukas Oppelt, M.Sc. Sebastian Pose, Dr.-Ing. Thomas Grab, Prof. Dr.-Ing. Tobias Fieback
Kontakt: Professur für Technische Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg
Gustav-Zeuner-Straße 7, 09599 Freiberg

2 SAB-Antragsnummer: 100304269, Laufzeit: 2016–2020

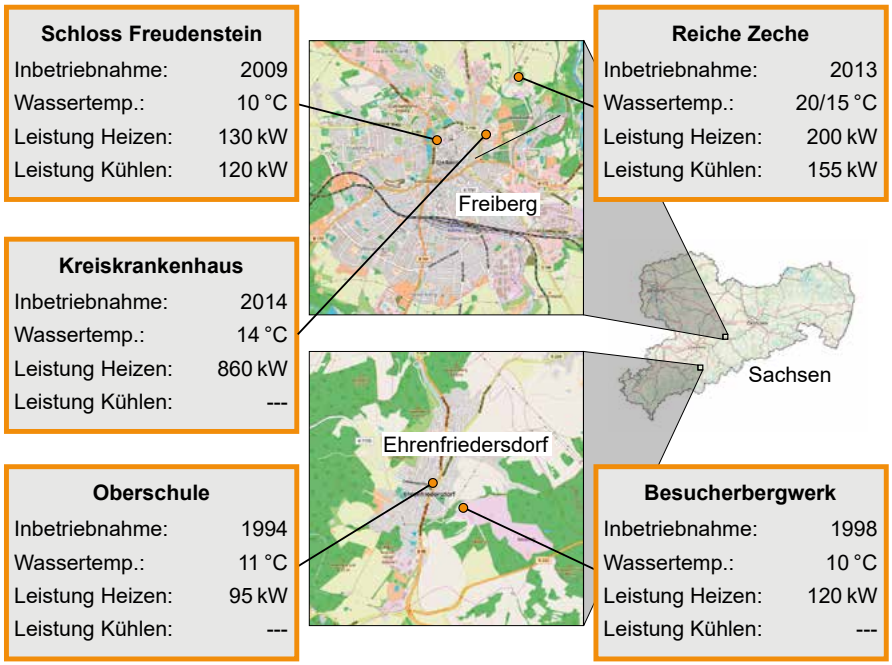


Abb. 2: Standorte und Kennwerte der Grubenwassergeothermieanlagen im Monitoring

fünf bestehenden Grubenwassergeothermieanlagen im Erzgebirge durch ein Monitoring begleitet. Neben den drei Freiberger Anlagen gehören zwei Anlagen in Ehrenfriedersdorf dazu. Die Standorte und Kennwerte der fünf Anlagen sind in *Abbildung 2* dargestellt.

Monitoringergebnisse einzelner Anlagen

Bei der seit 1994 betriebenen Anlage der Oberschule Ehrenfriedersdorf werden sowohl die Schule, als auch ein angrenzender Kindergarten anteilig mit Grubenwassergeothermie versorgt. Zur Erschließung des Reservoirs wurden ein Förder- und ein Schluckbrunnen abgeteuft. Da der Wasserspiegel oberhalb der Entnahmestelle liegt ist keine aktive Wasserhebung notwendig. Um eine Regeneration des Wasserreservoirs zu ermöglichen, wird das Wasser auf der 5. Sohle entnommen und auf der 2. Sohle wieder zugeführt *(Abbildung 3)*.

Das Grubenwasser hat an der Entnahmestelle eine Temperatur von etwa 10 °C. Das zum Heizen der Schule und des Kindergartens notwendige Temperaturniveau wird durch den Betrieb von drei Gaswärmepumpen erzielt. Wie in *Abbildung 3* erkennbar, erreicht die Anlage im Winter Arbeitszahlen von etwa 1,3 (vergleichbar mit der Arbeitszahl einer elektrischen Wärmepumpe von ≈ 3,2–4). Das bedeutet, dass im Vergleich zu einer Bereitstellung der Heizwärme ausschließlich durch Gas die CO_2-Emissionen und die Arbeitskosten um etwa 23 Prozent reduziert werden können. Der bei Gaswärmepumpen geringe Strombedarf für den Anlagenbetrieb ist in der betrachteten Arbeitszahl bereits berücksichtigt.

In den kühleren Monaten von November bis März wurden die höchsten Wärmemengen nachgefragt und auch die besten Arbeitszahlen berechnet. Da die Anlage nur zum Heizen ausgelegt ist, ist ein Betrieb in den Sommermonaten ineffektiv, da nur vereinzelt ein Wärmbedarf vorliegt, dessen Deckung mit entsprechend hohem Aufwand verbunden ist. Der Wärmebedarf, der nicht durch die Grubenwassergeothermie gedeckt werden kann, wird durch den Betrieb eines Gaskessels bereitgestellt. Wie ersichtlich ist, kann die Grubenwassergeothermieanlage zu etwa einem Drittel den Wärmebedarf decken. Im Winter laufen die Wärmepumpen dabei bereits zu 99 Prozent der Zeit. Mit der vorhandenen Anlage ist also keine weitere Erhöhung des Anteils an erneuerbarer Energie möglich.

Mit einem pH-Wert im Bereich von 7 und einer elektrischen Leitfähigkeit von rund 300 µS/cm erfüllt das Grubenwasser theoretisch auch die Anforderungen

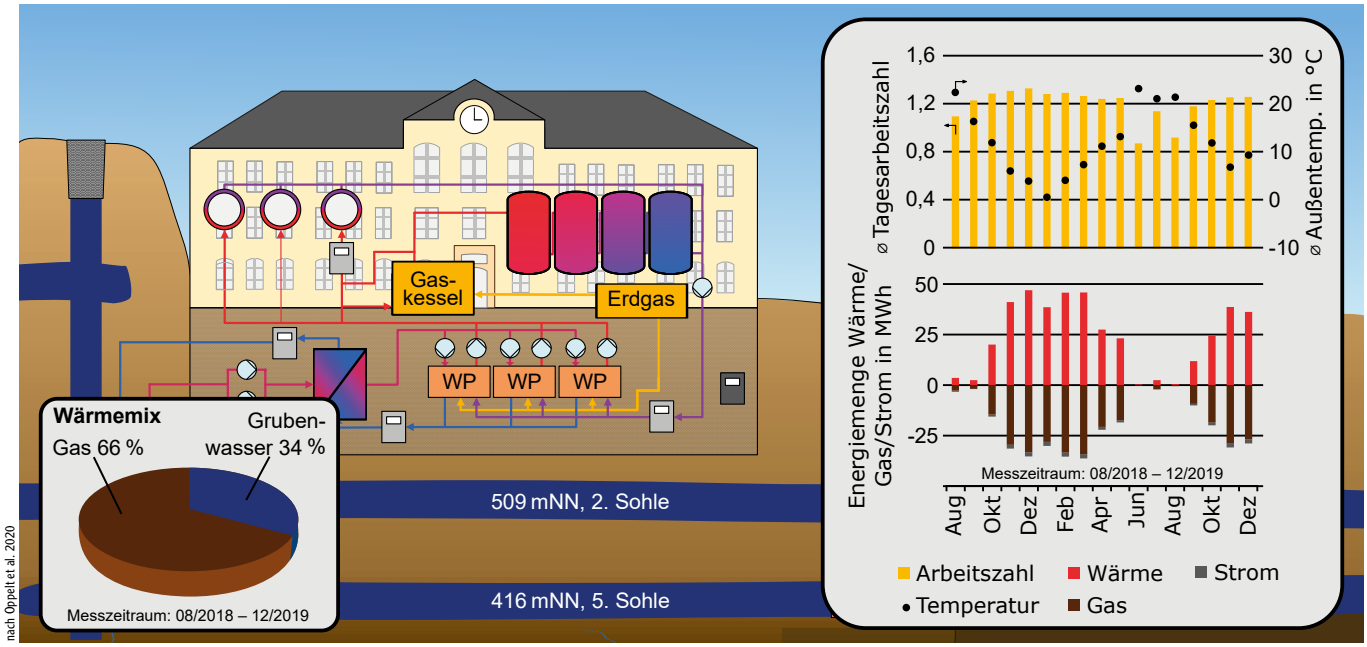


Abb. 3: Schematischer Aufbau und Messergebnisse der Grubenwassergeothermieanlage der Oberschule Ehrenfriedersdorf

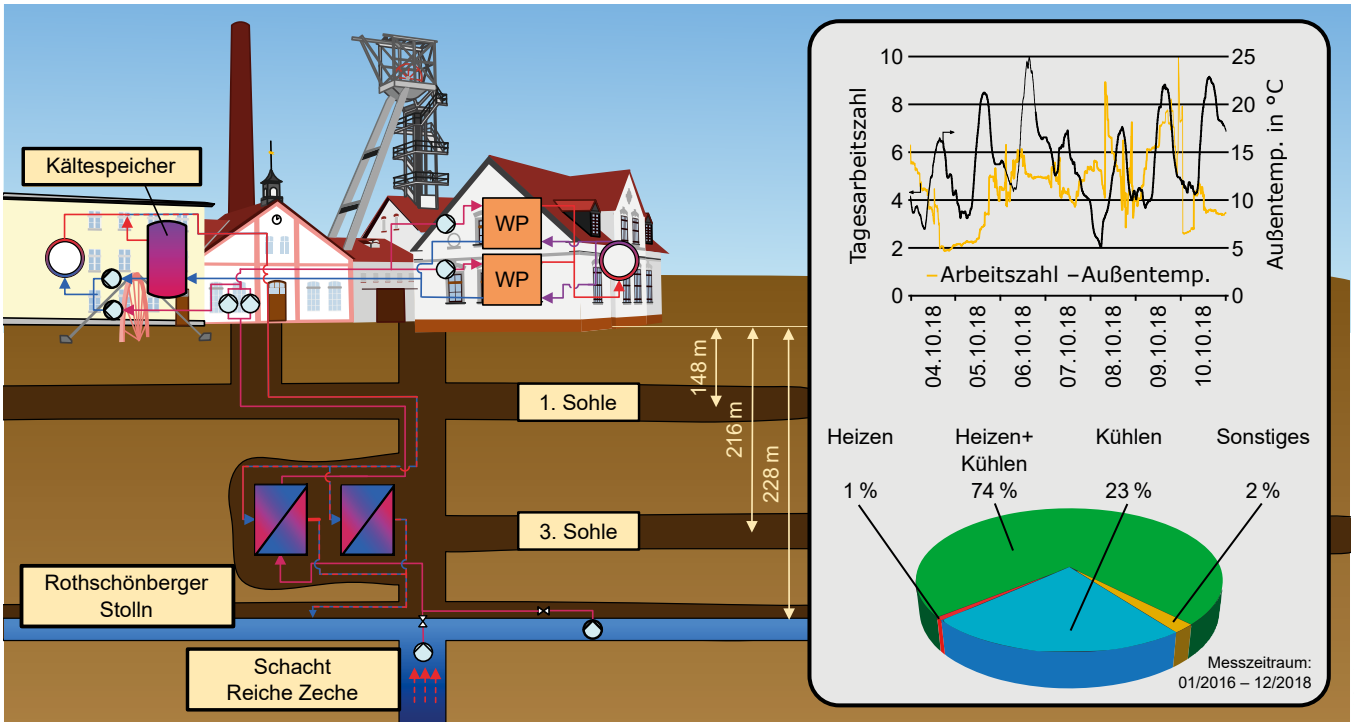


Abb. 4: Anlagenschema und Messergebnisse der Grubenwassergeothermieanlage Reiche Zeche in Freiberg

an Trinkwasser. Dennoch kommt es zu Verschmutzungen im Wärmeübertrager, worauf später näher eingegangen wird.

Die komplexeste, im Rahmen des Monitorings, untersuchte Anlage befindet sich in der Reichen Zeche in Freiberg. Sie dient zur Wärme- und Kälteversorgung eines Universitätsgebäudes inklusive Server- und Laborräumen. Dabei besteht die Möglichkeit, an zwei unterschiedlichen Stellen Grubenwasser zu entnehmen *(Abbildung 4)*: zum einen aus dem Rothschönberger Stolln (≈15 °C), zum anderen aus aufsteigenden Tiefenwässern im Schacht Reiche Zeche (≈18 °C).

Darüber hinaus ist es möglich, nur das Fluid im Zwischenkreislauf zirkulieren zu lassen (bis zu den Wärmeübertragern in 216 m Tiefe). Bei vergleichsweise geringem Bedarf ist damit die Wärmabgabe bzw. Wärmeaufnahme des umliegenden Gesteins zum Heizen bzw. Kühlen ausreichend.

Die Stelle, an der Wasser entnommen wird, richtet sich nach dem aktuellen Bedarf: Bei überwiegendem Kältebedarf wird das kühlere Wasser aus dem Rothschönberger Stolln genutzt, bei überwiegendem Heizbedarf das wärmere Wasser aus dem Schacht Reiche Zeche. Das im Heizkreislauf abgekühlte Fluid wird anschließend noch für zukünftige Kühlanwendungen im Kältespeicher gespeichert. In *Abbildung 4* ist der Verlauf von Außentemperatur und Tagesarbeitszahl für eine Woche im Herbst 2018 dargestellt. Da in der herbstlichen Jahreszeit sowohl Heizbedarf vorliegt, als auch die Serverräume gekühlt werden müssen, ergeben sich Arbeitszahlen des Gesamtsystems (inklusive Aufwand für Grubenwasserpumpen und Zwischenpumpen) von über 5. Insgesamt arbeitet die Anlage in Zeiträumen, in denen sowohl geheizt als auch gekühlt wird, mit der höchsten Effektivität. Durch die Kühlung wird im Vergleich zum ausschließlichen Heizen nur etwas mehr Strom für die Pumpen benötigt, bei gleichzeitig höherem Nutzen. Die Nutzung des Rücklaufs durch den Kältespeicher sorgt für einen weiteren Benefit und ermöglicht temporär auch Arbeitszahlen des Gesamtsystems von über 7.

Die Betrachtung der nachgefragten Energiemengen zeigt, dass zu etwa Dreiviertel des betrachteten Zeitraums (01/2016–12/2018) geheizt und gekühlt wird. Zu 23 Prozent der Zeit wird nur gekühlt, eine reine Nutzung der Anlage zum Heizen liegt nur zu einem Prozent der Zeit vor. Durch die notwendige Kühlung der Serverräume über nahezu den ganzen Winter ist quasi durchgehend ein Grundbedarf an Kälte vorhanden.

Der pH-Wert am Schacht Reiche Zeche liegt bei etwa 6 und die elektrische Leitfähigkeit bei rund 1500 µS/cm. Das aus dem Rothschönberger Stolln entnommene Grubenwasser hat einen pH-Wert von rund 7,4 und die elektrische Leitfähigkeit liegt bei knapp 900 µS/cm.

Verminderte Anlageneffizienz durch Fouling

Wie einleitend beschrieben, wird bei den meisten Anlagen zwischen Wärmepumpen- und Grubenwasserkreislauf ein Zwischenkreislauf mit Wärmeübertrager installiert. In den Untersuchungen im Rahmen der Projekte VODAMIN II und GeoMAP[3] wurden Ablagerungen im Wärmeübertrager als ein wesentliches Problem identifiziert, das zu einem Sinken der übertragenen Wärmemenge und Erhöhung des Druckverlusts im System führt.

Die zumeist bei der Grubenwassergeothermie verwendeten Plattenwärmeübertrager sind bei großer wärmeübertragender Fläche vergleichsweise kompakt. An den einzelnen Wärmeübertragerplatten, die vom Grubenwasser überströmt werden, kommt es jedoch zu Ausfällungen und Ablagerungen aufgrund von Verschmutzungen im Grubenwasser (Fouling). Es bilden sich zudem Eisen-Mangan-Verbindungen mit Biofilmen aus. Diese Biofilme können eine Dicke von bis zu 1000 µm erreichen.[4] Bereits bei einem Biofilm von 250 µm wird die übertragene Wärmemenge aber schon um 50 Prozent reduziert[5].

3 SAB-Antragsnummer: 100348899, gefördert durch die Europäische Union im Rahmen des Kooperationsprogramms des Freistaates Sachsen und der Tschechischen Republik, Laufzeit: 2019–2020

4 Nandakumar et. al 2003

5 Goodman 1987

Da sich die Wärmeübertrager demontieren lassen, ist eine mechanische und/oder chemische Reinigung möglich, wodurch die Wärmeübertragung wieder verbessert wird. Eine solche Wartung der Wärmeübertrager in einem Bergwerk ist jedoch mit hohem Aufwand verbunden. So befinden sich am Standort Reiche Zeche in Freiberg diese Wärmeübertrager in einer Teufe von 216 m und sind nur zu Fuß erreichbar. Auch durch eine Reinigung kann der Ursprungszustand nicht wiederhergestellt werden *(Abbildung 5)*.

Die Bildung von Ablagerungen folgt einem charakteristischen zeitlichen Verlauf. Während der Induktionszeit zu Beginn der Verschmutzung tritt keine nennenswerte Verschmutzung auf. In diesem Zeitraum werden auf der sauberen Oberfläche erste Nukleationskeime gebildet, bzw. erfolgt die erste Besiedlung mit Bakterien, wobei glatte Oberflächen und eine hohe Oberflächenenergie eine besonders hohe Inkubationszeit aufweisen. Anschließend wächst der Foulingwiderstand durch eine kontinuierliche Verschmutzung an, wobei gleichzeitig ein Abtragungsprozess durch auftretende Scherkräfte bzw. Erosion der Strömung vonstatten geht. Bei den meisten Anlagen kommt es zu einer asymptotischen Annäherung an eine maximale Verschmutzung. Das sich damit eingestellte Gleichgewicht ist mit einem Performanceverlust der Anlage hinsichtlich Druckverlust und Wärmeübergang verbunden. Somit ist die Anlage nicht mehr wirtschaftlich und effektiv zu betreiben, was eine Wartung und Reinigung der betroffenen Komponenten bzw. den Austausch ganzer Baugruppen notwendig macht.[6]

Eine Verringerung der Ablagerungen kann potenziell durch eine optimale Materialauswahl und Beschichtung der einzelnen Wärmeübertragerplatten erreicht werden. Die Verschmutzung ist jedoch von vielen Parametern, wie Wasserwerten, Betriebsparametern oder Mikroorganismen abhängig, eine exakte Vorhersage der entstehenden Ablagerungen ist nicht möglich. Somit ist auch eine experimentelle Untersuchung im Labor nur wenig aussagekräftig, um den Gesamtprozess der Wärmeübertragerverschmutzung zu verstehen. Eine Möglichkeit, ein besseres Verständnis zu erzielen, bieten Kooperationen mit Betreibern bereits bestehender Grubenwassergeothermieanlagen. Doch auch hier treten Schwierigkeiten auf, da die Anlagen nicht für ein intensives Monitoring ausgerüstet sind und eine regelmäßige Untersuchung der Wärmeübertrager für den Anlagenbetreiber mit erhöhtem Aufwand und temporärerem Anlagenstillstand verbunden ist.

6 Wilde et al. 2019

Abb. 5: Gegenüberstellung einer neuen (links), verschmutzten (mittig) und gereinigten (rechts) Wärmeübertragerplatte

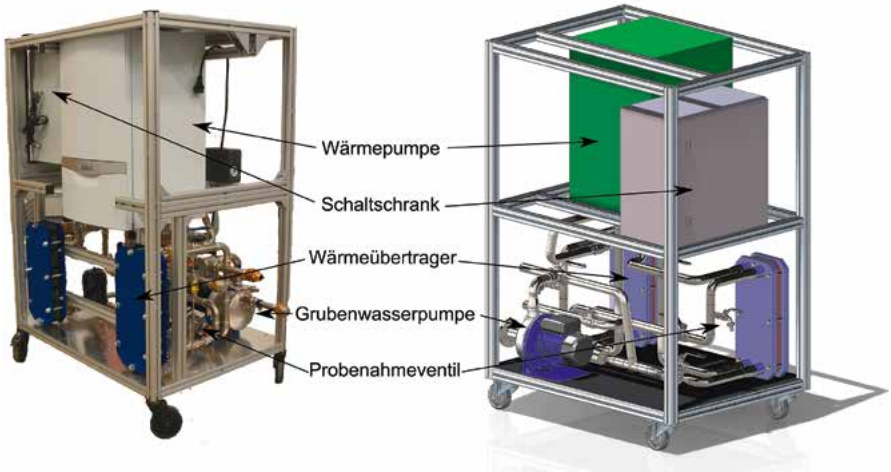


Abb. 6: Aufbau der Versuchsanlage zur Untersuchung der Wärmeübertragerverschmutzung bei der geothermischen Grubenwassernutzung (Foto links und 3D-Modell rechts)

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen besteht für eine unabhängige Untersuchung von potenziellen Grubenwasserstandorten unter realen Bedingungen die Notwendigkeit eines eigens dafür entwickelten Versuchsstands, der eine repräsentative Beprobung des Wassers und der Ablagerungen sowie den Test unterschiedlicher Materialien und Beschichtungen ermöglicht. Für die Konstruktion des Versuchsstands ergeben sich folgende Anforderungen:

- Mobiler Einsatz der Anlage mit Zugang zum Bergwerk und einfache Anschlussbedingungen,
- Einfacher Zugang zu den Wärmeübertragern mit der Möglichkeit der Demontage und der Probennahme von Wasser und Ablagerungen,
- Einsatz von korrosionsfesten Materialien bei allen das Grubenwasser berührenden Teilen,
- Schutz der Anlagenkomponenten gegen äußere Einflüsse (Feuchtigkeit, Blitzschutz, Überspannung, ...),
- Aufnahme und Speicherung der Messwerte über den Messzeitraum, sowie umgebungsunabhängige Übertragung der Daten.

Aufgrund dieser Anforderungen wurde ein Versuchsstand entworfen und gebaut *(Abbildung 6)*, der lediglich einen 230V Anschluss benötigt und damit autonom mit der Möglichkeit eines Fernzugriffs betrieben werden kann. Der Versuchsstand stellt eine Grubenwassergeothermieanlage in verkleinertem Maßstab dar und verfügt ebenfalls über eine Wärmepumpe, Wärmeübertrager, Kältemittelkreislauf und alle weiteren betriebsnotwendigen Installationen.

Die Betriebsparameter werden durch Temperatur-, Druckdifferenz- und Volumenstromsensoren erfasst. Besonders ist hierbei der leicht zugängliche und demontierbare Plattenwärmeübertrager, mit dem sich unterschiedliche Beschichtungen und Plattenmaterialien für den realen Einsatz mit Grubenwasser in kleinem Maßstab testen lassen. Aktuell sind acht unterschiedliche Plattenpaare verbaut, die aus verschiedenen Edelstählen, Titan oder

Nickelbasislegierungen bestehen, ein Paar weist eine antibakterielle Beschichtung auf. Mit dieser Versuchsanlage kann das Verschmutzungsverhalten an unterschiedlichen Standorten und Grubenwasserchemismen untersucht werden. Das oberflächen- und materialabhängige Foulingverhalten kann damit in Zusammenhang mit verschiedenen Oberflächenkennwerten gebracht werden (z. B. Kontaktwinkel, Oberflächenenergie), die im Vorfeld der Versuche gemessen wurden. In Ergänzung dazu sollen unterschiedliche Konzepte der Wasservorbehandlung auf ihre Wirksamkeit zur Foulingverringerung getestet werden.

Zusammenfassung

Die Analyse des Anlagenbetriebs zeigt, dass Grubenwassergeothermie eine sinnvolle Möglichkeit zur Reduktion von CO_2-Emissionen bei der Wärme- und Kältebereitstellung bietet. Bei normalem Anlagenbetrieb sind bei der Anlage Reiche Zeche regelmäßig Arbeitszahlen des Gesamtsystems von über 5 möglich.

Eine Beeinträchtigung der Anlageneffizienz stellen die an den Wärmeübertragern zwischen Grubenwasser und Zwischenkreislauf entstehenden Ablagerungen dar. Um beispielsweise mit Gas wirtschaftlich konkurrieren zu können sind an dieser Stelle Verbesserungen nötig.

Der Einsatz eines an der TU Bergakademie Freiberg entwickelten mobilen Versuchsstands ermöglicht die Durchführung von In-situ-Versuchen zur Effizienzsteigerung, die unabhängig von Anlagenbetreibern und Anlagenlaufzeiten stattfinden können.

Literatur

Goodman, P. D.: Effect of chlorination on material for seawater cooling system: a review of chemical reactions. Bra. Corr. J. 22, S. 56-62 (1987).

Grab, T.; Storch, T.; Groß, U.: Energetische Nutzung von Grubenwasser aus gefluteten Bergwerken, Erschienen in: Bauer, M. et. al (Hrsg.): Handbuch Oberflächennahe Geothermie, Kapitel 17, Springer Spektrum, 2018, ISBN: 978-3-662-50306-5.

Nandakumar, K; Yano, T.: Biofouling and Its Prevention: A Comprehensive Overview. In: Biocontrol Science Vol. 8. Nr. 4, S. 133–144. (2003).

Oppelt, L.; Pose, S.; Grab, T.; Fieback, T.: Geothermische Nutzung von Grubenwasser zur regenerativen Energieversorgung, Geothermische Energie, Jg.29, Nr.95, S.24–27, 2020.

Wilde, L.-M.; Pose, S.; Fieback, T.; Grab, T.: Untersuchung ausgewählter Oberflächenparameter zur Foulingvermeidung in Wärmeübertragern bei der geothermischen Grubenwassernutzung, Thermodynamik-Kolloquium 2019, 30.09.–02.10. 2019, Duisburg.

Spillover-Effekte in Energiemärkten – eine empirische Analyse am Beispiel des australischen Strommarkts[1]

Benjamin Aust[2]

Einleitung

Der australische Strommarkt NEM (National Electricity Market) besitzt eines der weltweit längsten zusammenhängenden Stromnetzwerke (vgl. AEMO, 2018). Der physische (Groß-)Handel von Energie wird vollständig über eine Spotbörse abgewickelt. Das zugehörige Marktgebiet dieses börsengestützten Energiegroßhandels erstreckt sich über die östlichen und südlichen Bundesstaaten New South Wales (NSW) samt Australian Capital Territory, Victoria (VIC), Queensland (QLD), Southern Australia (SA) und Tasmanien (TAS), für die jeweils ein separater Handelsplatz (auch als Gebotszone bezeichnet) mit einem regionalen Spotmarktpreis[3] für eine bestimmte Strommenge an der Spotbörse existiert. Hierbei ist aufgrund von geografischen Gegebenheiten und Kostenaspekten nicht jeder Handelsplatz mit jedem über ein separates Stromnetz verbunden.[4]

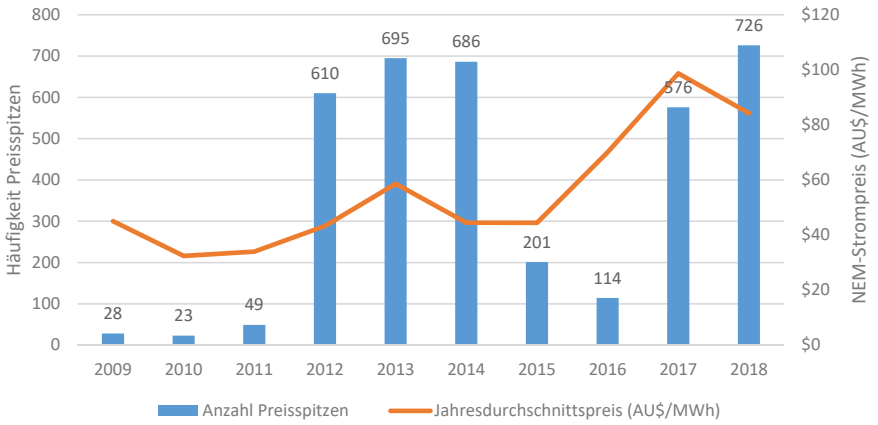


Abb. 1: Entwicklung des Preisniveaus am NEM

Bei Betrachtung der Preisentwicklung auf dem NEM unter Einbeziehung aller fünf Gebotszonen sind neben einem generellen Anstieg des durchschnittlichen Preisniveaus auch übermäßig häufig Preisextrema[5] (auch als Preisspitzen bezeichnet) in den Jahren 2012 bis 2014 *(Abbildung 1)* sowie 2017 und 2018 zu beobachten, die wertmäßig einem Vielfachen des mittleren Preisniveaus entsprechen.

Diese preislichen Ausreißer können verschiedene ökonomische und technische Ursachen haben: zweifelsohne beeinträchtigen etwa unerwartete technische Ausfälle bei Kraftwerken oder Stromnetzen das Gleichgewicht[6] zwischen Stromangebot und -nachfrage.[7] Die dadurch entstehenden negativen Angebotsschocks können die Marktpreisbildung bei gleichgebliebener Nachfrage an der Spotbörse in außergewöhnlichem Maße beeinflussen[8], so dass in der Folge etwaige

1 Ein Vortrag zu diesem Thema wurde auf der 7. IAEE Asia-Oceania Conference 2020 in Auckland präsentiert. Der Autor dankt den Teilnehmern für die wertvollen Kommentare und Anregungen.

2 Dr. rer. pol. Benjamin Aust, wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Investition und Finanzierung der TU Bergakademie Freiberg, E-Mail: benjamin.aust@bwl.tu-freiberg.de

3 Vgl. Mayer/Trück, 2018

4 Vgl. hierzu und weiteren Besonderheiten des australischen Energiemarkts Byrnes et al., 2013

5 Als Preisspitzen werden hier sämtliche wertmäßig positiven und negativen Preise bezeichnet, die einen Betrag über- oder unterhalb des dreifachen Jahresdurchschnittspreises aufweisen.

6 Vgl. Simshauser, 2018

7 Vgl. Higgs/Worthington, 2008

8 Vgl. einführend zu Schocks Blanchard/Illing, 2017

Extrempreisszenarien, auch bundesstaat- bzw. handelsplatzübergreifend[9], entstehen können.

Dahingehend untersucht dieser Beitrag, welche Übertragungseffekte technische Ausfälle als Angebotsschocks auf Spotmarktpreise innerhalb des NEM-Gebiets auslösen. Dabei werden insbesondere Preisvolatilitätseffekte zwischen den Bundesstaaten bzw. ihren regionalen Handelsplätzen analysiert und verglichen.

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wird zunächst eine geeignete Datenbasis ausgewählt, auf die ein VAR-Modell (Vektorautoregressionsmodell) aufsetzt. Im nächsten Schritt wird die Verbundenheit (auch als *Connectedness* bezeichnet) zwischen den einzelnen Handelsplätzen auf Basis ihrer Spotmarktpreise berechnet, um wiederum mögliche Übertragungseffekte – sog. Volatilitätsspillovers – auf die Bildung der regionalen Spotpreise im Zusammenhang mit unerwarteten technischen Vorfällen identifizieren zu können. Zeigen sich etwa hohe Spillover-Effekte zwischen den Spotmärkten bei einer hohen Verbundenheit, bedeutet dies allgemein für die Marktteilnehmer, dass sich kurzfristig auftretende extreme (positive oder negative) Preise in mehreren Bundesstaaten einstellen können, obwohl der ausgelöste Nachfrageüberhang nur in einem Bundesstaat auftrat. Damit würde ein Stromhandel über mehrere Handelsplätze vergleichsweise geringere ökonomische Vorteile in Form von regionaler Arbitrage bieten[10], auch wenn sich demgegenüber nur geringe Übertragungseffekte zwischen den Handelsplätzen beobachten lassen. Die Resultate der hier durchgeführten Analyse werden anschließend diskutiert, bevor der Beitrag mit einer Zusammenfassung endet.

Daten und Untersuchungsmethodik

Da Strommarktpreise gewöhnlich saisonalen Schwankungen unterliegen und das Preisniveau gemäß *Abbildung 1* im Vergleich zwischen den einzelnen Jahren teilweise sehr unterschiedlich ausfällt, wird auf einen mehrjährigen Datensatz aus dem Zeitraum von Januar 2014 bis März 2019 zurückgegriffen. Seit 2014 werden unerwartete und erhebliche großtechnische Störungen durch den *Australian Energy Market Operator* (AEMO) erfasst, ausgewertet sowie deren Ursachen und Auswirkungen in Marktberichten veröffentlicht, die für alle Marktteilnehmer im Nachgang der Vorfälle zugänglich sind. Für die vorliegende Analyse wird auf die dokumentierten technischen Ausfälle, die sich innerhalb des zugrundeliegenden Untersuchungszeitraums pro Bundesstaat gemäß diesen Berichten ereigneten, zurückgegriffen, sowie diesen auch deren Häufigkeit und Ereignistag entnommen.

Des Weiteren werden die Spotmarktpreise der Gebotszonen NSW, VIC, TAS, SA, QLD ins Kalkül gezogen. Im Einklang mit dem aktuellen Forschungsstand[11] werden dabei die Daten auf Tagesniveau (p_d) verwendet und einer Transformation (hier zu P_d) unterzogen, so dass die vergleichsweise häufig zu findenden Preisspitzen *(laut Abbildung 1)* den Modellansatz nicht unnötig verzerren. Dabei finden sich im Datensample neben positiven Preisen auch negative Preise[12], die ein vielfach in der Forschung genutztes Logarithmieren zur Transformation der originalen Preisdaten verhindern. Eine Alternative stellt der *asinh*-Ansatz dar[13], der sowohl eine Anwendung auf positive als auch auf negative Werte uneingeschränkt ermöglicht und sich dabei wie folgt mathematisch beschreiben lässt:

$$P_d = asinh(p_d) = log\left(p_d + \sqrt{p_d^2 + 1}\right).$$

Die Connectedness bzw. Verbundenheit zwischen den einzelnen Gebotszonen ermöglicht eine Aussage darüber, wie sich Schocks auf die fünf Bundesstaaten, etwa hervorgerufen durch technische Vorfälle, auswirken, was sich schließlich in den jeweiligen Spotpreisen bzw. deren Volatilitätsmustern niederschlagen sollte. Dafür muss der statistisch signifikante Anteil der prognostizierten Fehlerabweichungen (generalisierte Varianzzerlegung, kurz GVD) der einzelnen Handelsplätze des NEM mithilfe eines einfachen Cholesky-Faktor-VAR-Modells nach Diebold/Yilmaz (2014) berechnet werden. Wird die generalisierte Varianzzerlegung für die einzelnen Bundesstaaten über denselben Prognosezeitraum H kalkuliert, können mögliche Spillover-Effekte zwischen zwei Handelsplätzen durch paarweise Vergleiche der Connectedness $C_{i,j}^H$ abgeleitet werden, was mathematisch auf folgende Weise beschrieben werden kann:

$$C_{i,j}^H = C_{i\leftarrow j}(H) - C_{j\leftarrow i}(H),$$

wobei $C_{i\leftarrow j}(H)$ den Spillover von Bundesstaat j zu i symbolisiert und wiederum $C_{i\leftarrow j}(H)$ die Übertragungseffekte von i zu j infolge einer gegebenen Verbundenheit zwischen den Gebotszonen zeigt. Werden schließlich alle Gebotszonen (N = 5) in die Berechnung einbezogen und deren Connectedness über den gesamten Prognosezeitraum mittels des zugrundeliegenden VAR-GVD-Modells ermittelt, ergibt sich nachstehend die gesamte Marktverbundenheit (Total Connectedness) C^H:

$$C^H = \frac{1}{N}\sum_{\substack{i,j=1\\ i\neq j}}^{N} C_{i,j}^H$$

mit $C_{i,j}^H$ als einzelne Varianzzerlegungskomponenten des GVD über den Beobachtungszeitraum H. Die vorliegende Studie legt ein Vorhersagezeitfenster (H) von zehn Tagen, ein rollierendes Schätzfenster von 100 Tagen[14] sowie eine Zeitverzögerung (lag) von drei Tagen für das verwendete VAR-Modell zugrunde.

Mit der Konzipierung des Datensatzes sowie des Modellansatzes können nun Spillover-Effekte über den gesamten Untersuchungszeitraum analysiert werden. Mit Blick auf die technischen Vorfälle – als unerwartete Ereignisse – werden insbesondere deren Zeitpunkte betrachtet.

Laut *Abbildung 2* treten selbige Ereignisse im gesamten Untersuchungszeitraum am häufigsten (49) im Bundesstaat Victoria auf, während für Tasmanien mit neun Vorfällen die geringste Anzahl festzustellen ist. Darüber hinaus zeigt sich anhand ihrer relativen Häufigkeit[15] (blauer Linienverlauf), dass zwischen den Kalenderjahren keine wesentlichen Abweichungen hinsichtlich der Gesamtanzahl großtechnischer Ausfälle, zu denen Berichte vom AEMO veröffentlicht wurden, bestehen.

9 Vgl. Ignatieva/Trück, 2016

10 Vgl. einleitend Yoon et al., 2019 und Meus, 2011

11 Vgl. etwa Diebold/Yilmaz, 2014; Apergis et al., 2017 und Antonakakis et al., 2018

12 Vgl. dazu grundlegend Fanone et al., 2013 sowie im Zusammenhang mit dem deutschen Strommarkt Aust/Horsch, 2020

13 Vgl. stellvertretend Uniejewski et al., 2018, die hierbei die Verwendung des natürlichen Logarithmus empfehlen

14 Vgl. etwa Singh et al., 2019

15 Die relative Häufigkeit beschreibt hier das Verhältnis der Anzahl der Tage mit einem unerwarteten technischen Ausfall zur Gesamtanzahl von Tagen im selben Kalenderjahr.

Diskussion der Ergebnisse

Für den Untersuchungszeitraum wurde ein mittlerer Marktverbundenheitsindex (Total Connectedness Index) in Höhe von 50,76 ermittelt, so dass im Durchschnitt das Preisniveau in einem Bundesstaat etwa zur Hälfte durch das Preisniveau der anderen Spotmärkte (etwa durch Schocks) beeinflusst wird – und anders herum. Dazu stellt *Abbildung 3* den Indexverlauf dar. Insgesamt ist ein leichter Zuwachs der Marktverbundenheit über den gesamten Zeitraum zu erkennen. Mit Ausnahme von 2018 zeigt sich zudem in jedem Kalenderjahr jeweils ungefähr bis zur Jahresmitte ein Anstieg der Connectedness, worauf ein teilweise starker Rückgang folgt. Darüber hinaus können innerhalb des besagten Zeitraums ein Maximum von 79,90 sowie ein Minimum von 34,27 beobachtet werden.

Die Entwicklung der indexierten Spillover-Effekte für die einzelnen Bundesstaaten wird in *Abbildung 4* dargestellt. Grundsätzlich zeigt sich hierbei ein asymmetrisches Verteilungsmuster über den gesamten NEM: Bestimmte regionale Handelsplätze senden vergleichsweise mehr Volatilitätsschocks (positive Netto-Spillovers) aus, als dass sie welche empfangen; bei anderen Gebotszonen überwiegt die Zahl der empfangenen Schocks (negative Netto-Spillovers) gegenüber der der gesendeten. VIC ist als ein solcher „Netto-Sender" von Preisschocks einzustufen, da die Kurve überwiegend oberhalb von null verläuft. Zwar weist auch VIC einen insgesamt positiven Wert auf, aber er unterscheidet sich kaum von null (0,125), so dass die Gebotszone als „neutral" einzustufen ist.[16]

Alle anderen Bundesstaaten sind Netto-Empfänger von Preisvolatilitätsschocks, wobei dies in Tasmanien (TAS) und Queensland (QLD) am stärksten ausgeprägt ist. Treten hiernach außergewöhnliche Preisvolatilitäten in VIC auf, werden diese Angebotsschocks im Mittel an die Netto-Empfänger weitergegeben, aber nicht im umgekehrten Fall. Dennoch lässt sich konstatieren, dass die absolute Höhe der Netto-Spillovers von TAS, QLD und SA über den Zeitverlauf gesehen laut *Tabelle 1* insgesamt abnimmt.

16 Vgl. ausführlich zur Interpretation der Spillover-Werte Yoon et al., 2019

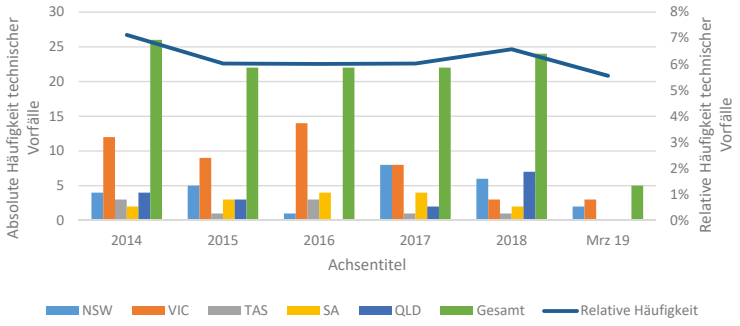


Abb. 2: Häufigkeit unerwarteter großtechnischer Ausfälle

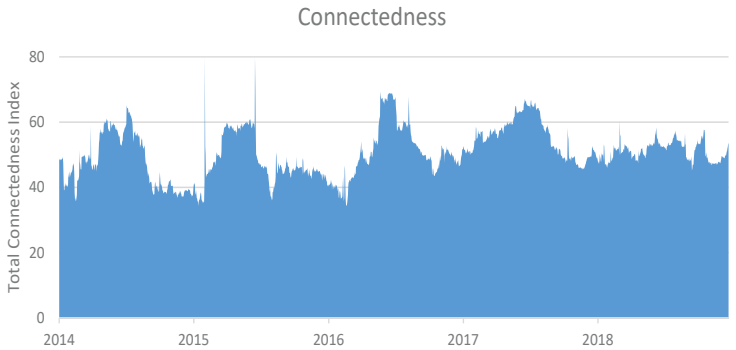


Abb. 3: Marktverbundenheit im NEM

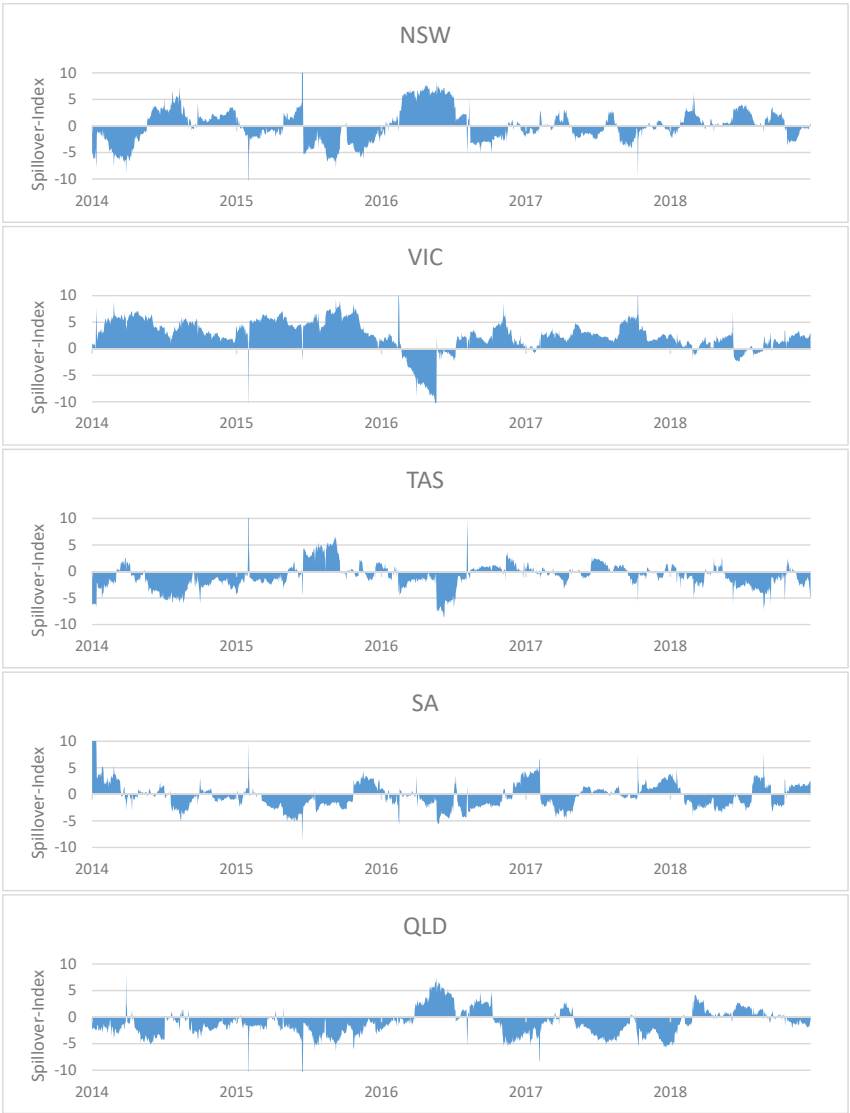


Abb. 4: Gesamtheitliche Netto-Spillover-Effekte

Tab. 1: Spillover-Effekte infolge von technischen Ausfällen

	NSW	VIC	TAS	SA	QLD
Anzahl technischer Ausfälle	25	43	9	15	14
Spillover-Index (Mittelwert)	0,125	2,477	-0,804	-0,520	-1,277
Spillover-Index bei technischen Ausfällen (Mittelwert)	-0,408	2,946	-0,902	-1,622	-1,693

Nachdem Spillover-Effekte in der Gesamtschau *(Abbildung 4)* betrachtet wurden, geht es nun um die Zeitpunkte, an denen technische Ausfälle auftraten. *Tabelle 1* fasst dazu die Resultate zusammen. Erwartungsgemäß zeigen sich höhere Spillover-Effekte bei unerwarteten technischen Vorfällen als im Mittel über den ganzen Zeitraum. Hierbei lassen sich erneut (arithmetisch gemittelte) positive Spillover-Werte (2,946) für VIC identifizieren. Demnach werden außergewöhnlichen Preisvolatilitäten (infolge technischer Vorfälle) in noch höherem Maße an die anderen Spotmärkte abgegeben. Weiterhin zeigen sich wiederholt negative Spillover-Werte für TAS, SA und QLD, obwohl nicht davon auszugehen war. Zudem sind die negativen Werte für NSW unerwartet, so dass dieser Bundesstaat, gemessen an diesen Ereignissen, von einem „neutralen" Handelsplatz zu einem Volatilitätsschockempfänger wechselt.

Die geringste Differenz zwischen den Spillovers im gesamten Betrachtungszeitraum und denen während der technischen Vorfälle weist die Gebotszone TAS auf. Insgesamt erfahren Händler in den Gebotszonen SA und QLD die größten Volatilitätsschocks im Rahmen von unerwarteten technischen Ausfällen (durch VIC), so dass sie, sofern möglich, besonders ihre Verkaufstransaktionen im Falle solcher Ereignisse auf den Handelsplatz von VIC verlagern sollten.

Bestehen dagegen keine Ausweichalternativen in andere Gebotszonen oder sehen sich generell (risikoaverse) Stromhändler mit derartigen Unsicherheiten – insbesondere mit Blick auf Extrempreisszenarien – im erhöhten Maße konfrontiert, eröffnen Terminkontrakte in Form von Futures und Optionen an der Australian Securities Exchange (ASX) Möglichkeiten[17] zur Risikotransferierung.

17 Einzig für die Gebotszone TAS existieren keine Derivate an der ASX.

Fazit

Obwohl die Anzahl unerwarteter großtechnischer Ausfälle in den letzten Jahren im Marktgebiet des NEM nahezu gleichgeblieben ist, wurden mit Ausnahme der Jahre 2014 und 2015 vergleichsweise viele Preisspitzen beobachtet. Im Rahmen der Analyse hat sich zunächst gezeigt, dass eine gewisse Marktverbundenheit zwischen den fünf regionalen Spotmärkten des NEM nachgewiesen werden kann und sich zum einen das Niveau der Connectedness auch insgesamt erhöht hat und zum anderen die Marktverbundenheit zumeist über den Jahresverlauf hinweg zu- und abnimmt.

Des Weiteren verdeutlicht die Untersuchung, dass die fünf Gebotszonen zwar stärker als zuvor angenommen miteinander verbunden sind, aber die Übertragungseffekte im gleichen Zeitraum tendenziell gesunken sind. Mit Blick auf die etwa gleichbleibende Häufigkeit unerwarteter technischer Ausfälle bedeutet dies für die Marktakteure, dass sich der Einfluss etwaiger unvorhergesehener Ereignisse vergleichsweise reduzierte.

Des Weiteren zeigt sich, dass ausschließlich dann positive Netto-Spillover-Effekte (im Mittel) identifiziert werden können, wenn sich die technischen Vorfälle in Victoria ereignen. In allen anderen regionalen Spotmärkten führten die untersuchten Ereignisse unerwartet zu negativen Netto-Spillovers. Indes bleibt abzuwarten, ob womöglich eine künftige Zunahme der Marktverbundenheit (erneut) zu höheren Übertragungseffekten zwischen den Gebotszonen führt und schließlich auch die Häufigkeit von Preisspitzen (weiter) zunimmt.

Unabhängig davon bietet die Strombörse für Marktakteure immer beides – Chancen und Risiken.

Literatur

AEMO (2018): Fact Sheet: The National Electricity Market, Melbourne.

Antonakakis, Nikolaos/Cunado, Juncal/Filis, George/Gabauer, David/Gracia, Fernando P. de (2018): Oil volatility, oil and gas firms and portfolio diversification, in: Energy Economics 70, o. Nr., S. 499–515.

Apergis, Nicholas/Barunik, Jozef/Keung Lau, Marco C. (2017): Good volatility, bad volatility: What drives the asymmetric connectedness of Australian electricity markets?, in: Energy Economics 66, o. Nr., S. 108–115.

Aust, Benjamin/Horsch, Andreas (2020): Negative market prices on power exchanges: Evidence and policy implications from Germany, in: The Electricity Journal 33, Nr. 3, Artikel 106716.

Blanchard, Olivier/Illing, Gerhard (2017): Makroökonomie, 7. Aufl., München.

Byrnes, Liam/Brown, Colin/Foster, John/Wagner, Liam D. (2013): Australian renewable energy policy: Barriers and challenges, in: Renewable Energy 60, o. Nr., S. 711–721.

Diebold, Francis X./Yilmaz, Kamil (2014): On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms, in: Journal of Econometrics 182, Nr. 1, S. 119-134.

Fanone, Enzo/Gamba, Andrea/Prokopczuk, Marcel (2013): The case of negative day-ahead electricity prices, in: Energy Economics 35, o. Nr., S. 22–34.

Higgs, Helen/Worthington, Andrew (2008): Stochastic price modeling of high volatility, mean-reverting, spike-prone commodities: The Australian wholesale spot electricity market, in: Energy Economics 30, o. Nr., S. 3172-3185.

Ignatieva, Katja/Trück, Stefan (2016): Modeling spot price dependence in Australian electricity markets with applications to risk management, in: Computers & Operations Research 66, o. Nr., S. 415–433.

Mayer, Klaus/Trück, Stefan (2018): Electricity markets around the world, in: Journal of Commodity Markets 9, o. Nr., S. 77–100.

Meeus, Leonardo (2011): Why (and how) to regulate power exchanges in the EU market integration context?, in: Energy Policy 39, Nr. 3, S. 1470–1475.

Ramiah, Vikash/Thomas, Stuart/Heaney, Richard/Mitchell, Heather (2015): Seasonal Aspects of Australian Electricity Market, in: Cheng F. Lee/John C. Lee (Hrsg.) Handbook of Financial Econometrics and Statistics, 2. Aufl., New York (NY), S. 935–956.

Simshauser, Paul (2018): On intermittent renewable generation & the stability of Australia's National Electricity Market, in: Energy Economics 72, o. Nr., S. 1–19.

Singh, Vipul K./Kumar, Pawan/Nishant, Shreyank (2019): Global connectedness of MSCI energy equity indices: A system-wide network approach, in: Energy Economics 84, o. Nr., Artikel 104477.

Tulloch, Daniel J./Diaz-Rainey, Ivan/Premachandra, I. M. (2017): The Impact of Liberalization and Environmental Policy on the Financial Returns of European Energy Utilities, in: Energy Journal 38, Nr. 2, S. 77–106.

Uniejewski, Bartosz/Weron, Rafal/Ziel, Florian (2018): Variance Stabilizing Transformations for Electricity Spot Price Forecasting, in: IEEE Transactions on Power Systems 33, Nr. 2, S. 2219–2229.

Yoon, Seong-Min/Mamun, Md A./Uddin, Gazi S./Kang, Sang H. (2019): Network connectedness and net spillover between financial and commodity markets, in: The North American Journal of Economics and Finance 48, o. Nr., S. 801–818.

Business-to-Business Marketing an der TU Bergakademie Freiberg

Alexander Leischnig[1]

Weite Bereiche des Wirtschaftslebens werden maßgeblich davon beeinflusst, wie Organisationen sich austauschen, miteinander zusammenarbeiten und Wert für sich und andere Marktakteure schaffen. Das Business-to-Business Marketing widmet sich genau diesem Themenbereich und bildet die zentrale Facette des Forschungs- und Lehrprofils der Professur für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Business-to-Business Marketing, der TU Bergakademie Freiberg.

Ziel unserer Forschung ist es, betriebswirtschaftlich relevante Problemstellungen zu lösen, um Empfehlungen an Entscheidungsträger in Unternehmen aussprechen zu können, die den praxisorientierten Gebrauch theoretischer Ansätze ermöglichen. Viele unserer Forschungsprojekte sind von der Zusammenarbeit mit Praxispartnern aus unterschiedlichen Industrien geprägt. Dies ermöglicht es uns, vertiefte Einblicke in aktuelle Probleme von Unternehmen zu erhalten und Forschungsbedarfe zu identifizieren. Hierdurch werden die Diskussion neuester Ergebnisse mit Kooperationspartnern und der Transfer von Erkenntnissen in die Praxis ermöglicht, was ein zentrales Anliegen unserer Forschung darstellt. Unsere Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf vier Schwerpunktthemen, welche in einem kurzen Überblick vorgestellt werden sollen.

Kunden stellen eine zentrale Anspruchsgruppe für Unternehmen dar und ein erfolgreiches Kundenmanagement trägt maßgeblich zum Unternehmenserfolg bei. Im Rahmen unserer Forschung beschäftigen wir uns deshalb u.a. mit Fragen des Key Account Managements und der Gestaltung von Programmen für diese spezielle, für Unternehmen strategisch besonders wichtige Kundengruppe. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigen, dass ein effektives Key Account Management eine wichtige organisationale Fähigkeit darstellt [1], deren effektive Anwendung jedoch von Barrieren beeinträchtigt werden kann, die es zu überwinden gilt [3].

Ein Ansatzpunkt, der hierbei von besonderer Bedeutung ist, ist das Vertriebsmanagement von Unternehmen, was einen weiteren Schwerpunkt unserer Forschungstätigkeit bildet. Vertriebsaktivitäten von Unternehmen erfüllen verschiedene Funktionen, angefangen von reinen Informations- bis hin zu komplexen Servicefunktionen. Für Unternehmen stellt sich die Frage, wie Vertriebsstrategien definiert und Vertriebsmaßnahmen konfiguriert werden sollten, um unternehmens- und kundenbezogene Ziele zu erreichen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass es auf das Zusammenspiel von marktbezogenen und vertriebsstrategischen Faktoren ankommt und dass verschiedene Konstellationen von Vertriebssystemen erfolgreich sein können [4].

Vor allem für kleine Unternehmen stellt der Aufbau komplexer Vertriebsstrukturen oder auch umfassender Kundenmanagementprogramme eine Herausforderung dar, da benötigte Ressourcen oftmals nicht oder nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind. Unternehmen sind dann häufig auf die Zusammenarbeit mit externen Partnern angewiesen. Das Management strategischer Kooperationen, die über reine Kunden- oder Zuliefererbeziehungen hinausgehen, stellt eine weitere Facette unseres Forschungsportfolios dar. Beispielhafte Fragestellungen, denen dabei nachgegangen wird, umfassen, wie Unternehmen Ressourcen strategischer Partner mobilisieren können und wie die Austauschprozesse möglichst reibungsfrei gestaltet werden können. Es zeigt sich, dass nicht nur besonders starke, sondern auch eher lose, informelle Beziehungen zu externen Partnerorganisationen für Unternehmen wichtig sind und wertvolle Inputs liefern können [6] und dass ein systematisches Allianzmanagement dabei helfen kann, interorganisationale Austauschprozesse effektiv umzusetzen [2].

Da Unternehmensaktivitäten zunehmend in digitalen Umgebungen stattfinden und von der Nutzung digitaler Ressourcen geprägt sind, ist zudem die Business Digitalisation ein relevantes Forschungsfeld. Gemeint ist damit die Digitalisierung von Leistungen, Prozessen oder ganzer Geschäftsmodelle von Unternehmen. Einzelne Produkte oder auch Komponenten in Produkten liefern heute wertvolle Daten, die genutzt werden können, um wertschaffende Dienstleistungen (z. B. Predictive Maintenance-Services zur Instandhaltung) zu entwickeln. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Fähigkeit von Unternehmen zur Verarbeitung von Daten einen wichtigen Beitrag zur Wertschöpfung und Werterfassung im Unternehmen leisten kann [5].

Die im Rahmen unserer Forschung generierten Erkenntnisse finden ebenfalls Eingang in unsere Lehrveranstaltungen auf Bachelor- und Masterniveau. Während die Module des Bachelorstudiums darauf abzielen, grundlegende Kenntnisse zum Marketing und Marketingmanagement generell zu vermitteln, fokussieren Veranstaltungen des Masterstudiums auf weiterführende Themenbereiche, wie z. B. Marketing Intelligence oder das Vertriebsmanagement. Ein zentrales Anliegen des Lehrprofils ist dabei die Entwicklung und Stärkung fachlicher und methodischer Kompetenzen der Studierenden.

Weitere Informationen zur Professur finden Sie hier:

https://tu-freiberg.de/fakult6/btbmarketing

Referenzen

1 Ivens, B. S., Leischnig, A., Pardo, C., & Niersbach, B. (2018). Key account management as a firm capability. Industrial Marketing Management, 74, 39–49.

2 Leischnig, A., Geigenmueller, A., & Lohmann, S. (2014). On the role of alliance management capability, organizational compatibility, and interaction quality in interorganizational technology transfer. Journal of Business Research, 67(6), 1049–1057.

3 Leischnig, A., Ivens, B. S., Niersbach, B., & Pardo, C. (2018). Mind the gap: A process model for diagnosing barriers to key account management implementation. Industrial Marketing Management, 70, 58–67.

4 Leischnig, A., & Kasper-Brauer, K. (2016). How to sell in diverse markets? A two-level approach to industry factors and selling factors for explaining firm profitability. Journal of Business Research, 69(4), 1307–1313.

5 Leischnig, A., Wölfl, S., Ivens, B., & Hein, D. (2017). From digital business strategy to market performance: insights into key concepts and processes. Proceedings of the International Conference on Information Systems. 10.-13. Dezember 2017, Seoul/Südkorea.

6 Thornton, S. C., Henneberg, S. C., Leischnig, A., & Naudé, P. (2019). It's in the mix: How firms configure resource mobilization for new product success. Journal of Product Innovation Management, 36(4), 513–531.

1 Prof. Dr. Alexander Leischnig
Kontaktdaten:
https://tu-freiberg.de/fakult6/btbmarketing

Denkmalschutz aus der Perspektive des Rechts

Maximilian Wormit[1]

Der Dresdener Zwinger, die Thomaskirche in Leipzig, das Schloss Freudenstein in Freiberg – viele sächsische Städte verdanken ihren einzigartigen Charme zu einem Großteil prägenden und imposanten Baudenkmalen. Als Mittler zwischen Vergangenheit und Gegenwart sind solche Bauwerke nicht nur „hübsch anzuschauen". Vielmehr: Sie konservieren das kulturelle Erbe einer Gesellschaft und bewahren es für künftige Generationen. Dabei steht angesichts ihrer Seltenheit, Unvermehrbarkeit sowie Unwiederbringlichkeit außer Zweifel, dass Denkmale eines besonderen – auch rechtsgeformten – Schutzes bedürfen. Insoweit wirft der nachfolgende Beitrag einige Schlaglichter auf prägende Strukturen des Denkmalschutzrechts.

Denkmalschutz und Denkmalpflege

Denkmalschutz unterfällt dem Aufgabenbereich des Staates. Dem entspricht, dass zum Denkmalschutz all jene Maßnahmen rechnen, die zur Erhaltung von Denkmalen vonseiten der auf diesem Felde agierenden staatlichen Stellen durchgeführt werden.[2] Solche Maßnahmen reichen von der – nötigenfalls auch zwangsweisen – Durchsetzung von gesetzlichen Ge- und Verboten über die Überwachung der Einhaltung von gesetzlichen Genehmigungserfordernissen bis hin zur Anordnung von Sanktionen bei Verstößen gegen denkmalschutzbezogene Bestimmungen. Denkmalschutz ist so gesehen Gesetzesvollzug und verlangt daher juristische Kenntnisse.

Vom Denkmalschutz grenzt sich die Denkmalpflege insofern ab, als mit diesem Begriff auch alle Maßnahmen nichthoheitlicher Art eingefangen werden, mit denen jedermann, insbesondere im Rahmen zivilgesellschaftlichen Engagements, zur Pflege von Denkmalen beitragen kann. Denkmalpflegerische Aktivitäten entfalten sich daher – frei von gesetzlichen Zwängen – vor allem in der Bestandserfassung, der Erforschung und der Präsentation von Denkmalen.

Denkmalschutz im Bundesstaat

Die Bundesrepublik Deutschland ist gemäß Art. 20 Abs. 1 Grundgesetz (GG) ein föderaler Bundesstaat. Sie verkörpert damit ein zweigliedriges Staatsgebilde, das sich einerseits aus dem Bund („Gesamtstaat") und andererseits aus den 16 Ländern („Gliedstaaten") zusammensetzt. Staatsqualität weisen sowohl der Bund als auch jedes einzelne Bundesland auf, was sich nicht zuletzt darin ausprägt, dass jedes Bundesland seine eigene Landesverfassung besitzt. Zur Vermeidung einer Doppelzuständigkeit im föderalstaatlichen Nebeneinander von Bund und Ländern bedarf es indessen einer klaren Zuständigkeitsverteilung. Das GG nimmt sich der Klärung dieser Frage dergestalt an, dass es in Art. 30 eine umfassende Zuständigkeitsvermutung zugunsten der Länder normiert: *„Die Ausübung der staatlichen Befugnisse und die Erfüllung der staatlichen Aufgaben ist Sache der Länder, soweit dieses Grundgesetz keine andere Regelung trifft oder zuläßt"*. Für die Agenda des Denkmalschutzes beansprucht diese Grundregel uneingeschränkte Geltung: Denkmalschutz ist Ländersache („Kulturhoheit der Länder"). Deshalb bleibt es jedem Bundesland selbst überlassen, ob und auf welche Weise es den Denkmalschutz organisiert und inhaltlich ausgestaltet. Von der damit auch eingeschlossenen Möglichkeit, auf diesem Sachgebiet rechtsnormsetzend tätig zu werden, haben alle Länder Gebrauch gemacht und entsprechende Landesdenkmalschutzgesetze erlassen. Der in der Bundesrepublik vorhandene Kernbestand an denkmalschutzrechtlichen Vorschriften ist somit durch die Koexistenz von 16 verschiedenen Denkmalschutzgesetzen gekennzeichnet, die sich in ihren Grundstrukturen oft gleichen, aber in den Nuancen beachtliche Unterschiede aufweisen. Bei einiger Vergröberung lassen sich die jeweiligen Gesetze nach Bestimmungen zur Aufgabe und Organisation, zum sog. Denkmalbegriff, zum System und zu den Rechtsfolgen der Unterschutzstellung sowie zu den Instrumenten des Denkmalschutzes systematisieren. Nichts Anderes gilt insoweit für das seit 1993 in Kraft stehende Sächsische Denkmalschutzgesetz (SächsDSchG), das den Schwerpunkt der nachfolgenden Betrachtung bilden soll.

Aufgabe und Organisation des Denkmalschutzes in Sachsen

„Denkmale und andere Kulturgüter stehen unter dem Schutz und der Pflege des Landes" – so lautet Art. 11 Abs. 3 der Sächsischen Landesverfassung, womit der Denkmalschutz zur Staatsaufgabe erhoben wird. Davon ausgehend umschreibt § 1 Abs. 1 SächsDSchG die Kernaufgaben des Denkmalschutzes mit dem Schutz von Denkmalen einschließlich der Überwachung ihres Zustandes und der Abwendung von Gefährdungen. Diese Aufgabe wird gemäß § 1 Abs. 2 SächsDSchG vom Freistaat selbst und von den Gemeinden und den Landkreisen erfüllt. Konkret verteilt sich die Aufgabenerfüllung nach Maßgabe des § 3 SächsDSchG im Wesentlichen auf insgesamt drei administrative Ebenen: Das sächsische Staatsministerium des Inneren fungiert als oberste Denkmalschutzbehörde; die Landesdirektion Sachsen als obere Denkmalschutzbehörde und die Landkreise und kreisfreien Städte sowie (ausnahmsweise) bestimmte Gemeinden – zu ihnen zählt aufgrund ihres überdurchschnittlich großen Bestandes an Denkmalen auch die Universitätsstadt Freiberg – als untere Denkmalschutzbehörden. Letztgenannten obliegt nach § 4 Abs. 1 SächsDSchG der Vollzug des SächsDSchG - mithin die Anwendung des Gesetzes auf den konkreten Einzelfall. Sie sind es deshalb, die insbesondere in den Vorgang der Denkmalsetzung federführend eingebunden sind. Unterstützt werden sie dabei gem. § 3a SächsDSchG vom Landesamt für Denkmalpflege sowie vom Landesamt für Archäologie, die den unteren Denkmalschutzbehörden fachlichen Input liefern.

Gegenstand des Denkmalschutzes – Der sächsische Denkmalbegriff

Als Ausgangspunkt denkmalschutzbezogener Rechtsfragen – vor allem im Kontext der Inschutznahme eines Objekts – stellt sich oft die Frage, ob das als potenzielles Denkmal in Betracht genommene Objekt überhaupt zum Denkmal im Rechtssinne taugt. Ein Denkmal definiert sich nicht aus sich selbst heraus; nicht alles was „schön und alt" ist, gilt als Denkmal. Vielmehr braucht es eine allgemein und landesweit verbindliche Umschreibung dessen, was den Gegenstand des

1 Dr. iur. Maximilian Wormit, Vertreter der Professur für Öffentliches Recht, insbesondere Technik- und Umweltrecht an der TU Bergakademie Freiberg (maximilian.wormit@rewi.tu-freiberg.de)

2 Vgl. Achim Hubel, Denkmalpflege, 4. Aufl. 2019, S. 362

Denkmalschutzes aus rechtlicher Sicht ausmacht. Diese Aufgabe übernimmt der Denkmalbegriff; er formuliert im Sinne einer „Denkmaldefinition“ die Voraussetzungen, die ein Objekt erfüllen muss, um als Denkmal im Rechtssinne zu gelten. Für Objekte, die sich im Hoheitsbereich des Freistaates Sachsen befinden, erschließen sich diese Voraussetzungen aus § 2 Abs. 1 SächsDSchG. Demgemäß handelt es sich bei Denkmalen – das SächsDSchG spricht insoweit synonym von „Kulturdenkmalen“ – um *„von Menschen geschaffene Sachen, Sachgesamtheiten, Teile und Spuren von Sachen einschließlich ihrer natürlichen Grundlagen, deren Erhaltung wegen ihrer geschichtlichen, künstlerischen, wissenschaftlichen, städtebaulichen oder landschaftsgestaltenden Bedeutung im öffentlichen Interesse liegt.“* Letztlich knüpft der (sächsische) Denkmalbegriff die Annahme der Denkmaleigenschaft eines Objekts an drei Voraussetzungen:

Erstens eignen sich zum Kulturdenkmal nur Sachen oder Sachgesamtheiten – mithin bewegliche oder unbewegliche körperliche Gegenstände (vgl. § 90 BGB) –, die das Ergebnis eines menschlichen „Schöpfungsaktes“ sind. Hierzu zählen gemäß § 2 Abs. 5 SächsDSchG unter anderem (geradezu prototypisch) Bauwerke, Siedlungen, Ortsteile oder Werke der bildenden Kunst. Vom Denkmalbegriff ausgeklammert werden somit insbesondere menschliche oder tierische Skelette sowie Versteinerungen oder andere Elemente der Natur, da sie nicht von Menschenhand geschaffen wurden.

Zweitens verlangt der Denkmalbegriff, dass das Objekt wegen seiner geschichtlichen, künstlerischen, wissenschaftlichen, städtebaulichen oder landschaftsgestaltenden Bedeutung erhaltenswert ist. Um als Denkmal im juristischen Sinne zu gelten, muss sich ein Objekt daher mindestens im Hinblick auf eine der vorgenannten Bedeutungskategorien ausweisen können; bejahendenfalls spricht man von der „Denkmalfähigkeit“ eines Objekts.[3] Für die Bejahung der geschichtlichen Bedeutung kommt es beispielsweise darauf an, ob das Objekt nach seinem Aussage-, Erinnerungs- und Assoziationswert historische Ereignisse oder Entwicklungen für künftige Generationen anschaulich macht, wobei ästhetische Gesichtspunkte bei der Bewertung irrelevant sind.[4]

Schließlich und *drittens* muss gemäß dem Denkmalbegriff die Erhaltung des in Betracht genommenen Objekts im Interesse der Öffentlichkeit liegen. Hierfür kommt es vornehmlich darauf an, ob aus Sicht eines breiten Kreises von Sachverständigen ein nicht unerheblicher Teil der Bevölkerung ein Interesse am Erhalt des jeweiligen Objekts hat.[5] Begrifflich wird das Vorliegen eines solchen Allgemeininteresses mit dem Terminus „Denkmalwürdigkeit“ eingefangen. Indessen ist bei der Beurteilung sowohl der Denkmalfähigkeit und -würdigkeit eines Objekts zweifelsohne weniger der juristische als vielmehr der kulturwissenschaftliche Sachverstand gefragt, und es lässt sich im Einzelfall sicherlich trefflich darüber streiten (notfalls im Rahmen eines gerichtlichen Verfahrens), ob ein bestimmtes Objekt das Attribut „denkmalfähig“ bzw. „denkmalwürdig“ verdient. In neuer Zeit wird in dieser Hinsicht etwa kontrovers über den Denkmalwert von Plattenbausiedlungen aus DDR-Zeiten diskutiert.[6]

Verfahren der Unterschutzstellung – Die Bedeutung der Denkmalliste

Erfüllt ein Objekt sämtliche Voraussetzungen des Denkmalbegriffs, stellt sich im Weiteren die Frage, ab welchem Zeitpunkt das Schutzregime des jeweiligen Landesdenkmalschutzgesetzes greift. Maßgebliche Bedeutung bei der Beantwortung dieser Frage kommt der so bezeichneten Denkmalliste zu. Hierbei handelt es sich um ein von jedem Bundesland geführtes, öffentlich einsehbares Bestandsverzeichnis von Kulturdenkmalen (vgl. § 10 Abs. 1 Satz 1 SächsDSchG). In einigen Bundesländern – hierzu zählen etwa Hamburg, Bremen oder Nordrhein-Westfalen – hat die Eintragung eines Denkmals in diese Liste konstitutive Wirkung. Das bedeutet, erst mit der Eintragung eines Denkmals in die Landesdenkmalliste wird dem Objekt der rechtsgeformte Denkmalschutz zuteil; deshalb wird dieses System der Unterschutzstellung auch als „konstitutives System“ bezeichnet.

Demgegenüber folgt die Mehrzahl der Bundesländer – so namentlich auch der Freistaat Sachsen – dem sogenannten deklaratorischen System. Hiernach genießt ein Objekt bereits *ipso iure* („durch das Recht selbst“) den vollen Schutz des Gesetzes, wenn es sämtliche Kriterien des Denkmalbegriffs erfüllt, ohne dass es hierzu eines zusätzlichen Formalaktes in Gestalt des Listeneintrags bedarf; die Eintragung hat in diesem System vielmehr nur deklaratorische, mithin klarstellende Bedeutung, wie dies § 10 Abs. 1 Satz 2 SächsDSchG deutlich zum Ausdruck bringt: *„Der Denkmalschutz nach diesem Gesetz ist nicht von der Aufnahme eines Kulturdenkmals in ein Verzeichnis abhängig“*. Das gilt - nebenbei bemerkt - gleichermaßen für die an vielen Denkmalen angebrachte amtliche Denkmal-Plakette. Beide Systeme haben naturgemäß Vor- und Nachteile. Der große Vorzug des konstitutiven Systems liegt sicherlich darin, dass mit dem konstitutiv wirkenden Listeneintrag ein hohes Maß an Transparenz und Rechtssicherheit einhergeht. Denn schließlich können die interessierten Kreise (Denkmaleigentümer, Behörden, Architekten etc.) davon ausgehen, dass ausschließlich die in der Landesdenkmalliste verzeichneten Objekte dem Schutzregime des Denkmalrechts unterliegen. Das deklaratorische System verspricht hingegen einen gesetzesunmittelbaren und lückenlosen Schutz: Kein Objekt, das die landesrechtlich definierten Voraussetzungen für die Denkmaleigenschaft erfüllt, bleibt ohne den gesetzlichen „Schutzschirm“. Die Krux bei diesem Schutzansatz liegt unterdessen auf der Hand: Das System kann in der Praxis nicht gewährleisten, dass ein Denkmal immer als solches erkannt wird, ist doch vor allem die Bewertung der Denkmalfähigkeit und Denkmalwürdigkeit eines Objekts ohne die Heranziehung fachlich qualifizierter Stellungnahmen kaum möglich.

Rechtsfolgen der Unterschutzstellung

Mit der Unterschutzstellung eines Denkmals, sei sie – je nach Schutzsystem – mit dem Zeitpunkt des Listeneintrags oder *ipso iure* erfolgt, wird ein rechtsgeformter „Schutzschirm“ aktiviert und über das in Schutz genommene Denkmal gespannt. Dieser „Schutzschirm“ setzt sich aus einer Vielzahl von Bestimmungen zusammen, deren Hauptadressat der Eigentümer des jeweiligen Denkmals ist. Dessen – auf den ersten Blick recht profan anmutende – Grundpflicht besteht namentlich darin,

3 Vgl. etwa Stefan Bajohr und Rainer Wolf, in: Jacob/Ring/Wolf (Hrsg.), Freiberger Handbuch zum Baurecht, 3. Aufl. 2008, § 33 Rn. 20

4 Oberverwaltungsgericht Bautzen, Beschl. v. 20.02.2001 – 1 B 33/01, Rn. 5 = SächsVBl 2001, 150 ff.

5 Achim Hubel, Denkmalpflege, 4. Aufl. 2019, S. 373 f.

6 Siehe etwa jüngst: Berliner Zeitung v. 03.02.2020: Brauchen Honeckers DDR-Platten wirklich Denkmalschutz?, abrufbar unter https://www.bz-berlin.de/berlin/mitte/brauchen-honeckers-ddr-platten-in-leipzigerstrasse-wirklich-denkmalschutz

das Denkmal zu erhalten. Für „sächsische“ Denkmale ist diese Erhaltungspflicht in § 8 Abs. 1 SächsDSchG geregelt: *„Eigentümer (…) von Kulturdenkmalen haben diese pfleglich zu behandeln, im Rahmen des Zumutbaren denkmalgerecht zu erhalten und vor Gefährdung zu schützen“*. Damit wird dem Eigentümer letztlich ein Großteil der Verantwortung für das „Wohl und Wehe“ eines Denkmals auferlegt. Ihm obliegt die denkmalgerechte Instandhaltung ebenso wie die Instandsetzung, womit insbesondere umfassende Sanierungs- und Restaurationspflichten verknüpft sein können. Erfüllt der Eigentümer diese Verpflichtungen nicht, kann er behördlicherseits angehalten werden – so etwa in Gestalt einer Sanierungsanordnung – seiner Verpflichtung nachzukommen; erforderlichenfalls kann eine solche Anordnung auch zwangsweise, insbesondere mittels behördlicher Ersatzvornahme, durchgesetzt werden.

Über die Erhaltungspflicht hinaus trifft den Denkmaleigentümer die Verpflichtung, vor einer geplanten Veränderung des Denkmals eine entsprechende Genehmigung bei der Denkmalschutzbehörde einzuholen. Insoweit darf ausweislich § 12 Abs. 1 SächsDSchG ein Denkmal nur mit Genehmigung der Denkmalschutzbehörde unter anderem *„instand gesetzt werden, in seinem Erscheinungsbild oder seiner Substanz verändert oder beeinträchtigt werden, mit An- und Aufbauten, Aufschriften oder Werbeeinrichtungen versehen werden“*. Auch hier gilt, dass die Vornahme nicht genehmigter Veränderungen am Denkmal behördlicherseits zwangsweise unterbunden bzw. rückgängig gemacht werden kann.

Bereits die vorskizzierten Pflichten machen unterdessen deutlich, dass der Eigentümer infolge der Unterschutzstellung über das Schicksal seines Objekts nicht völlig frei und willkürlich verfügen darf. Aus verfassungsrechtlicher Perspektive gerät der Denkmalschutz damit unverkennbar in ein Spannungsverhältnis zur Eigentumsgarantie, wie sie in Art. 14 Abs. 1 GG verankert ist (*„Das Eigentum und das Erbrecht werden gewährleistet“*). Und in der Tat sehen sich – wie zahlreiche Gerichtsverfahren dokumentieren[7] – viele Denkmaleigentümer nicht selten durch die Bestimmungen der Landesdenkmalschutzgesetze und die darauf gestützten Anordnungen der Denkmalschutzbehörden in ungerechtfertigter Weise in ihrem Eigentum beschränkt: Sie könnten ihr Eigentum keiner attraktiven Nutzung zuführen, müssten von wirtschaftlich oder ökologisch sinnvollen Baumaßnahmen absehen oder sähen sich durch die von ihnen für den Denkmalschutz aufzubringenden Kosten unzumutbar belastet.[8] Obgleich derlei Erwägungen sicherlich nachvollziehbar erscheinen, greifen sie doch – jedenfalls in dieser Pauschalität – insoweit zu kurz, als oft übersehen wird, dass das Eigentum nicht schrankenlos gewährleistet wird; vielmehr unterliegt es einer Sozialbindung, wie dies Art. 14 Abs. 2 GG zum Ausdruck bringt: *„Eigentum verpflichtet. Sein Gebrauch soll zugleich dem Wohle der Allgemeinheit dienen.“*

Blick auf das denkmalgeschützte Schloßplatzquartier in Freiberg, Sitz der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Aufnahme 2017

© Foto Deltelv Müller/TU Bergakademie Freiberg

Eben diese Sozialbindung spiegelt sich in vielen Normen des Denkmalschutzes und den darauf gestützten behördlichen Anordnungen wider. Denkmalschutz ist eine gesamtgesellschaftliche und gemeinwohlorientierte Aufgabe, weshalb die betroffenen Denkmaleigentümer die ihnen auferlegte „Denkmallast“ – soweit diese denn überhaupt als solche empfunden wird – im Interesse der Allgemeinheit an der Konservierung des kulturellen Erbes im Rahmen des Zumutbaren zu tragen haben.

Letztlich sei darauf hingewiesen, dass im Lichte der Existenz einer Vielzahl denkmalpflegerischer Förderprogramme sowie gesetzlich vorgesehener Steuererleichterungen[9] die „Denkmallast“ für die Eigentümer ein Stück weit abgefedert wird.

Entwicklungsperspektiven

In Zeiten, in denen viel über eine verstärkte Einbindung der Bürgerinnen und Bürger in administrative Entscheidungsprozesse gesprochen wird, stehen seit kurzem auch Überlegungen zu neuen Formen der Bürgerbeteiligung bei denkmalschutzbezogenen Verwaltungsverfahren im Raum. In dieser Hinsicht bemerkenswert ist der unlängst von der sächsischen Landtagsfraktion „Bündnis 90/Die Grünen“ unternommene Vorstoß für die Schaffung umfassender Mitwirkungs- und Klagerechte im Kontext denkmalschutzbezogener Verwaltungsentscheidungen. Nach dem Vorbild der bereits im Umweltrecht kodifizierten „altruistischen Verbandsklage“ sah der – letztlich erfolglos gebliebene – Gesetzesentwurf[10] insbesondere die Verankerung eines Verbandsklagerechts im SächsDSchG zugunsten „anerkannter Denkmalschutzvereinigungen“ vor. Demgemäß hätten derlei Vereinigungen quasi als „Treuhänder“ oder „Anwälte“ des Denkmalschutzes bestimmte Entscheidungen der Denkmalschutzbehörden – so etwa in Gestalt einer Erlaubnis zur Veränderung oder zum Abbruch eines Denkmals – einer gerichtlichen Kontrolle zuführen können. Über Fragen zu Art und Umfang möglicher Beteiligungsmodelle hinaus dürften im (rechtspolitischen) Diskurs um die Fortentwicklung des Denkmalschutzrechts schließlich Thematiken wie die stärkere Berücksichtigung des demographischen Wandels und die normative Einhegung der Belange der „Energiewende“ in die Denkmalschutzgesetzgebung eine erhebliche Rolle spielen.

7 Insoweit sei nur auf die von Eberl/Kapteina/Kleeberg/Martin zusammengetragene und 2014 im Kohlhammer Verlag erschienene, sehr umfangreiche Entscheidungssammlung zum Denkmalrecht verwiesen.

8 Annette Guckelberger, in: Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees Denkmalschutz (Hg.), Band 90 – Quo vadis Denkmalrecht? Kulturerbe zwischen Pflege und Recht, S. 39 (43)

9 Siehe z.B. § 7i EStG (erhöhte Absetzungen bei Baudenkmalen) oder § 10f EStG (Steuerbegünstigung eines für zu eigenen Wohnzwecken genutzten Baudenkmals)

10 „Gesetz zur Einführung von Mitwirkungsrechten und zum Verbandsklagerecht für anerkannte Denkmalschutzvereinigungen“, Sächsischer Landtag, Drucksache 6/14736

Historischen Gläsern auf der Spur

Das BMBF-Verbundforschungsprojekt des Instituts für Mineralogie, TU Bergakademie Freiberg, des Historischen Instituts/Abteilung Frühe Neuzeit der Justus-Liebig-Universität Gießen und des Schloßmuseums Arnstadt

Anna-Victoria Bognár, Gerhard Heide, Yamna Ramdani, Antje Vanhoefen und Annette C. Cremer

Inv.-Nr. K-G 0130_TWF2673, Foto: Thomas Wolf, Gotha, © JLU Gießen

Abb. 1: Fußschale mit geschnittenem Dekor, Schloßmuseum Arnstadt

Der Öffentlichkeit weitgehend verborgen lagern in Museen und Hochschulen, Bibliotheken und Archiven in Deutschland verschiedenartigste Sammlungen wahrer Schätze von Objekten. Wegen ihrer hohen kulturellen, gesellschaftlichen, historischen oder wissenschaftlichen Bedeutung sollen einige Sammlungen erschlossen, erforscht und damit zu ihrer Erhaltung beigetragen werden.

Dies ist das Ziel der 2017 zum dritten Mal vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) veröffentlichten Förderrichtlinie S*prache der Objekte – Materielle Kultur im Kontext gesellschaftlicher Entwicklungen.*[1]

Eine verwandte Förderlinie ist *eHeritage*,[2] die 2019 ausgelobt wurde, und der Digitalisierung von Objekten des kulturellen Erbes dient. Das BMBF fördert zudem seit 2019 die sogenannten *Kleinen Fächer*, die im Rahmen des deutschen Wissenschaftssystems für unsere Gesellschaft wesentliche Beiträge, Impulse und Innovationen liefern, indem sie Entwicklungen und Systeme durch die Pluralität ihrer Blickwinkel kritisch reflektieren und wertvolles Orientierungs- und Handlungswissen erarbeiten. Da Objekte sehr vielschichtig sein können, bergen sie als materielles Kulturerbe ein nicht zu unterschätzendes wissenschaftliches Potenzial. In ihnen können sich kulturelle, gesellschaftliche, politische, ökonomische und technische Prozesse in verdichteter Form manifestieren. Forschung entschlüsselt diese „Sprache" der Objekte und macht sie zu Quellen, die über sich hinausweisen. Sie kann aufzeigen, wie und warum Gesellschaften gewisse Dinge herstellen und wie diese Gesellschaften organisiert sind bzw. waren.

Objektforschung ist interdisziplinär. Dabei sind Museen wichtige Partner, da sie nicht nur einzigartige Exponate und ganze Bestände, sondern vor allem objektnahe wissenschaftliche und museologische Expertise für kulturelles Erbe haben. Die Förderlinie „Sprache der Objekte" unterstützt besonders die Kooperation mit kleinen und mittleren Museen, die oft keine ausreichenden personellen und

1 BMBF-Förderrichtlinie: *Die Sprache der Objekte – Materielle Kultur im Kontext gesellschaftlicher Entwicklungen*, BAnz AT 11.04.2012 B1, AT 16.04.2013 B3 sowie AT 26.05.2017 B5

2 BMBF-Förderrichtline: *Digitalisierung von Objekten des kulturellen Erbes – eHeritage.* BAnz AT 22.06.2016 B1 und AT 13.05.2019 B3

strukturellen Mittel haben, um wichtige Bestände erhalten und erschließen zu können. Im wechselseitigen Austausch soll ihr Wissenspotenzial verstärkt und in universitär-museale Kooperationsnetzwerke eingebracht werden.

In diesem Sinne werden im Rahmen unseres BMBF-Verbundprojekts *Glas. Material, Funktion und Bedeutung zwischen 1600 und 1800 in Thüringen* seit September 2018 historische Glasobjekte von vier Thüringer Museen erfasst und erforscht. Dafür haben sich die Mineralogen der TU Bergakademie Freiberg, das Schloßmuseum Arnstadt und das Historische Institut, Abt. Frühe Neuzeit, der Justus-Liebig-Universität Gießen zu einer Kooperation zusammengeschlossen. Ziel ist es, die Glasproduktion und -nutzung im frühneuzeitlichen Thüringen kultur-, kunst- und wirtschaftsgeschichtlich sowie materialanalytisch zu untersuchen. Diese interdisziplinär angelegte Forschung ermöglicht einen beispielhaften regionalgeschichtlichen Einblick in die vorindustrielle Produktionspraxis, die ästhetische Orientierung sowie in den damaligen interregionalen europäischen Austausch.

Thüringen ist in administrativer Hinsicht ein relativ junges Gebilde, dessen Erstgründung sich in diesem Jahr zum hundertsten Mal jährt. Im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit bestimmten mehr als ein Dutzend gräfliche und fürstliche Familien die Geschicke Thüringens. Politisch und wirtschaftlich bedeutend unter ihnen war das um 1700 gefürstete Grafenhaus von Schwarzburg, auf dessen Territorium Glas von vergleichsweise herausragender Qualität entstand und in großem Umfang gehandelt und genutzt wurde. Daher sollen die Residenzen und Residenzstädte dieses Kleinstaates (Arnstadt, Sondershausen, Rudolstadt und Frankenhausen) besonders in den Blick genommen werden. Hinzu kommt, dass dieser Herrschaftsbereich, obwohl in sich stark zergliedert, über einen großen Zeitraum – über mehrere Generationen hinweg – weitgehend unverändert geblieben ist.

Anhand ausgewählter Objekte wird wirtschafts- und technikhistorischen Fragen zur Herkunft der Rohstoffe, zu den Verarbeitungs- und Herstellungsverfahren sowie zu den Vertriebswegen nachgegangen. Die kultur- und kunstgeschichtlich orientierten Fragen zielen auf die jeweilige Objektgestaltung und die Nutzungspraktiken vor Ort ab. Zugleich interessieren die auf schwarzburgischem Gebiet hergestellten und exportierten Glasobjekte, die sich heute auch andernorts nachweisen lassen.

Leitfragen für das Forschungsprojekt sind: Wie umfangreich war die Produktion von Glas? Welche Glasgegenstände wurden hergestellt? Welche Rohstoffe wurden dafür verwendet und woher wurden sie bezogen? Welche Schmelztechnologien kamen zum Einsatz? Welche Glasgegenstände wurden auf welche Art und Weise genutzt? Wie verteilt sich die Nutzung der verschiedenen Glasobjekte auf die einzelnen sozialen Schichten? Wie ist das Verhältnis zwischen selbstproduzierten, angekauften und geschenkten Glasobjekten? Welche Produkte wurden aus welchen Regionen zugekauft? Lässt sich zwischen 1600 und 1800 im kleinstaatlichen Schwarzburg eine europäische Vernetzung nachweisen? Welche ästhetische Wirkung haben Glasobjekte? Welche Bedeutung haben sie aufgrund ihrer Materialeigenschaften und wie zeigt sich Glas im kulturellen Gedächtnis?

Methodisch werden dafür Glasobjekte aus den Beständen der Museen und ihrer Depots in den ehemaligen Residenzschlössern des Schwarzburger Territoriums Sondershausen, Bad Frankenhausen, Rudolstadt und Arnstadt identifiziert, verzeichnet und ins Detail gehend erfasst. Vergleichend werden Grabungsfunde aus dem genannten Untersuchungszeitraum vom Gelände des ehemaligen Gasthauses „Goldner Löwe“ in Sondershausen („Kino-Brunnen“) und von der Glashütte Friedrichsrode[3] aus dem Bestand des Thüringer Landesamts für Archäologie und Denkmalpflege sowie aus Bürgerhäusern, einem Kloster und einer Abfallgrube an der Schlossruine Neideck in Arnstadt vergleichend hinzugezogen.

Zunächst sind es *Objektdaten*, wie die Maße und die Masse, die Wandstärke und – bei Gefäßen – das Füllvolumen einschließlich einer fotografischen Dokumentation, auch unter ultraviolettem Licht, die erfasst werden. Diese Daten sind spezifisch für das Objekt und ermöglichen dessen eindeutige Identifikation, aber auch das Dokumentieren möglicher Veränderungen, wie sie z. B. durch Korrosion bedingt auftreten können. Gleichzeitig werden *Primärdaten* erfasst, die den Aufbau und die Form, die Oberflächengestaltung und das Dekor des Glasobjekts beschreiben. Hinzu kommt die Inaugenscheinnahme von beabsichtigter oder ungewollter Färbung, Trübung und möglicher Einschlüsse in der Glasmasse, des konservatorischen Zustands des Objekts mit Angaben zur Glasfarbe bzw. seiner einzelnen Teile. Die Glasfarbe wird mittels der Munsell-Farbtafel[4] bestimmt, die Fluoreszenzfarbe zunächst nur verbal. *Primärdaten* sind alle die Daten, die aus wissenschaftlicher Sicht für die Beschreibung des Sammlungsobjekts notwendig sind und in ihrer Nomenklatur unabhängig vom jeweils einzelnen Objekt existieren. *Sekundärdaten* wie der CIEL*a*b*-Farbort,[5] die Photolumineszenz, der Glastyp oder auch Angaben zu farbgebenden Komponenten werden mit Hilfe mobil praktizierbarer optischer spektroskopischer Methoden – ebenfalls zerstörungsfrei – ermittelt. Sekundärdaten sind all die Daten, die für die Beschreibung des Sammlungsobjekts von Relevanz sind, aber erst – z. B. durch die Auswertung von Messdaten – abgeleitet werden müssen.

Die Analysen können aus konservatorischen und vor allem aus organisatorischen bzw. unter personellen Gesichtspunkten nur in den Depots und Ausstellungsräumen der Museen – und nicht in auswärtigen Laboren – durchgeführt werden. Ein Transport etwa nach Freiberg wäre zu aufwendig, da die Objekte sehr filigran sind, sorgfältigst verpackt werden müssten und trotzdem noch Bruchgefahr bestünde. Ein großer Teil der Objekte ist zudem maßgeblich in den Dauerausstellungen gebunden und kann nur während der Schließtage untersucht werden.

Die Methoden der optischen Spektroskopie haben sich heute so weit entwickelt, dass es möglich ist, quantitative Messungen auch mit mobilen Geräten durchzuführen. Im Rahmen unseres Projekts konnten ein UV-VIS-Hand-Spektrometer (CM-2600d, Konica-Minolta) und ein portables Raman-Spektrometer (XploRA™ PLUS, HORIBA Jobin Yvon) mit flexiblen, über Glasfaser verbundenen Messköpfen angeschafft werden. Auf den Einsatz mobiler Röntgenfluoreszenzanalytik, wie man es in der Archäometrie seit langem

3 Lappe, U.: *Eine Gläsnerhütte von Friedrichsrode, Kr. Sondershausen.* Ausgrabungen und Funde – Archäologische Berichte und Informationen, Akademie-Verlag Berlin, **28** (1983) 5, 247–252, Tafel 41-42, https://zs.thulb.uni-jena.de/receive/jportal_jpvolume_00217057

4 X-Rite: *Munsell Book of Color Glossy Collection* (https://munsell.com/color-products/color-communications-products/munsell-books-and-sheets/), sowie Munsell, A. H.: *Atlas of the Munsell color system.* Wadsworth, Bosten 1915

5 DIN EN ISO 11664-4

praktiziert, wurde bewusst verzichtet. Gläser sind aufgrund ihrer großen chemischen Vielfalt und den damit verbundenen unbekannten Selbstabsorptionseffekten eine große Herausforderung für die Auswertung der Messdaten solcher Objekte. Hierfür wäre eigentlich eine ganze Serie geeigneter Standards notwendig. Hinzu kommen mögliche Wechselwirkungen der Röntgenstrahlung mit dem Glas, die zwar kurzzeitiger Natur, aber nicht auszuschließen sind. Mögliche Folgen wären Farbveränderungen und/oder Trübungen im Messfeld.

Grundlage des UV-VIS-Handgeräts ist eine Ulbricht-Kugel, die eine gleichmäßige und allseitige Beleuchtung des Objekts durch einen Xenon-Blitz gewährleistet und gleichzeitig die totale Remission (diffuse Reflexion) in einem Wellenlängenbereich von 360–740 nm mit einer spektralen Auflösung von 10 nm bei einer lateralen Auflösung von 3 mm detektiert. Das Licht der Xe-Lampe ist mit einer Farbtemperatur von ca. 5000 K und einem UV-Anteil dem Tageslicht sehr ähnlich, wobei der UV-Anteil an der Strahlung der Lampen durch einen Filter absorbiert werden kann, um Spektren mit und ohne Fluoreszenz zu ermöglichen (UV-control). Aus diesen Spektren wird der CIE-L*a*b*-Farbort berechnet, in Ergänzung zum manuell bestimmten Munsell-Farbort. Das gewonnene Spektrum kann auch erste Aussagen zu färbenden Ionen bzw. zur Farbursache erlauben.[6]

Die Ramanspektroskopie hat seit zwei Jahrzehnten im Bereich antiker und historischer Gläser breite Anwendung gefunden.[7,8,9] Das für dieses Projekt verwendete Raman-Spektrometer arbeitet mit einem grünen und einem roten Laser bei 532 bzw. 638 nm und mit einer lateralen Auflösung von 50–100 µm. Dadurch ist das Probenvolumen, das mit der

Inv.-Nr. KG 250, Foto: Helmut Röttig, Sondershausen © Schlossmuseum Sondershausen

Abb. 2: Schwarzburger Willkomm, Schlossmuseum Sondershausen

Inv.-Nr. G060, Foto: Thomas Wolf, Gotha, © JLU Gießen

Abb. 3: Deckelflöte, Thüringer Landesmuseum Heidecksburg

Laserstrahlung wechselwirkt, sehr klein und mögliche Schädigungen wären nicht sichtbar. Aber auf Grund der geringen Energie des sichtbaren Lichtes von ca. 2 eV, im Gegensatz zu Röntgenstrahlung mit ca. 10 keV, und der geringen Leistung sowie der kurzen Expositionszeit sind Strahlschäden nahezu ausgeschlossen. Die flexiblen Messköpfe ermöglichen es, gezielt verschiedene ausgewählte Positionen zu analysieren. Dies ist besonders bei komplexen Objektformen und -typen notwendig.

Quantitative glaschemische Analysen können aufgrund der historischen und kulturellen Bedeutung der Objekte nicht durchgeführt werden, da sie in der Regel nicht zerstörungsfrei und mit einem Transport in ein Labor verbunden sind.

Kleinere Objekte, wie Scherben oder Perlen, werden ergänzend im Rasterelektronenmikroskop untersucht, um zerstörungsfrei und halbquantitativ deren chemische Zusammensetzung zu bestimmen und auch Korrosionserscheinungen zu untersuchen und um die Gläser entsprechend in vorhandene Datensammlungen[10] einzuordnen.

Von uns selbst aufgesammelte Scherben von der Glashütte bei Friedrichsrode, Kyffhäuserkreis, ermöglichen auch zerstörende thermoanalytische Untersuchungen[11], etwa zu Schmelztemperaturen des Materials und vor allem zu den für die Glasschmelzen verwendeten Läutermitteln.

Untersucht wurden bisher Fensterglas, Leuchter, Spiegel, Möbel mit gläsernen Applikationen sowie Artefakte der Alltags-, Sammlungs- und Festkultur. Dazu gehören Trink- und Essgeschirr, Scherzgläser *(Abbildung 2)*, Tafelaufsätze *(Abbildung 1)*, repräsentative Pokale *(Abbildung 3)*, Toiletten-, Medizin-, Apotheken- und Laborglas *(Abbildung 4)*. Nicht zuletzt wurden auch wissenschaftliche Geräte und Apparaturen mit Linsen und anderen Gläsern sowie das Glas aus der Miniaturstadt Mon Plaisir untersucht. Die auf der Kleidung der Figurinen applizierten Perlen können mit den Ergebnissen der Analysen aus dem „Roten Schmelzzimmer“ verglichen werden.

Parallel dazu wird anhand von Archivalien und von Literatur die Tätigkeit der Schwarzburger Glashütten nachvollzogen,

6 Meulebroeck, W. u. w.: *The potential of UV-VIS-NIR absorption spectroscopy in glass studies*. In: Thienpont, H. Wendy Meulebroeck, W., Nys, K., Vanclooster, D. (Hg.) *Integrated Approaches to the Study of Historical Glass*. SPIE (2012) 63–73. https://doi.org/10.1117/12.975684

7 Colomban, P.: *Raman spectrometry, a unique tool to analyse and classify ancient ceramics and glasses*. Applied Physics A: Materials Science and Processing, **79** (2004) 167–170

8 Dubessy, J., Caumon , M.-C., Rull, F.: *Raman Spectroscopy Applied to Earth Sciences and Cultural Heritage*. The Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, **12**, 2012

9 Colomban, P.: *Non-Destructive Raman Analysis of Ancient Glasses and Glazes*. In: Janssens, K. (Hg.) *Modern Methods for Analysing Archaeological and Historical Glass*, John Wiley & Sons, Ltd., (2013) 275–300

10 Brill, R. H., Stapleton, C. P.: *Chemical Analyses of Early Glasses*. Vol. 1–3, The Corning Museum of Glass (1999, 2012)

11 Heide, K., Gerth, K., Hartmann, E.: *The detection of an inorganic hydrocarbon formation in silicate melts by means of a direct-coupled-evolved-gas-analysis-system (DEGAS)*. Thermochimica Acta, **354** (2000) 165–172

die Herkunft der Rohstoffe sowie der Akteure der Glasproduktion erforscht sowie der lokale, regionale, überregionale und transnationale Markt mit seinen Zwischenhändlern untersucht. Darüber hinaus werden die Objektpraktiken in Schlössern, Kirchen, Wohnhäusern oder Apotheken und Laboren rekonstruiert.

Erste Ergebnisse zum kulturgeschichtlichen Fragenbereich wurden aus einer statistischen Auswertung[12] und einem zeitgenössischen Traktat über die Glasproduktion im Thüringer Wald gewonnen.[13] Dieses hatte der Pfarrer der Gehlberger Glashütte nach vielen Gesprächen mit Glasmachern und Besichtigungen der Glashütte 1780 veröffentlicht. Es zeigte sich, warum in den Höhenlagen des Thüringer Waldes, in denen Glashütten gegründet wurden, unter den Glasmachern vor allem familiäre Bande bestimmend waren. Die Territorien waren klein und die Anzahl der Meister in einer Glashütte (zwei bis sechs) so groß, dass sie den durchschnittlichen Zunftgrößen gleichkam, diese Meister aber wirtschaftlich erheblich abhängiger voneinander waren.

Durch die Praxis der Erbteilung stieg nach 1700 die Zahl der Anteilseigner in den Hütten allerdings auf oft mehr als zwölf Personen an. So stand dem einzelnen Meister in einer zwölfständigen Hütte, wie sie im Thüringer Wald häufig errichtet wurde, nicht einmal mehr ein ganzer Glashafen für seine Arbeit zur Verfügung. Um ihren Lebensunterhalt zu bestreiten, gründeten die Glasmeister in dieser Zeit Nebenhütten. Auch hier ließen sich die Glasmacher nicht durch die territoriale Zersplitterung im Thüringer Wald beeinflussen. Sie gründeten mit Erlaubnis des jeweiligen Fürsten weiterhin dort ihre Hütten, wo sie die besten Konditionen aushandeln konnten und das Holz als entscheidender Wirtschaftsfaktor günstig und in ausreichender Menge zur Verfügung stand. Die größten Konkurrenten um das Holz waren Flößer, Bergwerke und metallurgische Hütten, Schmieden und Hammerwerke und im 18. Jahrhundert bereits auch mit zwei großen Befallsereignissen der Borkenkäfer. Ein weiterer Wirtschaftsfaktor war der Sand, der möglichst

Inv.-Nr. IV - 1335, Foto: Thomas Wolf, Gotha © JLU Gießen

Abb. 4: Kanzeluhr, Regionalmuseum Bad Frankenhausen

nur aus wenigen Kilometern Entfernung geholt wurde. Für die Grundversorgung mit Lebensmitteln durch Feldbau und Viehwirtschaft in den entlegenen Gebieten des Thüringer Waldes brauchten die Glasmacher ausreichend Land im Umfang von mindestens 60 Ackern (etwa 2 Hektar) pro Hütte. Bier musste bei der Arbeit am Glasofen wegen der unsäglichen Hitze in großen Mengen getrunken werden. Da Wasser in der Frühen Neuzeit aus hygienischen Gründen nicht getrunken wurde, erstritten und erhielten die meisten Glashütten das Braurecht und handelten Steuerfreiheit oder nur geringe Steuern auf das Bier aus. Vielerorts konnten sie sich von weiteren Steuern befreien lassen, manchmal auch vom Heeresdienst und von Einquartierungen.

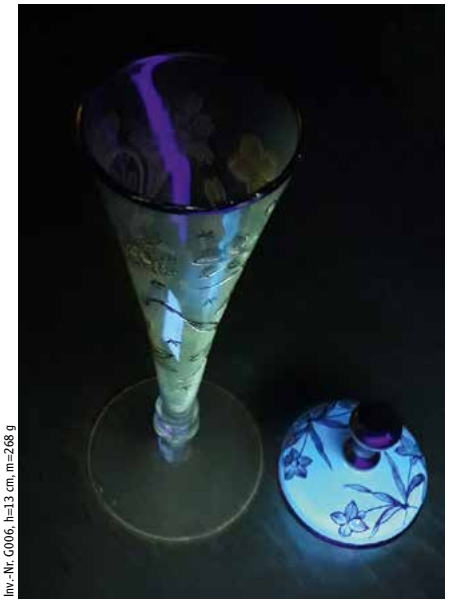
Die Öfen im Thüringer Wald der Frühen Neuzeit waren keine provisorischen ad-hoc Gebilde mehr, sondern technisch ausgefeilte, vorindustrielle Anlagen. Die Kombination von Schmelz- und Kühlofen hatte wohl eine höhere Effizienz als die Öfen des Mittelalters und vieler anderer Öfen in der Frühen Neuzeit. Sie konnten nicht mehr von jedem Maurer aus beliebigem Stein gesetzt werden. Für die Wartung der Anlagen wurden laut Hochgesang die einzelnen Abschnitte den verschiedenen Glasarbeitern – je nach Arbeitsgebiet, Ausbildungsstand und Wichtigkeit – fest zugeteilt. Die Hütte, wenn auch immer noch aus Holz errichtet, wurde so konstruiert, dass sich möglichst keine Hitze im Deckengebälk stauen konnte und sie damit weniger brandanfällig war. Trotzdem musste ein Hüttenbrand wirtschaftlich immer einkalkuliert werden, das Risiko eines Brandes im 18. Jahrhundert lag bei den Glashütten im Thüringer Wald – statistisch gesehen – noch immer bei etwa 17 Prozent ihrer Betriebszeit.

Alle Hütten stellten Hohlglas her; manche hatten ein sehr breites Portfolio und produzierten alle nur denkbaren Glasobjekte in verschiedenen Glasqualitäten und -farben in ihren Glashäfen. Andere hatten ein sehr schmales Portfolio und machten nur „Stuhlarbeit“, also feine Trinkgläser, deren komplizierte Formen die geschicktesten Glasmacher durch Zuarbeit andere Glasarbeiter auf einem speziellen Arbeitsstuhl sitzend herstellten. Laut Kühnert stellten zumindest drei Glashütten im Thüringer Wald Flachglas im sogenannten Zylinderblasverfahren her, bei dem, wie der Name bereits andeutet, eine lange Blase hergestellt wurde, aus der durch Abtrennen der gerundeten Enden ein Zylinder entstand und durch dessen Aufschneiden der Länge nach – zuletzt in einem mit Eisenplatten ausgelegten speziellen Kühlofen – das Tafelglas gewonnen wurde. Unter den färbenden Rohstoffen gab es verschiedene, die einander ähnliche Farbtöne erzeugten.[14] Bei Grün und Blau gab es sogar jeweils drei Varianten. Diese wurden von Hochgesang – je nach dem Wert ihres Ausgangselements – sprachlich wie folgt klassifiziert: Während Kobaltoxid und Braunstein lediglich *„blaues Glas“* ergaben, machte oxidiertes oder in Essigsäure aufgelöstes Messingblech *„angenehmes Blau“*; Silber – der nach Gold teuerste Zusatz – sollte ein *„schönes Blau“* hervorbringen. Silber färbt als Kolloid allerdings Gelb. Rubinglas dagegen war durch den Zusatz von Gold so

12 Kühnert, H.: *Urkundenbuch zur thüringischen Glashüttengeschichte und Aufsätze zur thüringischen Glashüttengeschichte.* Hrsg. von Saldern, A. v., Franz Steiner Verlag, Wiesbaden 1973

13 Hochgesang, G. L.: *Historische Nachrichten von Verfertigung des Glases.* Gotha (1780) 15–24. https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/dlf/9061/1/

14 Krünitz, D. J. G.: *Oekonomische Enzyklopädie oder Allgemeines System der Staats- Stadt- Haus- und Landwirtschaft, in alphabetischer Ordnung.* Berlin Bd. 18 (1773–1858) Sp. 602



Inv.-Nr. G006, h=13 cm, m=268 g

Abb. 5: Deckelpokal im UV-C-Licht, Schloßmuseum „Neues Palais“ Arnstadt

kostbar, dass es ein gern präsentiertes Prachtstück für Kunstkammern wurde – u. a. auch, weil man dem tiefdunkelroten Glas giftabwehrende Kräfte zuschrieb. Die häufigsten Dekore sind durch Bemalung aufgebracht, eingeschliffen oder „eingeschnitten“. Unter Glasschnitt versteht man eine Art oberflächliche bis leicht plastische, motivische Gravurkunst, die in Thüringen im 18. Jahrhundert mit großer Kunstfertigkeit ausgeübt wurde. Beim Glasschliff hingegen wird die Oberfläche oder auch die äußere Form des Objekts entscheidend verändert.

Materialwissenschaftlich sind in den Museen bisher 700 Glasobjekte untersucht worden. Die UV-Lumineszenzfarbe ergab die ersten Fragen. Bei einigen Objekten stellte sich heraus, dass der Pokal und der dazugehörige Deckel verschiedenes Verhalten zeigte *(Abbildung 5)*. Es entstehen Fragen an die Arbeitsteilung bzw. Objektgeschichte. Hat der Handwerker, der den Glasschnitt anlegte, seine Pokale und Deckel von verschiedenen Hütten bezogen? War es eine Glashütte, in der in einem Hafen die Pokale und in einem anderen Ofen die Deckel mit verschiedenem Gemenge hergestellt wurden? Unterschieden sich die Gemenge möglicherweise durch ihren Anteil an Altscherben? Oder ist der ursprüngliche Deckel im Laufe der Sammlungsgeschichte kaputt oder verloren gegangen und ein ähnlicher, passender wurde später zugeordnet?

Erste Untersuchungen mit der Ramanspektroskopie zeigen bereits deutliche Unterschiede zwischen den Gläsern

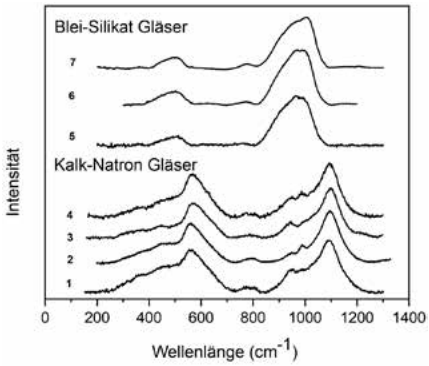


Abb. 6: : Raman-Spektren verschiedener Kalk-Natron- und Bleigläser des Projektes und jeweils eines Referenzglases (1 bzw. 5)

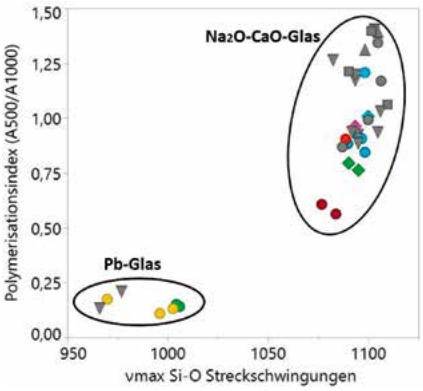


Abb. 7: Klassifikation der Gläser mit den Parametern I_p = A500/A1000 (Polymerisationsindex) und ν_{max} (Lage der Streckschwingung) der Raman-Spektren

(Abbildung 6), die daher verschiedenen Glastypen zuzuordnen sind *(Abbildung 7)*.

Die Gesamtleitung des Projekts hat Annette C. Cremer (Gießen) inne, die zugleich das kulturwissenschaftliche Teilprojekt leitet. Das naturwissenschaftliche Teilprojekt der TU Bergakademie Freiberg steht unter der Leitung von Gerhard Heide. Zentraler Kooperationspartner ist das Schlossmuseum Arnstadt (Kulturbetrieb der Stadt Arnstadt), das von Antje Vanhoefen geleitet wird. Sie befasst sich im Rahmen des Projekts mit der höfischen Nutzung von Glasobjekten. Das Projekt wird koordiniert von Anna-Victoria Bognár (Gießen), die zugleich die Archivalien zur Schwarzburger Glasproduktion bearbeitet. Yamna Ramdani (Freiberg) ist zuständig für die materialwissenschaftliche Analyse der Glasobjekte. Judith Thomann (Gießen) befasst sich mit Glasobjekten in Sammlungen. Carolin König (Gießen) ist zuständig für Flachglas und medizinische Glasobjekte. Torsten dos Santos Arnold (Gießen) bearbeitet die europaweiten Warenströme und Rohstoffe der Glasherstellung und Sabine Tiedtke (Gießen) untersucht die Oberflächen der Glasobjekte. Über die dreijährige Laufzeit wird das Projekt vom BMBF mit knapp 1 Million Euro gefördert.

Erste Zwischenergebnisse wurden auf der Tagung *Glasobjekte im höfischen Kontext. Produktion, Nutzung und Wirkung in der Frühen Neuzeit (1500–1800)* auf Schloss Heidecksburg in Rudolstadt vom 21. bis 23. November 2019 vorgestellt. Die Tagungsergebnisse werden demnächst als Sammelpublikation in der Reihe „Höfische Kultur Interdiszisplinär“[15] erscheinen. Auf der Projekt-Homepage[16] wird monatlich ein Objekt aus den untersuchten Beständen präsentiert und mit Erläuterungen versehen. Momentan wird eine digitale Ausstellung in Verbindung mit musealen Kabinettsausstellungen für das Jahr 2021 vorbereitet.

Danksagung: Die Arbeitsgruppe dankt dem BMBF für die finanzielle Förderung sowie dem DLR Projektträger „Gesellschaft, Innovation und Technologie“ für die Begleitung des Projektverlaufs. Herrn Dr. Ulf Kempe und M.Sc. Tom Schuffenhauer, Institut für Mineralogie, danken wir für die Unterstützung bei der Inbetriebnahme des Ramanspektrometers, Herrn Privatdozenten Dr. Martin Kilo, Institut für Keramik, Glas und Baustoffe, TU Bergakademie Freiberg, für die zahlreichen Gespräche zur Glastechnologie und Glaschemie, Herrn Dipl. Mus. Peter Steinhardt, Untere Denkmalschutzbehörde Kyffhäuserkreis, für die Hinweise und Anregungen zur Glashütte Friedrichsrode, den Kollegen vom Thüringer Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie in Weimar für die Möglichkeit der Arbeit mit den Grabungsfunden sowie den Museumsdirektoren Frau Dr. des. Carolin Schäfer, Sondershausen, Herrn Dr. Hahnemann, Regionalmuseum Frankenhausen und Herrn Dr. Lutz Unbehauen, Heidecksburg Rudolstadt, und ihren Mitarbeitern für die großzügige Unterstützung bei der Arbeit in den Ausstellungs- und Depotträumen.

Die Fotografien wurden, soweit nicht anders angegeben, von Herrn Thomas Wolf (Gotha) angefertigt.

Kontakt: Dr. Anna-Victoria Bognár,
Anna-Victoria.Bognar@geschichte.uni-giessen.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen 01U01829B

glas
Material, Funktion und Bedeutung in Thüringen zwischen 1600 und 1800

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
TU BERGAKADEMIE FREIBERG
KULTURBETRIEB DER STADT ARNSTADT

15 In: Heidelberg University Publishing, https://heiup.uni-heidelberg.de/series/info/hki
16 https://objekt-glas.de/de/

Das Erzgebirge vor 320 Millionen Jahren, Migration von Fledermäusen und mittelalterliche Gräber – Isotope machen verdeckte Spuren sichtbar

Marion Tichomirowa

Das isotopengeochemische Labor ist am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg angesiedelt und besteht seit 1959. Mittels Massenspektrometrie werden hier Isotopenverhältnisse einiger Elemente bestimmt, die verdeckte Spuren in der Geschichte von Mineralen sichtbar machen können.

In der Natur gibt es ca. 3.000 Isotope, von denen ca. 240 stabil sind. Letztere sind solche, die nicht radioaktiv sind und daher nicht zu anderen Elementen zerfallen. Die ca. 25 geowissenschaftlich ausgerichteten Isotopenlabore in Deutschland können daher nur einen kleinen Teil der natürlichen Isotope untersuchen, wobei sich jedes Labor auf bestimmte Elemente konzentriert. Die Größe der eingesetzten Massenspektrometer wächst mit der Massen-Nummer der Isotope: Bei den leichten Wasserstoff-Isotopen kommen sehr kleine Tisch-Geräte zum Einsatz, während schwere Isotope (wie z. B. die des Urans, des Bleis oder des Strontiums) nur an großen Massenspektrometern *(Abbildung 1)* gut bestimmt werden können. Das Freiberger isotopengeochemische Labor am Institut für Mineralogie hat sich auf die schweren Isotope spezialisiert und betreibt als eines von wenigen Laboren weltweit die hochpräzise Uran-Blei-Methode, mit der das Alter von Gesteinen sehr genau bestimmt werden kann.

Zeitreise durch das Erzgebirge vor 320 Millionen Jahren mittels der Uran-Blei-Datierung

Die Geschichte von Gesteinen zu erforschen, bedeutet, die Abfolge der geologischen Prozesse, denen sie unterworfen waren, zu verstehen. Mit einem unserer derzeitigen Projekte begeben wir uns auf eine Zeitreise durch Sachsen: Wir wollen verstehen, was in Sachsen vor ca. 320 bis 300 Millionen Jahren geschah. Zu dieser Zeit bildeten sich sehr häufig Gesteins-Schmelzen (Magmen), die sich aus der Tiefe der Erde in Richtung Oberfläche bewegten. Einige dieser Schmelzen blieben in einigen Kilometern Tiefe „stecken“ und gelangten erst später durch Abtragung an die Oberfläche (z. B. die Granitkörper von Kirchberg, Bergen, Eibenstock, Niederbobritzsch), während andere bis zur Oberfläche durchbrachen und dort zu Vulkanausbrüchen führten (z. B. der

Abb. 1: Thermionen-Massenspektrometer im Freiberger Isotopenlabor, Baujahr 2018. Dieses Gerät wird z. B. für die hochpräzise Altersbestimmung von Gesteinen eingesetzt.

Tharandter Vulkanitkomplex oder die Altenberg-Teplice-Vulkanite). Schon mehr als 100 Jahre lang ist bekannt, dass diese magmatischen Gesteine eine bedeutende Rolle bei der späteren Bildung der Erzlagerstätten des Erzgebirges spielten. Auch heute wird immer noch kontrovers diskutiert, warum vergleichbare magmatische Gesteine in einigen Gegenden zur Ausbildung von Erzlagerstätten führten, in anderen jedoch nicht. Daher ist es äußerst wichtig zu wissen, ob verschiedene magmatische Schmelzen zur gleichen Zeit an verschiedenen Orten entstanden sind oder ob es eine zeitliche Reihenfolge ihrer Bildung gibt. Hier nun kommen die radioaktiven Isotope ins Spiel, die zur radiologischen Altersbestimmung genutzt werden: Diese „Uhren“ können uns das Bildungsalter der Gesteine anzeigen. Beispielsweise ermöglicht es die Uran-Blei-Datierungsmethode, die Zeit der Schmelzenbildung zu ermitteln (z. B. vor 320 Millionen Jahren, abgekürzt 320 Ma). Schon die altvorderen Geologen unterteilten die Granite des Erzgebirges in zwei Gruppen:

a) Gebirgsgranite und
b) Erzgebirgsgranite.[1]

Mehrere Forscherteams bestimmten in den letzten 30 Jahren mithilfe radiologischer „Uhren“ die Bildungsalter verschiedener Magmen des Erzgebirges. Es gelang dadurch aber nicht, ein konsistentes Bild von der Abfolge der Granitentstehung zu erhalten. *Abbildung 2* zeigt die großen Granitkörper des West-Erzgebirges auf einer Karte und deren Zuordnung zu den beiden

1 z. B. Laube, 1876

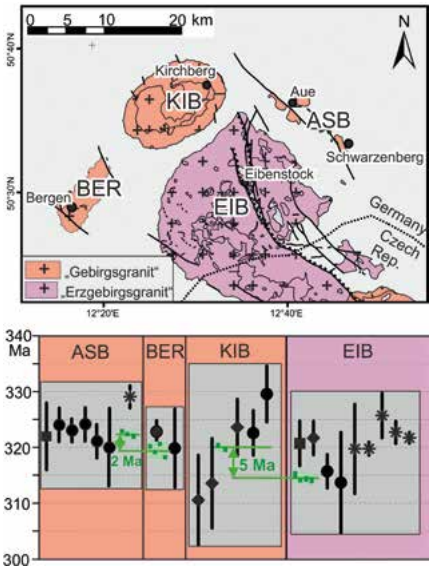


Abb. 2: *Oben:* Lage der Granite des West-Erzgebirges mit ihrer jeweiligen Zuordnung zu den „Gebirgs“- bzw. „Erzgebirgs-Graniten“ (nach Laube, 1876).

Unten: Ergebnisse der Altersdatierung dieser Granite. Die Zeit ist auf der vertikalen Achse in Millionen Jahren (Ma) angegeben. Schwarze Symbole zeigen die ermittelten und publizierten Altersangaben mit ihren Fehlern (Fehler sind durch vertikale schwarze Linien angegeben); graue Felder zeigen die Gesamt-Variation dieser Altersbereiche für jeden der vier Granitkörper an. Als dunkelgrüne kleine Quadrate sind die Altersangaben mit jenen Fehlern dargestellt, die mit der hochpräzisen Uran-Blei-Datierungsmethode im Freiberger Isotopenlabor bestimmt worden sind (Tichomirowa et al., 2019). Die hellgrün hinterlegten Felder zeigen die Gesamt-Variation dieser im Grunde hochpräzisen Altersangaben für jeden der vier Granitkörper. Diese präzisen Datierungen erlauben es erstmals, die Reihenfolge der Entstehung dieser Granitkörper zu rekonstruieren. Die Altersdifferenzen zwischen den Granitkörpern sind in Millionen Jahren (grün) angegeben.

Granitgruppen (oberes Bild) sowie radiologische Altersdatierungen, die mittels der Uran-Blei-Methode realisiert werden konnten (unteres Bild). Die ermittelten Altersbereiche (hellgrau hinterlegt in der unteren Grafik in *Abbildung 2*, gezeigt sind die Mittelwerte der Altersangaben mit ihren Fehlern) für die vier Granitkörper überlappen sich und geben so keinen Hinweis auf eine zeitliche Abfolge. Um Zeitunterschiede feststellen zu können, werden Datierungsmethoden mit deutlich kleineren Fehlern benötigt.

Das Freiberger isotopengeochemische Labor praktiziert als eines von wenigen Laboren weltweit die hochpräzise Uran-Blei-Methode, mit der Bildungsalter 10-mal

genauer bestimmt werden können.[2] Diese Datierungsmethode ermöglichte vollkommen neue Erkenntnisse (grüne Zeichen im unteren Teil von *Abbildung 2*), nämlich erstens, dass die Schmelzen dieser vier Granite in geologisch kurzen Zeiträumen in die sie umgebenden Gesteine eindrangen (innerhalb von nur ein bis zwei Millionen Jahren), und zweitens konnte die zeitliche Abfolge der Granitbildung rekonstruiert werden: zuerst drangen die Granite von Aue-Schwarzenberg in die Erdkruste, nach ca. zwei Millionen Jahren „Ruhepause" folgten der Bergener und der Kirchberger Granit, während der Eibenstocker Granit noch einmal fünf Millionen Jahre später gebildet wurde. Somit ist das West-Erzgebirge eine der wenigen Regionen, für die der Ablauf der Geschichte der Schmelzenproduktion vor ca. 320–310 Ma präzise rekonstruiert werden konnte.[3] Wir führen derzeit vergleichbare Untersuchungen im Ost-Erzgebirge und in der Lausitz durch, um die geologische Geschichte dieser Regionen mit der des West-Erzgebirges zu vergleichen.

Strontium-Isotope als geografische Marker

Von den vielen in der Natur existierenden Isotopen konzentrieren wir uns außer auf die Uran-Blei- auf die Strontium-Isotope. Gesteine können auf Grund ihres Alters und ihrer chemischen Zusammensetzung sehr unterschiedliche Strontium-Isotopenverhältnisse ($^{87}Sr/^{86}Sr$) aufweisen, so dass selbst kleine $^{87}Sr/^{86}Sr$–Unterschiede analytisch einfach nachweisbar sind. Der Boden und das Grundwasser übernehmen die $^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnisse der darunterliegenden Gesteine. Das Strontium aus dem Boden und dem Grundwasser wird von Tier und Mensch über die Nahrung aufgenommen und in Knochen und Zähne eingebaut. Somit stellt die Strontium-Isotopie einen geografischen Marker bereit: Wenn sich Mensch und Tier lokal ernährt haben, widerspiegeln die $^{87}Sr/^{86}Sr$-Verhältnisse der Zähne und der Knochen die Sr-Isotopensignatur dieser Region, so dass Migrationen von Menschen und Tieren untersucht werden können.

Migration von Fledermäusen

Für das Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin untersuchten wir Felle von Fledermäusen auf ihre Strontium-Isotopie *(Abbildung 3).* Einige

Abb. 3: Zur Strontium-Isotopen-Analyse wird ca. 1 Milligramm vom Fell einer Fledermaus benötigt.

Fledermaus-Arten sind erst seit kurzem bekannt. Fledermäuse können lange Strecken über die Meere zurücklegen und auch sehr hoch in der Luft fliegen (sogar in der Troposphäre). Die Lichtflut der großen Städte, der intensive Flugverkehr und viele andere menschliche Aktivitäten schränken den Lebensraum dieser Tiere ein und führen zu Veränderungen ihrer Gewohnheiten. Die Sr-Isotopie soll in Kombination mit anderen Untersuchungsmethoden mehr Aufschluss über evtl. geänderte Migrationspfade der Fledermäuse geben. Momentan lassen sich die gewonnenen Daten noch nicht ganz zufriedenstellend interpretieren; daher wird dieses Projekt mit dem Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin fortgeführt.

Migration im Mittelalter: Woher kamen die ersten Berliner?

Ein weiteres Forschungsprojekt besteht in Form einer Kooperation mit Geschichtswissenschaftlern der Humboldt-Universität zu Berlin, forensischen Genetikern der Charité Berlin und Osteologen, die unter der Leitung der Archäologin Claudia Melisch der Frage nachgehen, woher die ersten Bewohner von Berlin/Cölln kamen: waren es Personen aus der näheren Umgebung des heutigen Berlins oder gab es eine Umsiedlung aus anderen Gebieten?

Mitten in Berlin, am Petriplatz, wo über Jahrhunderte die Petrikirche stand, hat man bei Ausgrabungen mehrere Tausend Skelette geborgen, die bis in das 11. Jahrhundert zurückdatiert wurden. Auch hier kann die Strontium-Isotopie einen klärenden Beitrag leisten: Vergleicht man die Sr-Isotopie der ältesten Skelette aus dem 11. Jahrhundert mit dem regionalen Wert, so kam wahrscheinlich nur ein Drittel der Personen aus Berlin und Umgebung. Ein weiteres Drittel weist leicht erhöhte $^{87}Sr/^{86}Sr$-Werte im Zahnschmelz auf. Diese Personen müssen daher zugewandert sein. Momentan können wir aber dieses $^{87}Sr/^{86}Sr$–Signal noch nicht eindeutig einer Region zuordnen. Das restliche Drittel der

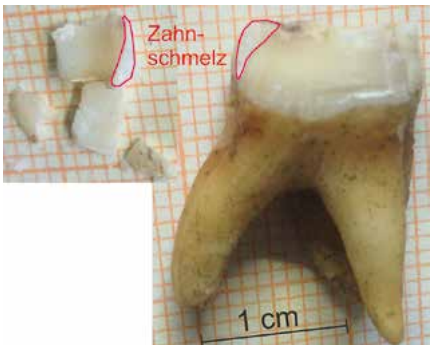


Abb. 4: An Zähnen wird nur der Zahnschmelz (die äußerste weiße Schicht des Zahnes) analysiert, die in der Regel nur 1 mm dick ist.
Rechtes Bild: Zahn mit Wurzel.
Linkes Bild: Zur Analyse abgesägter Zahnschmelz.
In beiden Bildern ist die Sägefläche der Proben rot markiert.

Personen weist in seinem Zahnschmelz sehr deutlich abweichende $^{87}Sr/^{86}Sr$-Werte auf und muss daher aus ferneren Gegenden stammen. Migration spielte also auch schon im Mittelalter eine erhebliche Rolle. Erstaunlich ist, dass am Petriplatz gefundene Zähne von Schweinen und Schafen ganz andere Sr-Isotopenwerte aufweisen als die der Menschen *(Abbildung 4).* Das kann damit erklärt werden, dass diese Tiere aus anderen Gebieten (z. B. aus Gebirgsregionen) nach Berlin/Cölln gebracht und dort gehandelt wurden.

Im Frühjahr 2020 fand in Berlin ein Treffen mehrerer, zu diesem Thema international ausgewiesener Forscher statt, die sich intern zu den von ihnen erzielten Forschungsergebnissen austauschten. Das für den 14. März 2020 geplante öffentliche internationale Kolloquium musste jedoch leider (wegen des Lockdowns) abgesagt werden. Wir werden weiter an diesem Thema forschen und hoffen, die Frage der Herkunft der frühesten Berliner rekonstruieren zu können.

Quellen:

Laube, G., 1876. Geologie des Böhmischen Erzgebirges. Comm. Verl. Fr. Rivnac.

Matschullat J., Käßner A., Pleßow A., Tichomirowa M. (2018): Geochemische Analytik – die Forensik der Geowissenschaftler. ACAMONTA 2018, 50–55.

Tichomirowa M., Käßner, A., Sperner, B., Lapp, M., Leonhardt, D., Linnemann, U., Münker, C., Ovtcharova, M., Pfänder, J. A., Schaltegger, U., Sergeev, S., von Quadt, A., Whitehouse, M. (2019): Dating multiply overprinted granites: the effect of protracted magmatism and fluid flow on dating systems (zircon U-Pb: SHRIMP/SIMS, LA-ICP-MS, CA-ID-TIMS; and Rb-Sr, Ar-Ar) – granites from the Western Erzgebirge (Bohemian Massif, Germany). Chemical Geology 519, 11–38.

2 vgl. Matschullat et al., 2018
3 Tichomirowa et al., 2019

Roboter für das Wasser der Zukunft

Lisa Jarosch[1], Sebastian Pose[2], Stefan Reitmann[3], Otto Dreier[4], Gero Licht[3], Eric Röder[5]

Die trockenen Jahre 2018 und 2019 stellten Gewässer in Deutschland vor eine neue Belastungsprobe. Auch in Sachsen gibt es viele Binnengewässer, die der Trink- und Brauchwassergewinnung, der Fischerei, dem Hochwasserschutz sowie der Bewahrung der ökologischen Vielfalt dienen.

In zahlreichen Klimaprognosen für den Freistaat Sachsen werden immer längere Trockenperioden prognostiziert, unterbrochen von verstärkten Extremniederschlagsereignissen im Sommer (Beispiele: Hochwässer 2002 oder 2013)[6]. Dies führt zu neuen Herausforderungen bei der Gewährleistung der Versorgungssicherheit, vor allem an Trinkwasser, aber insbesondere auch bei der Wasserbeschaffenheit. Umfassende Gewässermonitoringmaßnahmen sind erforderlich, die derzeit nur mit hohem personellem Aufwand und Kosten umgesetzt werden können. Zudem können Aussagen zum Gewässerzustand aktuell nur punktuell an einzelnen Messstationen getroffen werden. Dies hat zur Folge, dass seeinterne Prozesse nicht umfassend verstanden sind. Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser, sowie Austritte klimarelevanter Gase aus den Seesedimenten haben Einfluss auf die Hydrochemie des Wassers und das Klima.

Entwicklung zur autonomen Gewässergüteuntersuchung

Die ESF-Nachwuchsforschergruppe RoBiMo (Robotergestütztes Binnengewässer-Monitoring) ist ein interdisziplinäres Team an der TU Bergakademie Freiberg. Die Gruppe nahm Anfang Januar 2020 ihre Arbeit an einer ganzheitlichen technischen Lösung zur regelmäßigen, kontinuierlichen, automatisierten, 3D-ortsaufgelösten und multisensorischen Gewässererfassung auf *(Abbildung 1)*.

Ziel ist es, in Binnengewässern aller Art, darunter Talsperren und gefluteten Tagebauseen, ein besseres Verständnis der Gewässerdynamik in Folge von jahreszeitlichen Schwankungen und Extremwetterereignissen zu gewinnen. Dazu soll der bestehende Schwimmroboter „Elisabeth“ mit einem erweiterten modularen Sensorsystem auf der Trägerplattform „ferdinand“ ausgestattet werden. Dieses System wird Gewässer autonom mit Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und Pfadplanung teilweise bzw. komplett tiefenaufgelöst vermessen.

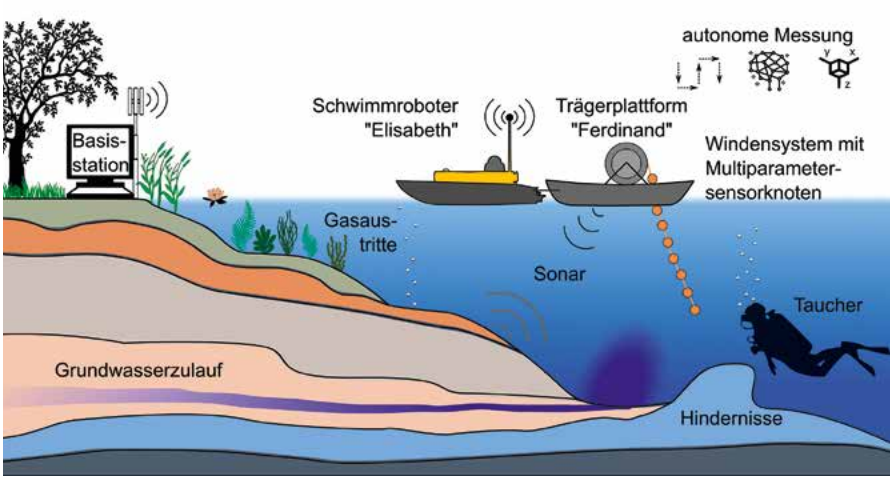


Abb. 1: Schematische Darstellung von Untersuchungen mit dem Schwimmroboter „Elisabeth“ und der modularen Plattform „ferdinand“ zur autonomen, dreidimensionalen, multisensorischen Erfassung von Binnengewässern, sowie der Validierung der Ergebnisse durch wissenschaftliche Taucher und deren Darstellung mit Methoden der künstlichen Intelligenz. Plattform und Schwimmroboter sind Eigen- bzw. Weiterentwicklungen der TU Bergakademie Freiberg.

Das Sensorsystem dient drei unabhängigen Aufgaben:

1. Dreidimensionale Erfassung des Gewässerkörpers, einschließlich seiner Sedimente durch SONAR-Technik,
2. Tiefenaufgelöste und simultane Erfassung hydrophysikalischer und -chemischer Parameter mit einer Kette von Sensorknoten, wovon jeder eine Vielzahl an Wassergüteparametern erfasst (hydrographische Profile), sowie
3. Messung der Gewässerrespiration mit Infrarot-Spektrometrie und automatischer Probenahme.

Die Ausstattung des Roboters, die Entwicklung der KI sowie die virtuelle Darstellung der Daten wird durch das Projekt AIRGEMM am Institut für Informatik der TU Bergakademie Freiberg realisiert. Diese Daten werden in Bezug auf Umweltkartierung und -überwachung ausgewertet. Die aus Ultraschallkartierungen gewonnene 3D-Punktwolke wird durch die Analyse maschinellen Lernens nach Objekttypen klassifiziert und bildet die Grundlage für die Pfadplanung.

Mit Innovationen ins kalte Nass

Die bei RoBiMo eingesetzte SONAR-Technik erfasst den Gewässeruntergrund dreidimensional. Damit können Sedimentstrukturen und Unterwasserobjekte entdeckt und mit KI-Methoden klassifiziert werden. Diese Technik ist für die Pfad(Wege)planung des Roboters wichtig, um Unterwasserhindernisse umfahren zu können. Der Einsatz der multisensorischen Messkette wurde in anderen Projekten bislang nicht umgesetzt. Diese Messkette erlaubt tiefensimultane Messungen verschiedener Gewässerparameter, die eine dynamische Zustandsbeschreibung in Abhängigkeit von der Tiefe ermöglichen. Mit der hohen Auflösung der Daten sollen Grundwasserzutritte in das Gewässer identifiziert und qualitativ erfasst werden. Die am Projekt beteiligten wissenschaftlichen Taucher der TU Bergakademie Freiberg validieren Messwerte direkt vor Ort und unter realen Bedingungen. Mit ihrer Erfahrung können z. B. Grundwasserzutritte schon rein optisch erkannt und eine erste Quantifizierung vorgenommen werden. Der Einsatz der Taucher in diesem Zusammenhang ist bislang einzigartig. Weiterhin wird die „Gewässeratmung” im Projekt RoBiMo untersucht. Die quantitative und zeitlich hochauflösende Erfassung der klimarelevanten Spurengase CO_2, CH_4 und N_2O erlaubt eine Identifikation des Gewässers als Senke bzw. Quelle dieser Gase. Diese Lücke zu schließen ist ein wesentlicher Beitrag zu Fragen des

1 TU Bergakademie Freiberg (alle Autoren): Professur für Hydrogeologie und Hydrochemie
2 Scientific Diving Center/Lehrstuhl für Technische Thermodynamik
3 Institut für Informatik
4 Institut für Elektronik- und Sensormaterialien
5 Professur für Geochemie und Geoökologie
6 Schwarzak 2015

Foto: Otto Dreier

Abb. 2: Schwimmroboter „Elisabeth“ zieht die Messplattform „ferdinand“ zu ihrem ersten gemeinsamen Testlauf am 10. Juli 2020 über den unteren Kreuzteich in Freiberg.

globalen Klimawandels. Durch die hohe Mobilität des Schwimmroboters können gezielt verschiedene Gewässerzonen der Standgewässer beprobt werden.

Auch andere Projekte beschäftigen sich mit der Untersuchung von Gewässern hinsichtlich deren Untergrund und Zustand. Bei BOSS Manta Ray oder ROBUST wird der Meeresgrund untersucht. Allerdings werden die erfassten Daten nicht zur aktuellen Pfadplanung genutzt. Die Gewässerzustandsbeschreibung ist von hohem hydrologischen und ökologischen Wert. Bislang wurde in vergleichbaren Projekten, wie RiverView, nur ein Sensor eingesetzt. Damit kann die Messung in lediglich einer Tiefe erfolgen. Die Identifizierung und Untersuchung von Grundwasserzutritten ist bis jetzt mit hohem analytischen Aufwand, wie der Untersuchung der Isotopenzusammensetzung (z. B. Projekt SeeZeichen), und der Entnahme zusätzlicher Wasserproben verbunden. Respirationsmessungen von CO_2 und CH_4 werden zum Beispiel im Projekt TregaTA lediglich stationär auf zwei Talsperren unterschiedlicher Trophiegrade untersucht.

„Elisabeth“ + „ferdinand“: Schwimmroboter und -plattform

Die regelmäßige Untersuchung verschiedener Gewässer verlangt den unkomplizierten Transport einer Messplattform zu entsprechenden Einsatzorten. Mit „Elisabeth“ *(Abbildung 2)* steht dem Projekt ein kompakter Katamaran mit einer Länge von 1,3 Metern zur Verfügung, der von zwei Personen ohne weitere Hilfsmittel bewegt werden kann. Ausgestattet mit Sensorik für die Positionsbestimmung (GNSS) sowie Beschleunigungs- und Lagesensoren (IMU) ist „Elisabeth“ für drei Stunden autonomen Betrieb ausgelegt. Die eigentlichen, modularen Sensorsysteme werden auf der zusätzlichen Schwimmplattform („ferdinand“) montiert. Dadurch wird eine Überlastung der Nutzlast des Katamarans vermieden, ohne auf die einfache Handhabung an Land zu verzichten. Ergänzt wird „Elisabeth“ durch eine Basisstation am Ufer zur Übermittlung der Messwerte sowie der Möglichkeit des Eingriffs in die Messung.

Der Sensor macht’s

Um verschiedene Gewässerparameter zu erfassen, werden die einzelnen Knoten der Messkette mit vielfältigen Sensoren ausgestattet. Mit einem am Institut für Elektronik- und Sensormaterialien (IESM) entwickelten ersten Basisknoten *(Abbildung 3)* werden neben Wasserdruck und -temperatur auch elektrische Leitfähigkeit und Trübung sowie die Beschleunigung des einzelnen Knotens gemessen. Da die Messkette mit ihren Knoten in das Gewässer abgelassen wird, können durch

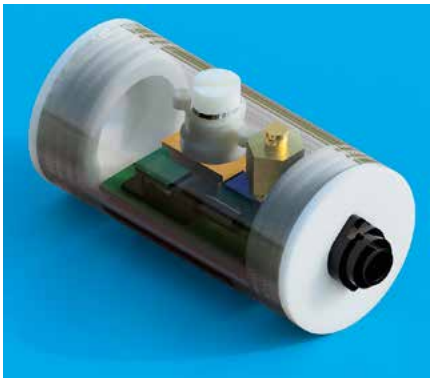
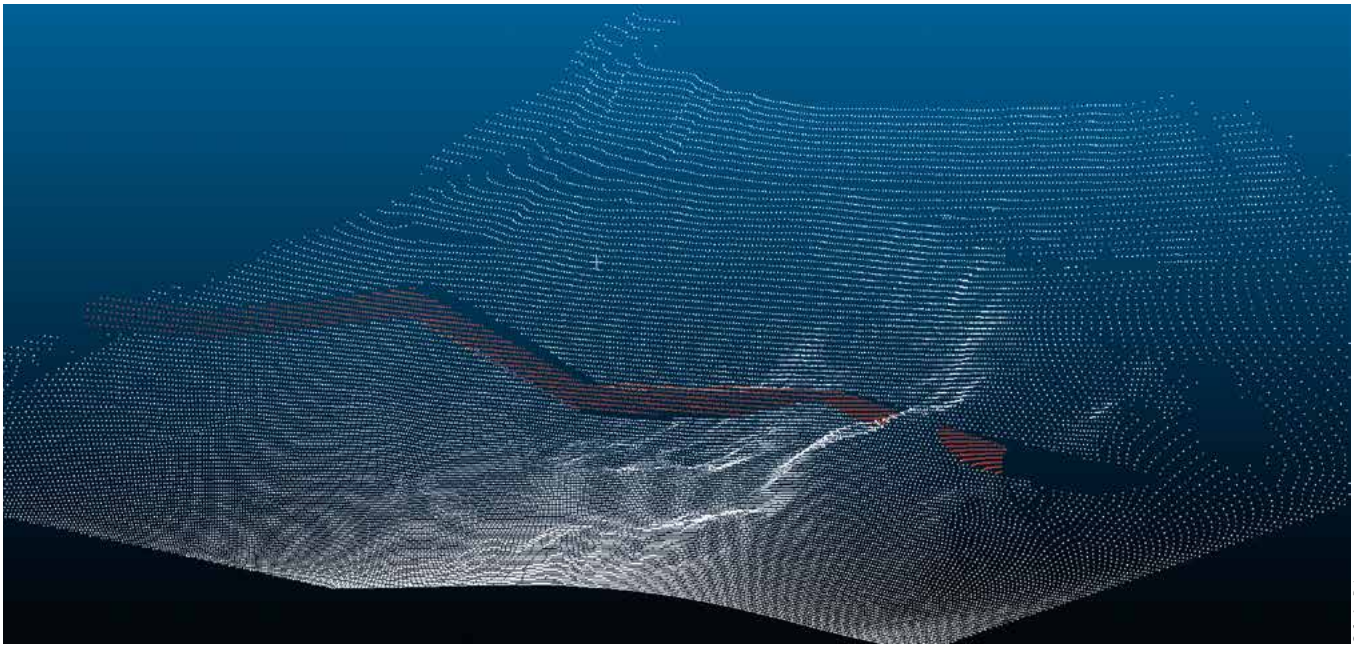


Abb. 3: Design der Basis-Sensorknoten. An der Oberseite sind zwei der verbauten Sensoren zu erkennen, im Inneren bilden mehrere Platinen die Mess- und Auswerteelektronik.

die Knoten alle Parameter zeitgleich in verschiedenen Tiefen gemessen werden. Dadurch entsteht ein Tiefenprofil des Gewässers. Über die Beschleunigung der einzelnen Knoten können anschließend Rückschlüsse über die Position der Knoten und damit auch über die Auslenkung der Kette gezogen werden. Anzahl und Art der Knoten an der Messkette können leicht verändert werden, um die Kette an verschiedene Messanforderungen anzupassen. Kern jedes einzelnen Messknotens bildet ein Microcontroller (µC), der die einzelnen Sensorsignale ausliest und gebündelt an „Elisabeth“ sendet. Der µC wird mit den Sensoren in ein Acrylgehäuse eingebaut, das durch



© Stefan Reitmann

Abb. 4: Künstliche Datengenerierung zur Gewinnung von Trainingsbeispielen zum Anlernen einer Künstlichen Intelligenz. Ziel der automatisierten semantischen Segmentierung ist die Erkennung von Objekten in den Messdaten, wie hier beispielhaft von Rohr (rot) und Untergrund (weiß).

Datenkabel und Stahlseil mit einer Winde auf der Schwimmplattform „ferdinand“ verbunden wird.

Neben dem Einsatz von kommerziell erhältlichen Sensoren werden im Rahmen des Projekts auch zwei neuartige Sensoren zum Messen des Mikroplastikgehalts und des Nitratgehalts entwickelt. Diese und weitere Parameter sollen im Rahmen des Projekts ebenfalls in die Messknoten integriert werden.

KI-Modellierung

Der Einsatz von SONAR und weiterer Sensorik erzeugt eine Vielzahl von Daten, deren Bearbeitung, Visualisierung und Analyse spezifische Modelle erfordert und Möglichkeiten der KI nutzen kann. Die Schallimpulse des Sonars erzeugen hochkomplexe Punktwolken der Gewässer, aus denen Wissen extrahiert werden kann *(Abbildung 4).* Im Detail geht es um automatische Objekterkennung und Klassifizierung, zusammengefasst unter dem Begriff der semantischen Segmentierung. Durch die Auswahl von Binnengewässern im sächsischen Raum sind die Anwendungsfälle sehr spezifisch und besitzen eine geringe Datengrundlage. Darum liegt einer der Schwerpunkte des Projekts auf der laborgestützten Vorbereitung von KI-Algorithmen durch Erzeugung synthetischer Daten in virtuellen Umgebungen. Dafür wurden unter Berücksichtigung der technischen Spezifika bereits virtuelle Sensoren implementiert, die reale Messungen simulieren und wesentliche Einflussgrößen der Umwelt (Leitfähigkeit, Wassertemperatur etc.) berücksichtigen können.

Durch den Einsatz von Unterwasser-Fotogrammetrie durch wissenschaftliche Taucher zur 3-dimensionalen Erfassung von Unterwasserobjekten können zusätzliche Inputdaten (Punktwolken, 3D-Modelle) für die Pfadplanung der künstlichen Intelligenz gewonnen werden. Weiterhin werden so einzelne Objekte detailliert für spätere Untersuchungen erfasst. Die variierende Erzeugung von Referenzumgebungen lässt so ein Datenfundament entstehen, das die KI gezielt für die Feldexperimente vorbereitet. Die umfangreichen Berechnungen werden am Institut für Informatik mit einem KI-Rechner NVIDIA DGX-2 gelöst, ein leistungsfähiges System mit 16 Grafikprozessoren für die Bearbeitung komplexer KI-Herausforderungen.

Die Auswahl der Gewässer für die Forschung

Um räumliche und zeitliche Änderungen seeinterner Prozesse untersuchen zu können, werden gezielt Gewässer ausgewählt. Ein Schwerpunkt liegt auf Binnengewässern mit vermuteten Grundwasserzutritten, mit besonderen Eigenschaftsänderungen in der Tiefe und mit Behandlungsmaßnahmen gegen Versauerung. Dazu zählen das Speicherbecken Lohsa I in der Oberlausitz, einige der Bergbaufolgeseen im Südraum Leipzig (z. B. der Störmthaler See), sowie der derzeit entstehende Cottbuser Ostsee. Um die seeinternen Prozesse erfassen zu können, muss das System hydrophysikalische Parameter wie pH-Wert, Trübung, elektrische Leitfähigkeit und andere Wasserinhaltsstoffe (z. B. Phosphat, Chlorophyll und Mikroplastik) messen können. Zusätzlich zu den Vor-Ort-Messungen werden Wasserproben im hydrogeologischen Labor des Instituts für Geologie auf weitere Anionen und Kationen sowie TOC/TIC analysiert. Auch das Einzugsgebiet des Gewässers wird näher betrachtet, da Zuflüsse Stoffe in den See transportieren. Zudem können Existenz und Menge von Grundwasserzutritten durch eine Quantifizierung der Wasserbilanz ermittelt werden. Solche Zutritte können weitere Nähr- und Schadstoffe in das Gewässer eintragen und die Wasserqualität beeinflussen.

Schwimmend gemessen – tauchend überprüft

Herausforderungen bei der Messung unterschiedlicher Wasserparameter mittels neuer Sensorsysteme sind die Validierung und Verifizierung der Daten. Dazu arbeitet das Scientific Diving Center (SDC) direkt vor Ort unter Wasser an der Überprüfung der Zuverlässigkeit der neuen Sensoren. Das SDC koordiniert den Einsatz des Schwimmroboters im Rahmen von drei Messkampagnen und ist bei auftretenden Problemen, wie dem Umgang mit Unterwasser-Hindernissen, direkt vor Ort. So können kritische Punkte unter Wasser dokumentiert, überwacht, gelöst und verbessert werden. Zusätzlich

werden In-situ-Messungen ausgewählter Parameter, wie Temperatur, Leitfähigkeit, Trübung und pH-Wert, durch die wissenschaftlichen Taucher durchgeführt. Damit lässt sich eine Echtzeitüberprüfung und Validierung der Sensoren durchführen. Weiterhin ist eine gezielte Beeinflussung der Sensoren durch die Taucher möglich, wodurch ein Grundwasserzutritt bzw. eine unstetige Änderung der Wasserqualität nachgebildet werden kann. Die Entnahme von Wasser- und Sedimentproben mit gut dokumentierter und genauer Positionierung der Probennahme, sowie dem Einsatz von speziell entwickeltem Probennahmezubehör erlaubt den Vergleich zwischen den Daten des Sensorsystems und einer Laboranalyse, sowie die Bestimmung weiterer (Wasser-)Inhaltsstoffe. Ergänzend lassen sich durch die Taucher lokal begrenzte Anomalien (wie Grundwasserzu- und -abflüsse) auffinden, gezielt untersuchen, dokumentieren und beproben. Somit kann eine erste Erkundung bzw. eine detaillierte Nachuntersuchung ergänzend zum Einsatz des Schwimmroboters erfolgen.

Auch Gewässer atmen

Gewässer und Feuchtgebiete sind weltweit eine der größten Quellen klimawirksamer Spurengase.[7] Zugleich fehlt es an nachweislich repräsentativen Daten.[8] Entsprechend ist die Erfassung des Austauschs klimawirksamer Spurengase zwischen Wasseroberfläche und Atmosphäre wesentlich, um die Rolle der Gewässer im Klimawandel-Kontext charakterisieren zu können. Die Messung des Gasaustauschs erfolgt mit einer Modifikation des an der TU Bergakademie Freiberg entwickelten Kammersystems SEMACH-FG (Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum, IÖZ). Das Kammersystem wurde auf die Schwimmplattform „ferdinand" integriert und soll in Zukunft auch autonom arbeiten. Dies umfasst die Vor-Ort-Messung von Kohlendioxid (CO_2)-Konzentrationsänderungen, sowie die Gewinnung von Gasproben für die spätere Bestimmung der Konzentrationen an Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O) mittels Gaschromatographie. Über die gewonnenen Daten werden die Gasflüsse berechnet, aus denen die Senken- oder Quellenfunktion des Systems berechenbar wird. Zusätzlich werden Vorräte an Kohlenstoff und Stickstoff im Sediment (Reservoir) durch manuelle Beprobung erfasst. Das SEMACH-FG kam bereits bei Arbeiten auf Binnengewässern und in Feuchtgebieten im Rahmen diverser Qualifizierungsarbeiten zum Einsatz.[9] Im Sommer 2020 arbeiteten die Masterstudenten Lisa Drechsler, Karsten Gustav und Eric Röder an Detailuntersuchungen eines für das Projekt relevanten Talsperrensystems (Klingenberg und Lehnmühle), und nahmen dabei unter anderem intensive Tests der Respirationsmesstechnik und weiterer Prozesse im Nährstoffkreislauf der Gewässer vor. Deren Ergebnisse schufen eine Referenzdatengrundlage für die im RoBiMo-Projekt angestrebten automatisierten Messungen.

Was passiert als nächstes?

Das Projekt RoBiMo umfasst diverse Forschungsbereiche, die gemeinschaftlich an der Umsetzung einer kontinuierlichen robotischen Gewässerüberwachung arbeiten. Während der Projektlaufzeit werden ausgewählte Gewässer bereits befahren. Dies erfolgt in mehreren Messkampagnen:

Im Sommer 2020 wurde die Schwimmfähigkeit der modularen Plattformen „Elisabeth" und „ferdinand" getestet, ebenso der eigens entwickelte Multiparametersensor, die autonome Navigation sowie die Datenübermittlung. Es fanden Begehungen ausgewählter Gewässer statt, um erste Vor-Ort-Messungen durchzuführen und Wasserproben zu entnehmen. Eine Erweiterung der Basissensorknoten und der Messkette auf 20 m wird im Winter angestrebt.

Für Frühjahr/Sommer 2021 ist eine Feldkampagne des Systems im Amazonasbecken in Planung, bei dem es auch um die Überprüfung der Robustheit der Technik unter extremen Witterungsbedingungen geht.

Eine Implementierung und Überprüfung der Sensorkette soll im Sommer 2021 voraussichtlich am Haselbacher See stattfinden. Dort wird Sümpfungswasser des Tagebaus Schleenhain mit bekannter Hydrochemie eingespeist. Hier kann die Funktionalität der Sensoren überprüft werden. Außerdem soll das gesamte Robotersystem validiert werden.

Im dritten Jahr des Projekts, 2022, werden die ausgewählten Gewässer hinsichtlich ihrer hydrogeologischen Besonderheiten und Fragestellungen befahren. Es soll außerdem überprüft werden inwieweit eine Extrapolation auf andere Einsatzgebiete (z. B. maritimer Raum) oder auf Extremereignisse möglich ist.

Da in RoBiMo sehr komplexe Sachverhalte unterschiedlicher Fachbereiche bearbeitet werden, wird ein Austausch mit den Verantwortlichen vergleichbarer Projekte angestrebt. Hier sollen Erfahrungen verglichen, fachlich diskutiert und mögliche Zusammenarbeiten besprochen werden. Ein solches Forum ist bereits in Planung.

Übergeordnetes Ziel der Projekte RoBiMo und AIRGEMM ist eine verbesserte Überwachung von Gewässern, die dem Erhalt der Wasserqualität und der Bewirtschaftung dienen soll. Dies wird mit dem Einsatz eines autonom schwimmenden Roboters und einer modularen Plattform mit Hilfe der Methoden der KI umgesetzt. Bis dato nicht vollständig verstandene Grundwasser-Seewasser-Interaktionen sind dabei ausschlaggebende Faktoren für den Zustand des Gewässers.

Weitergehende Informationen und Aktuelles:
https://tu-freiberg.de/robimo

https://tu-freiberg.de/airgemm

Referenzliste und weiterführende Literatur

Drechsler L (2018) Respiration von Seekörpern – eine Annäherung. B.Sc. Arbeit, TU Bergakademie Freiberg

Gartiser V (2020) Gas fluxes and C, N pools in aquatic systems. B.Sc. Arbeit, TU Bergakademie Freiberg

Marcé R, Obrador B, Gómez-Gener L, Catalána M, Koschorreck M, Arce MI, Singer G, von Schiller D (2019) Emissions from dry inland waters are a blind spot in the global carbon cycle. Earth Sci Rev 188: 240-248; doi 10.1016/j.earscirev.2018.11.012

Marwinski I, Neubert T (2015) THG-Emissionen von Feuchtgebieten und kleinen Binnengewässern. B.Sc. Tandemarbeiten, TU Bergakademie Freiberg

Oertel C, Matschullat J, Zimmermann F, Zurba K, Erasmi S (2016) Greenhouse gas emissions from soils – a review. Chem Erde – Geochem 76, 3: 327–352; doi: 10.1016/j.chemer.2016.04.002

Schwarzak S, Hänsel S, Matschullat J (2015) Projected changes in extreme characteristics for Central Eastern Germany (21st Century, model-based analysis). Internat J Climatol 35, 10: 2724-2734; DOI: 10.1002/joc.4166

7 Oertel et al. 2016
8 Marcé et al. 2019
9 Drechsler 2018; Gartiser 2020; Marwinski und Neubert 2015

„G.O.D.S." – eine Nachwuchsforschergruppe entwickelt Digitalisierungsstandards für geowissenschaftliche Sammlungsobjekte

Ilja Kogan*, Gerhard Heide**

Im Frühjahr 2020 war „Digitalisierung" plötzlich in aller Munde. Konzerthäuser und Museen verlagerten den Großteil ihrer Aktivitäten ins Internet, Unternehmen und Behörden stellten in großem Stil auf „home office" um, und Grundschüler wurden mit Unterstützung ihrer Eltern am Bildschirm unterrichtet. Der digitale Zugang zu Inhalten aus Forschung, Lehre und Verwaltung gewann schlagartig an Bedeutung; für Wochen blieb er der einzige. Spätestens jetzt war vielen klar, dass Digitalisierung von Sammlungsmaterial und Forschungsobjekten geradezu essentiell ist.

Auf der ganzen Welt – und auch in Deutschland – sind über die letzten Jahre in Museen und universitären Sammlungen, in Bibliotheken und Archiven, in Ämtern und Forschungsinstituten sowie für architektonische Denkmäler und Kulturstätten die unterschiedlichsten Digitalisierungsförderungen[1,2,3] und -projekte[4,5,6] gestartet worden. Viele haben das Ziel, den Status quo zu dokumentieren, den Bestand zu erfassen und ggf. online zur Verfügung zu stellen, somit das Arbeiten mit den Objekten zu erleichtern, die Objekte oder Sammlungen bekannter zu machen und den Kreis der potenziellen Nutzer zu erweitern. Oft ist die Auswahl der Objekte oder die angewandte Methodik an eine wissenschaftliche Fragestellung gebunden, der das besondere Interesse der Bearbeiter gilt; oder sie folgt dem Diktat der Förderprogramme, die nur selten die Digitalisierung von kompletten Beständen erlauben, da dies zu den Grundaufgaben der Einrichtungen zählt. Immerhin konnten so seit 2013 einige tausend Objekte aus den Geowissenschaftlichen Sammlungen der Bergakademie in vier DFG-Projekten (HE 3015/5-1[7], 5-2[8], 6-1[9] und VO 902/2-1[10]) im Rahmen des Gesamtprojekts „Geo- und montanwissenschaftliche Sammlungen in Freiberg und Dresden" (HE 3015/7-1[11]) digitalisiert werden. Sie sind nun über das von der Senckenberg-Gesellschaft entwickelte Datenbanksystem AQUiLAgeo[12] online zu finden – ein wichtiger Anfang, der jedoch nur einen Bruchteil dieser reichen und vielfältigen, über eine Million Exemplare umfassenden Sammlungen einbezieht.

Mit jeder neuen Objektgruppe, aber auch mit dem immensen Fortschritt der digitalen Techniken stellt sich die Frage nach Standards der Digitalisierung. Was Bibliotheken seit Jahrzehnten praktizieren – Erfassung von Metadaten, Erprobung von Algorithmen zur Texterkennung, Anlegung von Autoren- und Editionsdatenbanken, Definition geeigneter Aufnahmegeräte und Speicherformate, rechtliche und technische Absicherung des Onlinezugangs – muss jede andere Disziplin für sich neu erkunden. Die Beschaffenheit der Objekte, aber auch die Art der Fragen, die an diese momentan oder in Zukunft gestellt werden können, bestimmen die Herausforderungen, welche ihre Digitalisierung mit sich bringt.

Für die meisten Objekte aus den Geowissenschaften sind solche Standards erst noch zu entwickeln. Es müssen Wege gefunden werden, Informationen zu gewinnen und reproduzierbar zu speichern, d. h., dem jeweiligen Objekt digitale Daten zu entlocken, die es möglichst umfassend charakterisieren. Das können neben der optischen Repräsentation in zwei und/oder drei Dimensionen Aufnahmen der Internstruktur, chemische Analysenergebnisse, Angaben zu mineralogischen, petrologischen oder physikalischen Eigenschaften wie Dichte, Rauigkeit oder Gefüge sein. Wie kann zum Beispiel die Digitalisierung eines Bohrkerns zu Aussagen über den geologischen Untergrund führen? Kann man polierte Gesteinsplatten so erfassen, dass sie von einer Software erkannt und klassifiziert werden können? Wie sollte eine Erzprobe dokumentiert werden, um als historischer Beleg erhalten zu bleiben und in der Lehre eingesetzt werden zu können, während das Original für Zwecke der Analytik gesägt und geschliffen wird? Wie digitalisiert man Fossilien, damit sie virtuell betrachtet oder in 3D repliziert werden können; wie macht man Strukturen sichtbar, die in ihrem Innern verborgen sind? Welche Technik sollte genutzt werden, wie strukturiert man die Arbeitsabläufe, welche Erfahrung muss der Bearbeiter dazu mitbringen? Welche Daten sind für die Langzeitarchivierung relevant und wie hängen sie vom Ziel der Digitalisierung ab?

Mit den vier genannten Objekttypen beschäftigt sich seit Mitte 2018 die vom Leiter der Geowissenschaftlichen Sammlungen, Prof. Gerhard Heide, initiierte Nachwuchsforschergruppe „G.O.D.S." (Geoscientific Objects Digitization Standards), die vom Europäischen Sozialfonds (ESF) und vom Freistaat Sachsen mit knapp 1 Million Euro für drei Jahre gefördert wird. Neben vier Geowissenschaftlern gehören ihr ein Mathematiker und ein Betriebswirtschaftler an; unterstützt werden sie von den Kustoden der Geowissenschaftlichen Sammlungen Birgit Gaitzsch, Christin Kehrer und Andreas Massanek, zudem von drei technischen Mitarbeiterinnen und mehreren wissenschaftlichen bzw. studentischen Hilfskräften. Katrin Treptow, Assistentin des Geschäftsführers der Geowissenschaftlichen Sammlungen, hilft bei der Administration. Neben der Ableitung von Standards für konkrete Objekttypen soll eine Software zur automatisierten Gesteinsklassifizierung entwickelt werden, die in Zukunft beispielsweise als Smartphone-App verfügbar sein könnte. Das Tüpfelchen auf dem „i" wird aber das Konzept eines spezialisierten Digitalisierungszentrums für geowissenschaftliche Objekte sein, das in Freiberg etabliert werden soll. Als Ausgründung oder als An-Institut hat es die Aufgabe, die von der Nachwuchsforschergruppe entwickelten Standards zu bündeln und mit eigenem Gerätepark umzusetzen sowie digitale Daten zu verwalten und zur Verfügung zu stellen.

In den ersten zwei Jahren standen hauptsächlich lichtoptische Verfahren, wie digitale Mikroskopie, Photographie, Photogrammetrie, 2D- und 3D-Scans und Farbmessungen, im Fokus der Projektarbeit. Bei Projektpartnern im In- und Ausland wurden computertomographische Aufnahmen und geochemische Analysen gemacht. Kollegen vom Institut für Informatik der Bergakademie haben 3D-Modelle von Fossilien in diverse Anwendungen aus dem Bereich der augmentierten (AR)

* Dr. Ilja Kogan, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Bereich Paläontologie, Bernhard-von-Cotta-Str. 2, 09599 Freiberg; ilja.kogan@geo.tu-freiberg.de

** Prof. Dr. Gerhard Heide, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Mineralogie, Geowissenschaftliche Sammlungen, Brennhausgasse 14, 09599 Freiberg; gerhard.heide@mineral.tu-freiberg.de

und virtuellen (VR) Realität integriert und dabei geholfen, Einsatzmöglichkeiten für Digitalisate in der Lehre zu testen.

Das betriebswirtschaftliche Teilprojekt 1, dessen Herzstück die Konzeption des sächsischen Geo-Digitalisierungszentrums ist, untersucht den aktuellen Markt für Digitalisierung im Hinblick auf potenzielle Nutzer, Geräte, mögliche Organisationsformen und Geschäftsmodelle. Unter der Betreuung von Prof. Jutta Stumpf-Wollersheim führt der Doktorand Victor Wolf Recherchen, Experteninterviews und Bürgerumfragen durch, um daraus Best Practices abzuleiten und Handlungsempfehlungen zu formulieren. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass die meisten Anbieter „Showrooms“ einrichten, um ausgewählte, interessante Prozesse und Produkte optisch vorzuführen. Genau so könnte auch ein Digitalisierungszentrum für geowissenschaftliche Objekte offen für Besucher sein und verschiedene Bereiche der Geowissenschaften digital erlebbar machen. Zum Abschluss des Teilprojekts soll ein Konzeptpapier mit Stellenplan, Raumaufteilung, Gerätepark und Wirtschaftsplan entstehen, mit dem dann für die nächste Phase eine Gründerförderung eingeworben werden kann.

An der Professur für Lagerstättenlehre bei Prof. Thomas Seifert läuft das Teilprojekt 2, das der Entwicklung von Digitalisierungsstandards für Erzproben anhand von Beispielobjekten aus der Lagerstätten-Sammlung der Bergakademie gewidmet ist. Dafür kombiniert der Doktorand Björn Fritzke fotografische, 3D-Scan- und computertomographische Methoden. Bei beiden optischen Verfahren besteht die Herausforderung in der Aufnahme reflektierender und transparenter Oberflächen, wie sie für Mineralstufen und Erzhandstücke typisch sind. Die Computertomographie ermöglicht aufgrund der Dichteunterschiede zwischen den verschiedenen Mineralphasen eine zerstörungsfreie Untersuchung der Erzgehalte im Inneren der Probe. Durch die Verschneidung von visuellen 3D-Oberflächenmodellen mit Dichte-Volumenmodellen aus dem Tomographen sollen komplexe digitale Objekte entstehen, die man in der Lehre verwenden und mit zusätzlichen Informationen – wie zur Lage von Sägeflächen für An- oder Dünnschliffe – anreichern kann.

Zwischen Prof. Jörg Benndorf vom Institut für Markscheidewesen und Geodäsie und dem Institut für Geologie ist das Teilprojekt 3 angesiedelt, das sich mit der Entwicklung von Digitalisierungsstandards

Foto I. Kogan

Abb. 1: Victor Wolf erklärt ein gemeinsam mit dem Gründernetzwerk SAXEED erstelltes Business Model Canvas für das Digitalisierungszentrum.

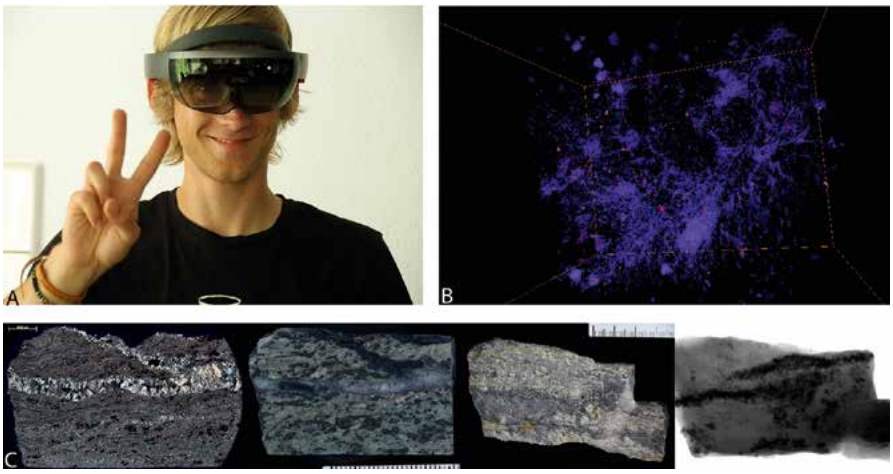


Foto (A): I. Kogan

Abb. 2: A) Björn Fritzke mit einer Hololens, einem Gerät für augmentierte Realität, das virtuelle Objekte in die Wahrnehmung des realen Raums integriert. B) Computertomographie von einem goldführenden Quarzgang, Lagerstätten-Vorratssammlung, Proben-Nr. BF_VorSa_25/24_02. Quarz, durchsichtig; Antimonfahlerz, blau-violett; gediegen Gold, orange-rot. C) einige Schritte aus dem Workflow zur Digitalisierung von Erzproben. Von links nach rechts: Dünnschliff-Übersichtsaufnahme im gekreuzt-polarisierten Licht unter dem Mikroskop, fotografische Aufnahme des zum Dünnschliff gehörigen Klötzchens, fotografische Aufnahme des gesamten Handstücks, Transmissionsbild eines Computertomographie-Scans vom Handstück. Diese Informationen fließen in ein komplexes 3D-Objektmodell ein. Die Objekte in B und C stammen aus Brandholz bei Goldkronach im Fichtelgebirge.

für Bohrkerne befasst. Zu Beginn hat sich der Doktorand Sascha Schmidt in verschiedene Methoden eingearbeitet, die bei der Digitalisierung von Bohrkernen zum Einsatz kommen können, und die Technik der Photogrammetrie an unterschiedlichen Testobjekten perfektioniert. Dieses Verfahren ermöglicht es, aus einer Serie von aus verschiedenen Perspektiven aufgenommenen 2D-Bildern dreidimensionale Modelle zu generieren. Jedoch gliche die Digitalisierung von Bohrkernen ohne eine dahinterstehende wissenschaftliche Fragestellung einer Trockenschwimm-Übung. Daher wurde in Kooperation mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie der kreidezeitliche Karbonatit-Komplex von Storkwitz in Nordwestsachsen, der durch Bohrungen der SDAG Wismut aufgeschlossen ist und

Foto I. Kogan

Abb. 3: Sascha Schmidt betrachtet einen mittels Photogrammetrie 3D-digitalisierten Bohrkern (Gneis aus der Reichen Zeche, Freiberg) auf einem Seethrough-Display.

nicht zuletzt aufgrund seiner Gehalte an Selten-Erd-Elementen wirtschaftlich interessant werden könnte, als Untersuchungsgegenstand ausgewählt. Das vulkanische Karbonatitgestein schließt

Foto I. Kogan

Abb. 4: Alexandra Weißmantel und ein 2D-Digitalisat zweier Granitplatten, angefertigt mit einem Flachbettscanner am Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg.

Foto I. Kogan

Abb. 5: Ahmed Jabbar stellt zur Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft in Freiberg 2019 ein Poster zur Mustererkennung an Gesteinsplatten vor.

zahlreiche Komponenten ein, die anhand ihrer Farbe und Textur potenziell unterscheidbar sein sollten. Gemeinsam mit Hripsime Gevorgyan, die ihre Doktorarbeit über ein Vulkangebiet in Armenien abschließt, werden die archivierten Bohrkerne nun digital untersucht und die makroskopischen Aufnahmen und Modelle in Kombination mit Dünnschliffen und geochemischen Analysen zu einer neuen Interpretation des Karbonatit-Komplexes verarbeitet.

Am Institut für Mineralogie beschäftigt sich das vierte Teilprojekt, betreut von Prof. Gerhard Heide und Prof. Jan-Michael Lange, mit der Digitalisierung von Bau- und Dekorationsgesteinen. Hier gilt es, die meist 24 × 16 cm großen polierten Platten so zu erfassen, dass sie mithilfe mathematischer Algorithmen klassifiziert werden könnten. Die Doktorandin Alexandra Weißmantel hat dafür unterschiedliche bildgebende Verfahren miteinander verglichen und sich schließlich für die Verwendung eines Flachbettscanners entschieden, der durch das senkrechte Auftreffen des Lichtstrahls auf der Probe störende Lichtreflexe minimiert. Zudem hat sie mehrere spektrale Methoden und Bildverarbeitungsprogramme zur Erfassung von Gesteinsfarben ausprobiert und forciert zzt. die Entwicklung eines Fahrgestells für ein portables Photospektrometer, um Farbmessungen in einem definierten Raster durchführen zu können.

Die Entwicklung von Algorithmen zur automatisierten Erkennung von Gesteinen steht im Fokus des am Institut für Angewandte Analysis bei Prof. Swanhild Bernstein angesiedelten Teilprojekts 6. Dabei wendet der aus dem Irak stammende Doktorand Ahmed Jabbar mathematische Filter zur Mustererkennung auf digitale Gesteinsbilder an und erreicht mithilfe des Maschinellen Lernens anhand der Textur bereits eine hohe Trefferquote.

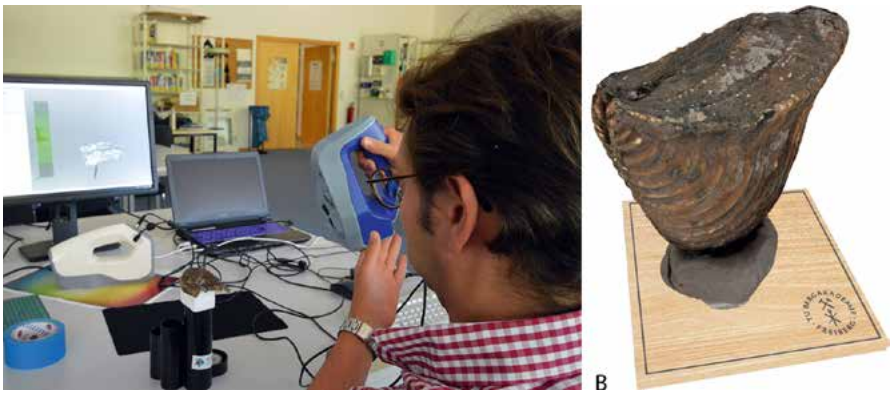


Foto M. Jähne

Abb. 6: A) Ilja Kogan digitalisiert mit einem Streifenlichtscanner den Schädel des reptiliomorphen Amphibs *Madygenerpeton pustulatum*. B) Einige photogrammetrisch digitalisierte Leitfossilien, wie diese mesozoische Muschel Trigonia, wurden versuchsweise in das Lernportal OPAL geladen.

Derzeit wird an der Einbeziehung petrographisch wichtiger Kennwerte – wie Farbe, Korngröße, Kornform und -verteilung – gearbeitet, deren Quantifizierung sehr herausfordernd ist.

An der Professur für Paläontologie und Stratigraphie wird im Rahmen des Teilprojekts 5 an der Digitalisierung von Fossilien geforscht. Als Spezialist für fossile Knochenfische hat Ilja Kogan, Postdoc bei Prof. Thomas Wotte, interessante Wirbeltierfossilien ausgewählt, um an ihnen verschiedene Digitalisierungstechniken – wie Photogrammetrie, 3D-Scan und Computertomographie – zu testen. Andere Fossilien wurden beispielhaft in 3D digitalisiert und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik für VR-Anwendungen oder den Einsatz in der Lehre über die Universitätsplattform OPAL aufbereitet. Mit verschiedenen Verfahren wurden 3D-Drucke digitalisierter Fossilien angefertigt und metrologisch evaluiert. Seit kurzem steht eine spezielle Software zur Verfügung, die es erlaubt, auf computertomographischen Aufnahmen basierend anatomische Strukturen fossiler Organismen zu rekonstruieren.

Erste Projektergebnisse wurden in Digitalisierungs-Workshops in Freiberg und Dresden, auf der Konferenz junger Wissenschaftler in St. Petersburg, bei einer internationalen Paläontologie- und Stratigraphie-Tagung in Kasan und bei den Oldenburger 3D-Tagen vorgestellt. Eine digitale Präsentation gab es auch auf der Jahrestagung der EGU (European Geosciences Union), die im Mai 2020 in Wien stattfinden sollte.

Wiewohl kein (wissenschaftliches) Objekt durch sein Digitalisat abgelöst werden kann, bieten Digitalisate beinahe unerschöpfliche neue, zusätzliche Möglichkeiten. Digitalisate sind leicht zugänglich und einfach weiterzuverarbeiten; sie können meist gleichzeitig und unabhängig vom Arbeitsort genutzt werden und den Versand von Originalen oder den physischen Sammlungsbesuch in manchem Fall ersetzen, zumindest aber dessen konkrete Planung unterstützen. Sie sind skalierbar und können am Bildschirm vermessen, deformiert, geschnitten und miteinander verglichen werden, ohne das Original zu gefährden. Bei Bedarf kann ein digitales 3D-Objekt mittels additiver Fertigung problemlos in eine physische Kopie des Originals verwandelt werden, ohne das Original durch Abformung wiederum einer Beschädigungsgefahr auszusetzen.

Zusätzliche Informationen aus der Analytik oder Interpretationen reichern ein digitales Objekt an. So ist für Forschung und Lehre ein höchstmöglicher Gewinn gegeben. Die möglichst genaue Erfassung eines Objekts dokumentiert auch seinen Erhaltungszustand und dient somit, neben konservatorischem Monitoring, auch als Sicherungskopie für Fälle natürlichen Zerfalls oder Verlusts durch Katastrophen wie Brände und Überschwemmungen. Schließlich können digitalisierte Sammlungsobjekte in komplexe Modelle und Online-Präsentationen bis hin zu virtuellen Erlebnisräumen integriert werden, die auch ein breiteres Publikum erreichen. In Zukunft sollen digitalisierte geowissenschaftliche Objekte zudem mit digitalen Karten verknüpft werden und damit für wissenschaftliche Recherchen, aber auch als Repräsentationen des Naturerbes zur Verfügung stehen.

Quellen

1 DFG: Erschließung und Digitalisierung von objektbezogenen wissenschaftlichen Sammlungen. 23. Juni 2010. https://www.dfg.de/foerderung/info_wissenschaft/2010/info_wissenschaft_10_26 sowie https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/lis/uebersicht_ausschreibung_erschliessung_digitalisierung_120427.pdf

2 BMBF: Digitalisierung von Objekten des kulturellen Erbes – eHeritage. BAnz AT 22.06.2016 B1 und BAnz AT 13.05.2019 B3.

3 DFG: Standardbildung für die Erschließung und/oder Digitalisierung von Objektgattungen in wissenschaftlichen Sammlungen. 6. Februar 2013. https://www.dfg.de/foerderung/info_wissenschaft/2013/info_wissenschaft_13_08 sowie https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/lis/uebersicht_projekte_objektausschreibung_2013.pdf

4 Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: ROHSA – Rohstoffdaten Sachsen. https://www.rohstoffdaten.sachsen.de/projekt-rohsa-3-4140.html sowie https://www.rohstoffdaten.sachsen.de/informationen-zur-rohsa-suchmaschine-4000.html

5 SMWK: Landesdigitalisierungsprogramm für Wissenschaft und Kultur des Freistaates Sachsen. https://www.slub-dresden.de/sammlungen/landesdigitalisierungsprogramm

6 DFG: OpARA – Open Access Repository and Archive. https://opara.zih.tu-dresden.de/xmlui/

7 Heide, G., Massanek, A.: Aufbau eines webbasierten Systems zur Erschließung, Digitalisierung und Visualisierung der Äußeren-Kennzeichen-Sammlung von Abraham Gottlob Werner an der TU Bergakademie Freiberg, 2013–2016.

8 Heide, G., Heide, B., Massanek, A.: Erschließung und Digitalisierung der Oryktognostischen und der Edelstein-Sammlung von A. G. Werner, 2018–2020. https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/203212518

9 Heide, G., Renno, A., Kehrer, C.: Aufbau eines webbasierten Systems zur Erschließung, Digitalisierung und Visualisierung der Dünnschliffsammlung an der TU Bergakademie Freiberg, 2013–2016. https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/203225869

10 Volkmann, N., Gaitzsch, B.: Aufbau eines webbasierten Systems zur Erschließung, Digitalisierung und Visualisierung des Bestandes der Brennstoffgeologischen Sammlung an der TU Bergakademie Freiberg, 2013–2016.

11 Heide, G., Lange, J.-M, Albrecht, H.: Geo- und montanwissenschaftliche Sammlungen in Freiberg und Dresden, 2013–2019. https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/209237757

12 https://webapp.senckenberg.de/aquila-freiberg/search

Roboter und Internet der Dinge in untertägigen Anlagen (ARIDuA)

Wie begann es, was wurde erreicht und wie geht es weiter?

Falk Schreiter[1], Robert Lösch[2], Steve Grehl[2], Frederic Güth[3], Franziska Günther[1], Nasrin Rezaei-Abadchi[4], Sebastian Varga[5], Helmut Mischo[1], Bernhard Jung[2], Yvonne Joseph[3], Andreas Rehkopf[4], Jörg Benndorf[5]

Entwicklungen für den Bergbau selbst und natürlich auch für alle den Bergbau tangierenden Fachbereiche gehören seit jeher zu den wichtigsten Forschungsschwerpunkten an der TU Bergakademie Freiberg.

Sowohl Alexander von Humboldt als auch Julius Weisbach zählen zu den – aus heutiger Sicht – bekanntesten Studenten in der Geschichte der Bergakademie Freiberg. Vor diesem Hintergrund wurden Humboldt und Weisbach zu Namenspaten für die im Jahr 2014 gestarteten, im Mining-RoX-Projekt eingesetzten, Roboterplattformen „Alexander“ und „Julius“.

Das Mining-RoX-Projekt (2014 bis 2017) verknüpfte als erstes Projekt die Fachbereiche Bergbau und Robotik/Digitalisierung und markierte somit den Beginn dieses Forschungsbereichs. Basierend auf den Erfahrungen mit dem Mining-RoX-Projekt folgten und folgen noch eine Reihe weiterer Projekte, die die bislang erzielten Ergebnisse aufgreifen und fortschreiben.

In nahezu direkter Nachfolge konnte 2018 das Vorhaben ARIDuA (Autonome Roboter und Internet der Dinge in untertägigen Anlagen) im Rahmen einer ESF-geförderten[6] Nachwuchsforschergruppe starten. Im Mittelpunkt dieses Projekts steht als Ziel die Erforschung des aktuell und künftig immer bedeutsameren Zusammenspiels von Elementen der Robotik mit dem Internet der Dinge und natürlich den nach wie vor in den Wertschöpfungsprozessen und auch für Hilfs- und Überwachungsleistungen benötigten menschlichen Akteuren. Dabei wird diese Verknüpfung, wie der Name des Projekts bereits erwarten lässt, nicht irgendwo an einem beliebigen Standort, sondern an einem Ort mit wirklich außergewöhnlichen Umgebungsbedingungen – im Forschungs- und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg – untersucht.

Ein grundlegendes Merkmal und gleichzeitig eine wichtige Triebkraft für den Innovationsschub, den das Projekt verspricht, ist die Interdisziplinarität des Forscherteams. Im ARIDuA-Projekt arbeiten zzt. sechs Nachwuchswissenschaftler aus fünf verschiedenen Fachrichtungen an einem gemeinsamen Ziel: dem der Integration modularer Sensorik mit den zugehörigen Schnittstellen sowie den jeweils angepassten Auswerteroutinen in automatisierte, insbesondere von Robotern ausgeführte, industrielle Abläufe.

Die langfristige Planung des Projekts sowie potentieller Folgeprojekte sieht dabei vor allem die Entwicklung und Etablierung von roboterunterstützten Arbeitsabläufen im Vordergrund. Die Entwicklung und der

1 Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, Fuchsmühlenweg 9, 09599 Freiberg
2 Institut für Informatik, Bernhard-von-Cotta-Str. 2, 09599 Freiberg
3 Institut für Elektronik- und Sensormaterialien, Gustav-Zeuner-Str. 3, 09599 Freiberg
4 Institut für Automatisierungstechnik, Bernhard-von-Cotta-Str. 4, 09599 Freiberg
5 Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, Fuchsmühlenweg 9, 09599 Freiberg

6 ESF = Europäischer Sozialfonds

spätere Einsatz solcher Technologien spielen für kontinuierlich durchzuführende, einfache und eintönige Tätigkeiten, vor allem auch für solche mit potenzieller Personengefährdung, eine tragende Rolle.

Dabei sind einerseits industrielle Anwendungen, z. B. im aktiven Bergbau, zu nennen. Hier ist vor allem an den Einsatz als kontinuierlich aktive Unterstützungseinheit (z. B. für markscheiderische Aufnahmen sowie für die kontinuierliche Messung von Gas- und Schadstoffkonzentrationen) gedacht worden. Daneben steht aber bspw. auch die mögliche Nutzung der so entwickelten und getesteten Technologien im Rahmen von Einsatzszenarien nicht nur in bergbaulichen, sondern auch in bergbaufremden untertägigen Anlagen – oder allgemein in Anlagen mit deutlich eingeschränkter Zugänglichkeit in einem weiteren Fokus der Betrachtungen. Auch hier kann ein technisch ausgereifter Einsatz eines Verbundsystems von Robotern und externer Sensorik die vor Ort befindlichen Einsatzkräfte in prekären Situationen – wie bspw. der Exposition gegenüber potenziell gefährlichen Umgebungsbedingungen – wirkungsvoll schützen. Der zukünftige Einsatz von vernetzter Roboter- und Sensortechnik soll dabei entscheidend zur Entlastung der regulär beschäftigten Belegschaft beitragen. Zudem kann beispielsweise die Ausführung langwieriger Tätigkeiten roboterbasiert unter kontinuierlich identischen Rahmenbedingungen deutlich effizienter und mit langfristiger Nachvollziehbarkeit gesichert werden.

Weiterhin eröffnet die Möglichkeit des Robotereinsatzes vor allem auch im Rahmen von Rettungs- und Hilfeleistungseinsätzen sowie bei der Erkundung von Betriebs- und Anlagenteilen, die keinen regelmäßigen Sicherungsarbeiten mehr unterliegen, ein deutlich hervorzuhebendes Einsatzfeld. Hierbei soll der Fokus keinesfalls allein auf produzierende Bergbauunternehmen gelegt werden. Auch die öffentliche Verkehrsinfrastruktur wird durch immer mehr Tunnel- und Galeriebauwerke ergänzt. Im Havarie- oder Unglücksfall an derartigen oft schwer zugänglichen Stellen kann die Nutzung autonomer Erkundungs- und Messtechnik eine ausschlaggebende Informationsquelle zu den in einem solchen Bereich herrschenden Bedingungen sein, die für die Durchführung der darauf folgenden Rettungs- und Hilfseinsätze elementar wichtig sind. Der Hauptdarsteller beim Großteil der durchgeführten Forschungsarbeiten

Abb. 1: Roboter Julius bei Tests in einem für Personenfahrung gesperrten Streckenbereich

Abb. 2: Forschungsroboter Alexander, Elisabeth (Boot) und Geri

blieb auch im ARIDuA-Projekt der eingangs erwähnte Roboter Julius, der bereits 2018 in einem ACAMONTA-Beitrag vorgestellt wurde. Neben Julius konnten auch drei bereits im Projekt Mining-RoX tätig gewesene Nachwuchswissenschaftler ihre Erfahrungen im Rahmen einer Mitarbeit im ARIDuA-Projekt einbringen. Diese Kontinuität hat zentrale Bedeutung für die bisherige Umsetzung und auch für die Weiterentwicklung der einschlägigen Forschungsprojekte. Im Anschluss an das im August 2020 ausgelaufene ARIDuA-Projekt ist eine Weiterentwicklung und Spezialisierung der Robotikforschung an der TU Bergakademie Freiberg vorgesehen.

Dieser Weiterführung und -entwicklung sind bereits jetzt Projekte zuzuordnen. Hier sind insbesondere die auf die erreichten Forschungsergebnisse aufbauenden, an diese anknüpfenden Vorhaben zu benennen:

- Holomine (Mixed Reality in Mining),
- DeepMon (Intelligent Deep Mine Shaft Monitoring),
- Undromeda (Underground Robotic System for Monitoring, Evaluation and Detection Applications) sowie
- RoBiMo (Robotergestütztes Binnengewässer-Monitoring).

Aus den Titeln dieser Projekte geht eine deutliche Spezialisierung der vorgesehenen Forschungsvorhaben hervor. Auch in diesen Folgeprojekten wird ein intensiv interdisziplinäres Arbeiten wie auch enge Kooperation mit der Industrie stattfinden. Das hierfür nötige Interesse verschiedener Industriepartner konnte mittels der innerhalb der Projekte Mining-RoX und ARIDuA erreichten Forschungsergebnisse

geweckt werden und zeigt auch die Relevanz und die Bedeutung der Themen und der gewählten Ansätze in der Forschung zur Robotik und zum Internet der Dinge an der TU Bergakademie Freiberg.

Da das Projekt ARIDuA nun planmäßig beendet wurde, bietet sich die Gelegenheit, neben der Präsentation der geplanten und erreichten fachlichen Errungenschaften, die tielweise bereits 2018 an dieser Stelle vorgestellt wurden, auch die im Projekt involvierten Nachwuchswissenschaftler zu Wort kommen zu lassen.

Abb. 3: Mitarbeiter der ESF-Nachwuchsforschergruppe ARIDuA mit Julius im Forschungs und Lehrbergwerk der TU Bergakademie Freiberg.
V.l. Steve Grehl, Frederic Güth, Franziska Günther, Sebastian Varga, Robert Lösch

Robert Lösch:

ARIDuA ermöglichte es mir, in einem interdisziplinären Team an zwei sehr aktuellen und vielversprechenden Themen der Robotik und IoT zu arbeiten und meine Methoden in einem echten Bergwerk zu testen. Zum einen konnte ich meinen Interessenhorizont erweitern und meine Fähigkeiten im Bereich der autonomen Navigation unter Beweis stellen, auf der anderen Seite lernte ich viel Neues über die IoT, die Sensorik und über Bergwerke. Jetzt – nach Projektende – kann ich mich nur für die lehrreiche Zeit, für neue Kontakte und die gute Zusammenarbeit im Team bedanken und mich auf weitere spannende Projekte an der TU Bergakademie Freiberg freuen.

Frederic Güth:

Die ESF-Nachwuchsforschergruppe ARIDuA deckte ein extrem breites Interessen- und Anwendungsfeld moderner Technologien für den untertägigen Einsatz ab. Diese Breite spiegelte sich auch in der interdisziplinären Zusammensetzung des Teams wider. Meine Aufgabe als Materialwissenschaftler war es im Arbeitspaket 2 „Sensorintegration“ Lösungen für die sensorische Überwachung relevanter Umweltparameter zu identifizieren und technisch so auszuarbeiten, dass ein Betrieb ohne Abhängigkeiten von Infrastruktur – wie Strom- oder Netzwerkanbindung – möglich ist. Im Laufe des Projekts zeigte sich, dass damit eine steile Lernkurve verbunden war. Eine besondere Schwierigkeit war die Abstimmung der Komponenten auf den Einsatz in der herausfordernden Umgebung eines Bergwerks. Nicht alles, was im Labor funktionierte, konnte auch untertage reproduziert werden. Neben der Belastung der Technik durch die besonderen Umgebungsbedingungen war vor allem die drahtlose Datenübertragung im Bergwerk – im Vergleich zu den Laborversuchen – deutlich erschwert. Die Ausbildung der Strecken mit den unregelmäßig geformten Stößen dämpft die Funkwellen stark und reduziert somit deren Reichweite. Im Ergebnis konnte schließlich die Überwachung ausgewählter Bereiche durch ein vermaschtes Sensornetzwerk aus zahlreichen nah beieinander positionierten Knoten realisiert werden. Sehr interessant war es die parallel zum Projektverlauf stattfindende rasante Entwicklung dieser Technologie in der Wirtschaft zu beobachten, was die Relevanz der Projektkonzeption unterstreicht. Die Fülle an Herausforderungen in verschiedenen Bereichen – von der Konstruktion über die Elektronik, die Funktechnik bis hin zur Programmierung – erforderte Qualifikationen, die nicht durch eine Person abgedeckt werden können. Hier zeigte sich die Stärke des interdisziplinären Teams, das im intensiven Ideenaustausch gemeinsam Lösungen identifizierte und entwickelte. Hervorzuheben sind auch die Beiträge zahlreicher Studierender, die in Qualifizierungsarbeiten oder als Hilfskräfte zum Erfolg des Projekts beitrugen. Die intensive Betreuung der Studierenden nehme ich als eine ganz besondere Erfahrung aus ARIDuA mit, die in diesem Umfang und in solcher Breite bei anderen Projekten wohl nicht möglich gewesen wäre. Insgesamt konnte ich neben der fachlichen Weiterbildung durch meine Mitwirkung an der Lösung der technischen Aufgaben zahlreiche neue Kompetenzen im Bereich Projektmanagement und -koordinierung erwerben, die mir eine Zusammenführung auch kleiner Teilergebnisse verschiedener Akteure zu einer kompletten Lösung erlaubten.

Franziska Günther:

ARIDuA war mein erstes Projekt als wissenschaftliche Mitarbeiterin nach dem Bergbaustudium in Freiberg. Es war spannend, direkt in einem so interdisziplinären Team zu arbeiten und von den erfahrenen Teammitgliedern, die teilweise schon in das Vorgängerprojekt Mining-RoX involviert waren, zu profitieren. Zu meinen Aufgaben zählten u. a. die Ausarbeitung von Einsatzszenarien sowie die bergmännische Begleitung der Experimente unter Tage im Forschungs- und Lehrbergwerk. Dabei wurde immer wieder deutlich, dass es eine Herausforderung ist, modernste Technologien in die rauen Bedingungen unter Tage zu integrieren. Nicht nur Dunkelheit, Nässe, Enge und der unebene Untergrund unterscheiden sich von Einsatzgebieten für IoT und Roboter über Tage. Insbesondere auch die Integration in den Grubenbetrieb und die Einhaltung sicherheitsrelevanter Aspekte sind hierbei zu lösende Aufgaben.

Die Arbeit in ARIDuA war ein zukunftsweisender und hochinteressanter Einstieg in mein Berufsleben, bei dem mich auch die Integration der Weiterbildungsangebote und die Teilhabe an der Lehre in meiner persönlichen Entwicklung sehr vorangebracht haben. Ich bin gespannt, wie die Technologien im untertägigen Bergbau in den nächsten Jahren voranschreiten und bin mir sicher, dass die Erkenntnisse aus ARIDuA ihren Teil dazu beitragen werden.

Falk Schreiter:

Nachdem ich bereits am Projekt Mining-RoX mitarbeiten durfte, bot sich mir im direkten Anschluss daran die Möglichkeit, bei der Beantragung des ARIDuA-Projekts als ESF-Nachwuchsforschergruppe mitzuwirken. Sowohl im Projekt Mining-RoX, bei der Erstellung des Antrags für ARIDuA als auch später bei der Mitarbeit in der letzten Projektphase kam mir meine gewisse Affinität zu neuartigen Technologien, gepaart mit

einem Hang zur pragmatischen Umsetzung von Ideen, zugute. Immer wieder zeigte sich, dass Experimente und Vorgehensweisen, die übertage problemlos funktionierten, untertage teilweise schon während der Initialisierung fehlschlugen. Diese Erfahrung zeigte einmal mehr, wie wichtig speziell ausgelegte Forschung zur Anwendung von Roboter- und Sensortechnik für den untertägigen Einsatz ist, da eine einfache Übertragbarkeit von Standardlösungen hier nicht gegeben ist. Am Ende hat auch hier die Zusammenarbeit von Forschern verschiedener Fachrichtungen mit unterschiedlichen speziellen Fähigkeiten oftmals Wege eröffnet, nach denen ein einzeln arbeitender Forscher lange gesucht hätte. Es war immer lehrreich und zumeist recht kurzweilig, in solch einem Team zu arbeiten.

Steve Grehl:

Als Mitarbeiter im Mining-RoX- und ARIDuA-Projekt begleite ich die Bergwerksrobotik hier in Freiberg seit 2014. Dabei hat sich über die Jahre herausgestellt, dass die praktische Erprobung im Forschungs- und Lehrbergwerk für beide Projekte entscheidend war. Das hat es mir ermöglicht, über Laborerprobungen hinaus Forschung auch im zukünftigen Anwendungsfeld zu betreiben.

Die bereits angesprochene Interdisziplinarität ist hier genauso wichtig wie die Erprobung unter Tage. Das Feedback und die Ideen aller Teammitglieder weiteten den eigenen Blick und erlaubten es, aus dem fokussierten Forschertrott auszubrechen. Wenn ich mir für die Zukunft etwas wünschen könnte, dann wäre das eine durchgreifende Modernisierung des Bergwerks. Gerade die digitale Infrastruktur benötigt ein Upgrade auf aktuellen Industriestandard. Das Bergwerk streckenweise mit WLAN auszustatten, war sicherlich ein erster, nötiger Schritt. Der wahre Nutzen von IoT und Robotik im Bergwerk wird sich zeigen, wenn mehrere Geräte mit entsprechenden Schnittstellen ausgestattet und der Betrieb im Bergwerk digital erfasst wird. So kann die Bergakademie ihrem Ruf als Innovationsträger im Bergbau weiterhin gerecht werden.

Nasrin Rezaei:

Mit dem Projekt ARIDuA gelang ein gewichtiger Fortschritt in Richtung der Digitalisierung des Bergbaus. Ein großer Vorteil, der erheblich zum Erreichen der Projektziele beitrug, war die Möglichkeit, reale Testbedingungen im Forschungs- und Lehrbergwerk der Bergakademie zu nutzen. Regelmäßige Tests der von uns entwickelten Algorithmen und Geräte konnten so unter den späteren Einsatzbedingungen erfolgen. Ich beschäftigte mich insbesondere mit der Vorverarbeitung von Sensordaten unter Zuhilfenahme neuronaler Netze, wobei durch Auswertung von Messdaten von Gaskonzentrationen Parameter für die Modellierung auch zu erwartender Konzentrationen ermittelt werden konnten. Somit kann extrem frühzeitig auf mögliche Anstiege solcher Konzentrationen reagiert werden.

Mir war es persönlich wichtig, an einem praxisorientierten Projekt mitarbeiten zu können. Besonders hat mich dabei die Verbindung der Themenbereiche Automatisierung und Industrie 4.0 interessiert. Es ist ein schönes Gefühl, mit meiner Arbeit einen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit von Bergwerksbetrieben geleistet zu haben. Die gute Zusammenarbeit im Team und die regelmäßigen Treffen mit umfangreichen Erfahrungsaustauschen empfand ich als sehr hilfreich, die im Projekt anvisierten Ziele zu erreichen.

Sebastian Varga:

Ich möchte zum Vorhaben ARIDuA ein insgesamt äußerst positives Resümee ziehen. Hierbei sind insbesondere die Art der Projektdurchführung, die Vernetzung aller beteiligten Professuren und die persönliche Förderung der Nachwuchswissenschaftler hervorzuheben.

Bei der Projektführung stand den Nachwuchswissenschaftlern viel Raum zur Umsetzung eigener Ideen zur Verfügung. Dies betraf – neben gemeinschaftlichen Arbeiten im Projektteam – vor allem auch die jeweils eigenen Forschungsansätze. Der regelmäßige Ideenaustausch zwischen allen in das Projekt involvierten Mitarbeitern im Rahmen eines monatlichen Jour Fixe trug zu einer besseren Vernetzung der beteiligten Lehrstühle auch außerhalb des eigentlichen Projekts bei. Die Förderrichtlinien für die Nachwuchsforschergruppe, finanziert aus Mitteln des ESF, sahen neben den wissenschaftlichen Arbeiten auch eine Weiterbildung zur verbesserten Entwicklung der organisatorischen und sonstigen persönlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten der beteiligten Nachwuchswissenschaftler vor. Für die Organisation des Projekts wurde daher ein rotierendes System gewählt, so dass jeder der Nachwuchswissenschaftler Verantwortung im Projektmanagement und bei Verwaltungsaufgaben übernehmen musste. Zudem wurden vom Projektteam zahlreiche Weiterbildungsmöglichkeiten im Umfeld der TU Bergakademie Freiberg (GRAFA) sowie des Fortbildungszentrums Meißen gut angenommen.

Für Folgeprojekte wäre es meiner Meinung nach wünschenswert, wenn die einzelnen Professuren auch bezüglich der jeweiligen Promotionsvorhaben der Nachwuchsforscher noch enger zusammenarbeiteten. So könnten z. B. bereits bei Projektbeginn entsprechende Zweitbetreuer für die Dissertationen benannt werden, was den Fachübergriff einzelner Promotionsthemen nochmals verstärken würde. Auch halte ich es für sinnvoll, die Auswahl der von den Mitarbeitern absolvierten Weiterbildungskurse nach einer in der Gruppe ausgeführten individuellen Stärken- und Potenzialanalyse vorzunehmen und mit den jeweiligen fachlichen Betreuern abzustimmen.

Fazit

Die vorgesehene Abschlusspräsentation im Rahmen des Berg- und Hüttenmännischen Tages (BHT) 2020, die gleichzeitig als Forum für die im Freistaat Sachsen tätigen Robotik-Forschungsgruppen geplant war, musste aufgrund der durch die Corona-Pandemie bedingten Einschränkungen leider ausfallen. Hoffen wir darauf, dass es uns gelingen wird, dies zum nächsten BHT nachzuholen.

Abschließend sei bemerkt, dass es sicher nicht immer einfach war, die Wünsche und Vorstellungen eines solchen „bunt gemischten Haufens“ von Forschern aus verschiedenen Fachrichtungen unter einen Hut zu bringen. Auch gab es die eine oder andere festgefahrene Diskussion darüber, welcher der richtige nächste Schritt sein würde und wessen Teilaufgabe die höchste Priorität habe. Auf der anderen Seite konnte durch die Zusammenarbeit die Weitsicht und vor allem auch die Teamfähigkeit aller Projektteilnehmer unterstützt und verbessert werden. Auch trägt die Betrachtung der eigenen Forschung aus einem fachfremden Blickwinkel oftmals zur Entdeckung neuer, teilweise unorthodoxer, aber hocheffizienter Möglichkeiten und damit zur Optimierung des eigenen Vorgehens bei.

Auch von Seiten der Professoren wurde das Vorhaben ARIDuA, und – neben den erzielten fachlichen Ergebnissen – hier insbesondere die Teamfähigkeit und stete lösungsorientierte Zusammenarbeit der Nachwuchsforscher ausgesprochen positiv gewertet. Prof. Mischo dankt daher als Sprecher des Projekts im Namen aller Professoren den beteiligten Wissenschaftlern und wünscht für den weiteren Berufsweg genauso viel Freude und Erfolg wie im Projekt ARIDuA.

Studium

Weiterentwicklung des Studienangebots an der TU Bergakademie Freiberg

Silvia Rogler[1]

Der Wirtschaftsstandort Deutschland verlangt in den kommenden Jahren nach einer Vielzahl an exzellent ausgebildeten Akademikern. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, passt die TU Bergakademie Freiberg regelmäßig ihr Studienangebot an. Einerseits werden bestehende Studiengänge überarbeitet, andererseits neue Studiengänge konzipiert und eingeführt. Die Fakultäten und das Prorektorat Bildung arbeiten hierbei eng zusammen. Diese Arbeit ging trotz der Einschränkungen, die sich durch den Standby-Betrieb der Universität im Frühjahr und Sommer 2020 ergaben, weiter.

Änderung bestehender Studiengänge

Änderungen bestehender Studiengänge sind regelmäßig notwendig, um diese an sich ändernde Rahmenbedingungen anzupassen und damit noch attraktiver zu machen. Beispielsweise zeigt sich bei manchen Modulen, dass durch eine Anpassung von z. B. Prüfungsleistungen die Studierbarkeit verbessert werden kann. Zudem haben die Neubesetzungen von Professuren geänderte Lehrveranstaltungen zur Folge, die in die Ordnungen eingearbeitet werden müssen. Bei den englischsprachigen Masterstudiengängen wurden teilweise die Zulassungsvoraussetzungen überarbeitet, um zu vermeiden, dass Studierende aufgrund nicht passender Vorkenntnisse Probleme im Studium bekommen.

Einführung neuer Studiengänge

Außer diesen Änderungen wurden auch drei neue Studiengänge entwickelt, die zum Wintersemester 2020/21 starteten. Parallel dazu werden bestehende Studiengänge eingestellt.

Die zu Beginn formulierte Anforderung, in Zukunft eine Vielzahl exzellent ausgebildeter Akademiker bereitzustellen, gilt in besonderer Weise für die Unternehmen im Bereich der Mobilität – einem der größten deutschen Wirtschaftsbereiche, der aktuell starken Veränderungen ausgesetzt ist. Die Fakultät für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie hat aus diesem Anlass ein neues Angebot erarbeitet, um naturwissenschaftlich interessierten Schülern ein Studium als Einstieg in das Zukunftsthema der Mobilität anzubieten – mit besonderem Fokus auf die Bereiche Fahrzeugbau, Werkstoffwissenschaft sowie Werkstofftechnologie. Der neue Diplomstudiengang „Advanced Components: Werkstoffe und Komponenten für die Mobilität“ stellt eine tiefgreifende Weiterentwicklung des bisherigen Studiengangs „Fahrzeugbau: Werkstoffe und Komponenten“ dar, der mit der Einführung des neuen Studiengangs eingestellt wird.

Das Studienprogramm sieht für die Phase nach dem Grundstudium, das bereits auf eine sehr praxisnahe Ausbildung ausgerichtet ist, im Wesentlichen drei Vertiefungsrichtungen im Hauptstudium vor, die einzeln oder auch in Kombination belegt werden können. Als Vertiefungsrichtung bietet das Studium die Schwerpunkte Konstruktion, Werkstoffdesign und Elektromobilität. Die Ausbildung erfolgt dabei unter stetiger Einbeziehung vertiefter Kenntnisse zu den für mobile Anwendungen relevanten Werkstoffgruppen. Hiermit sollen die Absolventen in die Lage versetzt werden, nicht nur auf die Mobilitätsbelange von heute zu reagieren, sondern die Fragestellungen auch von morgen und übermorgen beantworten zu können. Die Studierenden sind nach dem erfolgreichen Abschluss des Studiengangs in der Lage, die im Markt der Zukunft erforderlichen Kenntnisse bezüglich der Prozesskette von der Berechnung/Konstruktion und Werkstoffauswahl über die Fertigungsplanung, die Fertigung selbst bis hin zum Werkstoffeinsatz für bestehende und neue Aufgabenstellungen wissenschaftlich anzuwenden sowie neue Konzepte für mobile Anwendungen zu entwickeln. Die Einsatzgebiete der Absolventen werden hauptsächlich in lukrativen Positionen der Automobil- und Fahrzeugindustrie sowie in der entsprechenden Zuliefer- und Halbzeugindustrie zu finden sein.

Eine Besonderheit stellt das studentische Rennsportprojekt „Formula Student“ dar, das eng in den Studienablauf eingebunden ist. Bei diesem Projekt konstruieren und fertigen ambitionierte Studierende aller Fakultäten jährlich einen neuen Rennwagen und messen sich mit Teams aus aller Welt auf der Rennstrecke. Mit diesem Projekt eröffnet sich für die Beteiligten die Möglichkeit, ihre individuelle Entfaltung bereits während des ingenieurwissenschaftlichen Studiums zu fördern und zu unterstreichen.

Die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften hat ihre bisherigen sehr erfolgreichen Studiengänge „International Management of Resources and Environment (IMRE)“ sowie „International Business in Developing and Emerging Markets (IBDEM)“ zu einem neuen Masterstudiengang zusammengefasst: „International Business and Resources in Emerging Markets (IBRE)“. Der neue Masterstudiengang ist ein wirtschaftswissenschaftlich orientierter Studiengang, der den Studierenden eine moderne Ausbildung für eine Beschäftigung im internationalen Management von Unternehmen, von Verwaltungen und internationalen Organisationen anbietet. Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse sowohl in den Bereichen der modernen Volkswirtschaftslehre – hier insbesondere der modernen Entwicklungs- und Umweltökonomik – als auch in den wichtigsten Bereichen des internationalen Managements unter besonderer Berücksichtigung von ressourcenbezogenen Industrien. Die Verbindung aus beiden soll den zukünftigen internationalen Managern einerseits die notwendige Sensibilität für die Besonderheiten des Managements in Ost-, Südost- und Westeuropa sowie in den asiatischen Schwellenländern und andererseits die zunehmende Bedeutung ökologischer Zusammenhänge vermitteln.

Der MBA-Studiengang soll die Studierenden damit befähigen, organisatorische und unternehmerische Managementprobleme im internationalen Kontext unter Zuhilfenahme neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse zu lösen. Besonderes Augenmerk gilt dabei den wirtschaftlichen Gegebenheiten nachholender Wirtschaftsregionen und ihrer Beziehungen untereinander, der Rolle natürlicher Ressourcen und des Umweltschutzes für wirtschaftliche Aktivität und Entwicklung nicht nur in nachholenden Ländern, sondern auch im für internationalisierte Unternehmen wichtigen Bereich der interkulturellen Kommunikation.

Die Zusammenlegung bot sich an, weil die Synergien zwischen den beiden MBA-Studiengängen weit fortgeschritten waren. Der Vorteil des kombinierten Studiengangs besteht darin, dass sich die Studierenden nicht schon zu Beginn für eine bestimmte Richtung entscheiden müssen, sondern erst später zwischen zwei

1 Univ.-Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg, Prorektorin Bildung bis 31.10.2020.

Vertiefungen wählen können. Die eine Vertiefung (International Business) fokussiert auf multinationale Unternehmen, deren wirtschaftliche Bedeutung sowie auf die Besonderheiten des internationalen Managements, die andere Vertiefung (Resources and Environment) bezieht sich auf die Beschaffung und den Einsatz natürlicher Ressourcen in Unternehmen sowie auf die Implikationen von Wirtschaften auf die Umwelt. Beide Spezialisierungen sind auch so weit permeabel, dass insgesamt ein inhaltlich viel breiteres Angebot gemacht werden kann. Die Besonderheit des bisherigen IBDEM-Programms, ein verpflichtendes Auslandssemester an ausgewählten Partneruniversitäten, ist in dem Schwerpunkt International Business erhalten geblieben. Im Schwerpunkt Resources and Environment wird daran gearbeitet, ebenso passende Partneruniversitäten zu gewinnen – bis hin zur Möglichkeit, auch hier Doppelabschlüsse in Kooperation anbieten zu können.

Der Bachelorstudiengang „Engineering" ist ein vollständig neu entwickelter Studiengang der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, der aus mehreren Teilstudiengängen besteht. Er ist geschaffen für alle angehenden Studierenden, die sich bereits für eine der Ingenieurdisziplinen (Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Energietechnik, Umwelttechnik oder Technologie und die Anwendung nichtmetallischer Werkstoffe) entschieden haben. Durch das erstmals in Deutschland angewandte Prinzip der Teilstudiengänge im Ingenieurwesen bietet dieser Studiengang die Möglichkeit, trotz eines gemeinsamen Studieneinstiegs in den ersten drei Semestern am Ende genau den Bachelorabschluss zu bekommen, den man sich wünscht, also Maschinenbauingenieur, Verfahrenstechnikingenieur, Energietechnikingenieur, Umweltingenieur oder Werkstoffingenieur. Darüber hinaus ist er aber auch der perfekte Studiengang für alle Studierenden, die sich gerade noch nicht für eine der Disziplinen entscheiden können, sich aber für Technik und das Ingenieurwesen interessieren. Denn nach dem neuen Konzept dieses Bachelors werden alle Studierenden die ersten drei Semester gemeinsame Module belegen und so einen guten Überblick über die Bereiche der Ingenieurwissenschaften erlangen, während sie ihre Methoden-, Fach- und Sozialkompetenz ausbauen. Hier werden direkt von Beginn an die für einen Ingenieur typischen Fächer gelehrt, wie Konstruktion, Mechanik, Elektrotechnik und Thermodynamik sowie die nötigen Grundlagen in Mathematik, Chemie und Physik gelegt. Nach dem dritten Semester kann auf dieser Basis und mit dem dann vertieften Wissen über die einzelnen Ingenieurdisziplinen eine qualifizierte Entscheidung für das weitere Studium getroffen und damit der entsprechende Teilstudiengang gewählt werden, der dann wieder mit dem spezifischen Abschluss, also bspw. dem Maschinenbauingenieur, abschließt. Bislang existieren für diese Teilgebiete getrennte Bachelor-Studiengänge, die nach der Einführung des neuen Studiengangs eingestellt werden sollen.

In den Teilstudiengängen – Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Energietechnik, Umwelttechnik sowie Technologie und Anwendung nichtmetallischer Werkstoffe – werden die fachlichen Vertiefungen weiter ausgebaut. Hierfür hat jeder Teilstudiengang ca. 50 Leistungspunkte in sogenannten Schwerpunktmodulen, die die Studierenden auf die individuell spezifischen Anforderungen im Beruf der gewählten Fachrichtung vorbereiten. Zusätzlich werden aber auch die persönlichen Interessen berücksichtigt und die individuellen Fähigkeiten gestärkt. Da jeder Teilstudiengang die Wahl von spezifischen Modulen im Umfang von ca. 15 Leistungspunkten ermöglicht, hat jeder Studierende selbst die Wahl, sich in seinem gewählten Bereich tiefer zu spezialisieren oder eher etwas breiter aufzustellen. Studieren bedeutet aber auch, über den Tellerrand hinaus zu schauen; deswegen haben alle Studierenden die Möglichkeit, in einem allgemeinen Wahlmodul eines beliebigen Themas aus dem Portfolio der TU Bergakademie Freiberg oder einer kooperierenden Hochschule zu wählen, die der persönlichen Entwicklung am meisten hilft. Die Wahl hierfür ist bewusst nicht eingeschränkt; Module der Wirtschaftswissenschaften, der Industriearchäologie, der Ethik, aus dem Bereich der Naturwissenschaften oder sogar wissenschaftliches Tauchen: Hier ist alles möglich. So werden Ingenieure mit spezifischen Fähigkeiten für unterschiedliche Berufsbilder, aber unter spezieller Beachtung und intensiver Förderung der eigenen Fähigkeiten und Persönlichkeit ausgebildet.

Aufrechterhaltung der Lehre in einer Sondersituation – Standby-Betrieb einer Universität

Silvia Rogler[1]

Das Jahr 2020 hat die TU Bergakademie Freiberg vor große Herausforderungen gestellt. Einen Standby-Betrieb der gesamten Universität gab es während ihrer über 250jährigen Geschichte nicht. Genauer müsste es heißen, einen Standby-Betrieb mit Weiterführung der Lehre in einer anderen Form gab es noch nicht, da zu drei früheren Anlässen eine komplette Einstellung des Lehrbetriebs erfolgte.

Zu einer ersten Einstellung kam es vom 17. Februar bis zum 31. März 1845. Ausgangspunkt waren Streitigkeiten von Studenten und dem Freiberger Offizierskorps mitsamt einem tödlichen Duell. Fast alle Studenten wurden danach exmatrikuliert und die Bergakademie durch das Finanzministerium vorübergehend geschlossen. Die zweite Einstellung des Lehrbetriebs (nicht der Forschung) war kriegsbedingt, mit Beginn des Wintersemesters 1939. Am 8. Januar 1940 ging es aber weiter. Nach dem Krieg, vom 3. Mai 1945 bis zum 7. Februar 1946, stellte die Besatzungsmacht den Lehrbetrieb ein – nicht dagegen die Forschung, an deren Ergebnissen auch sie interessiert war. Die Wiederaufnahme der Lehre erfolgte am 8. Februar 1946. Der provisorische Senat hatte zwar die Lehre bereits am 15. Juni 1945 wieder zugelassen, musste diese aber am 27. Juli 1945 auf Anordnung des Stadtkommandanten wieder einstellen.

Kommen wir nach dem kurzen historischen Rückblick zurück in das Jahr 2020. Der Standby-Betrieb hatte erhebliche Auswirkungen auf die Lehre, da kurzfristig neuartige Lösungen gefunden werden mussten. Durch das herausragende Engagement aller Angehörigen der Universität wurde diese Zeit gemeistert. Hierfür gebührt allen Kolleginnen und Kollegen ein großer Dank.

1 Univ.-Prof. Dr. Silvia Rogler, TU Bergakademie Freiberg, Prorektorin Bildung bis 31.10.2020.

Relativ einfach war das Problem der *Erreichbarkeit zentraler Anlaufstellen* für die Studierenden, sei es in der Verwaltung oder in den Fakultäten, zu lösen. Da die Präsenz-Sprechstunden eingestellt werden mussten, wurde schnell auf E-Mail-Sprechstunden umgestellt. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter standen den Studierenden für ihre Fragen auch aus dem Homeoffice heraus zur Verfügung.

Aufwendiger war die Umstellung der *Lehre.* Die Verschiebung des Beginns der Präsenzveranstaltungen aufgrund der Covid-19-Pandemie bedeutete, dass neue Wege der Wissensvermittlung gefunden werden mussten. Es war bewundernswert, wie schnell die Lehrenden auf die neue Situation reagierten. Bereits zum Semesterstart am 6. April wurden über 500 Veranstaltungen in verschiedenen Formaten digital bereitgestellt.[2] Die Angebote reichten von Powerpoint-Präsentationen im Bildungsportal OPAL über Audiodateien bis hin zu Vorlesungen im virtuellen Klassenzimmer. Dieses Angebot wurde in den nachfolgenden Tagen und Wochen kontinuierlich erweitert. Damit die Studierenden bei der Vielzahl der Lehrveranstaltungen den Überblick wahren konnten, wurden entsprechende Übersichten, gegliedert nach Fakultäten, auf der Homepage bereitgestellt. Ohne die Unterstützung des Universitätsrechen- und Medienzentrums wäre dies alles in der kurzen Zeit nicht möglich gewesen. Es war keine leichte Aufgabe, die Technik am Laufen zu halten bzw. dafür zu sorgen, dass ausreichend Kapazitäten zur Verfügung stehen. Auch wenn es kleinere Probleme gab, hat es insgesamt gesehen sehr gut funktioniert.

Im Sommersemester 2020 blieb es schwerpunktmäßig bei der digitalen Lehre, auch wenn ab Mai mit ausgewählten Präsenzveranstaltungen begonnen wurde. Dazu hatten die Fakultäten und das Rektorat eine Prioritätenliste entwickelt. Angefangen wurde am 4. Mai mit Veranstaltungen, bei denen persönliche Anwesenheit an der Universität zwingend erforderlich ist, z. B. bei Laborpraktika und Arbeiten an Geräten, sowie mit Einzelprüfungen mit Labor-, Technologie- und Gerätebindung sowie Einzelprüfungen in dringenden Fällen. Alle Präsenzveranstaltungen fanden unter besonderen hygienischen Vorkehrungen statt. Die zeitlich gestaffelte Prioritätenliste sah ab 20. Mai Veranstaltungen vor, bei denen aufgrund von Abhängigkeiten eine Studienverzögerung von mehr als einem Semester im Raum stand – sowie ab 8. Juni Präsenzveranstaltungen in kleinen Gruppen, sofern die Präsenzlehre für den Prüfungserfolg der Studierenden zwingend erforderlich ist und keinesfalls durch digitale Formate ersetzt werden kann. Alle anderen Präsenzveranstaltungen werden frühestens zum Wintersemester 2020/21 starten können.

Außer der Frage, wie die Vorlesungen, Übungen, Seminare usw. durchgeführt werden können, mussten auch Probleme im Zusammenhang mit den *Prüfungen* gelöst werden – z. B. wie mit Prüfungsleistungen oder Prüfungsvorleistungen zu verfahren ist, die von der Universität nicht angeboten werden können. Dank der Mitarbeit aller wurden hierfür schnell konstruktive Lösungen gefunden. Die Prüfungen des Wintersemesters 2019/20, die verschoben werden mussten, konnten im Juni nachgeholt werden. Die Prüfungen des Sommersemester 2020 starteten zwei Wochen später als üblich, um den Studierenden mehr Vorbereitungszeit zu ermöglichen. Auch hier waren zahlreiche Detailfragen zu klären – beispielsweise, wie auch bei großen Prüfungen die notwendigen Hygienemaßnahmen eingehalten werden können. Für die Prüfer bedeutete das, dass sie mehr Aufsichten zur Verfügung stellen mussten, da größere Prüfungen in viel mehr Räumen als üblich stattfanden. Fehlende Kapazitäten an kleineren Professuren bzw. Instituten konnten kollegial ausgeglichen werden.

Zu guter Letzt mussten auch die *Studierenden* mit der geänderten Art der Wissensvermittlung zurechtkommen. Dies war bestimmt nicht einfach. Nicht nur, weil die sonst so wichtigen persönlichen Kontakte und Aktivitäten entfielen, sondern auch, weil eine hohe Selbstdisziplin erforderlich ist, um sich allein das Wissen anzueignen. Es gab zwar viele Möglichkeiten, in Chat-Sprechstunden oder im Rahmen anderer Formate Fragen zu stellen, aber dies kann den persönlichen Kontakt nicht ersetzen. Aber auch dank der Mitarbeit der Studierenden war das Sommersemester 2020 kein „verlorenes“ Semester. Für das WS 2020/21 wurde der Großteil der Veranstaltungen in Präsenz geplant, mit großen Abständen in den Hörsälen. Aufgrund der aktuellen Entwicklung des Infektionsgeschehens in Sachsen hat das Rektorat aber inzwischen die dringende Empfehlung ausgesprochen, den Lehrbetrieb so weit wie möglich auf Online-Formate umzustellen. Es bleibt zu hoffen, dass es nicht zu lange dauern wird, bis wieder ein „Normalbetrieb“ möglich ist.

2 Zu den E-Learning-Angeboten siehe auch nachfolgender Beitrag „Digitalisierung in der Lehre“.

Digitalisierung in der Lehre

Yulia Dolganova, Urs A. Peuker

Universitäten sind der Inbegriff für innovationsgetriebene Forschung und Lehre. Gerade die Hochschulbildung an technikorientierten Einrichtungen zeichnet sich durch ein hohes Tempo bei der Einführung neuer Technologien aus. Die zunehmende Digitalisierung in der Lehre ist deshalb eine ganz logische Konsequenz dieses Selbstverständnisses. Sie schafft sowohl Chancen als auch Herausforderungen für Lehrende und Studierende.

Die TU Bergakademie Freiberg hat das Potenzial digitaler Hochschulbildung rasch erkannt und sich zum Ziel gesetzt, die Lehre in weiten Teilen digital anzureichern, um hochwertige und individuell angepasste Lernumgebungen zu schaffen. Damit stellt sie sich den aktuell für sie größten Herausforderungen in Studium und Lehre, wie vor allem der steigenden Vielfalt der Studierendenschaft, dem Wunsch nach mehr Flexibilität und Individualität im Studium sowie der ebenfalls zunehmenden Mobilität und Internationalisierung.

Nicht erst seit Corona steckt die TU Bergakademie Freiberg im digitalen Wandel. Bereits seit mehr als zehn Jahren werden digitale Lehr- und Lernangebote geschaffen, die die klassische Präsenzlehre, also die Lehre vor Ort in den Hörsaal- und Seminargebäuden, ergänzen. Digitale Lehre umfasst ein breites Spektrum, angefangen beim Einsatz digitaler Präsentationsmedien in Hörsälen bis hin zur Virtual-Reality-Technologie in bestimmten Fachrichtungen.

Die wichtigste Anlaufstelle für alle Angehörigen der Universität bei Fragen zur Entwicklung, Gestaltung und Nutzung elektronisch gestützter Lehr- und Lernmaterialien ist das Medienzentrum. Seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

unterstützen alle Lehrenden in den Bereichen E-Learning, Lehrraum-Medientechnik und Medienproduktion. In jedem Semester werden ca. zehn Schulungen mit verschiedenen Schwerpunkten realisiert – vom Einstieg in die Nutzung des Lernmanagementsystems OPAL über die Vorstellung der digitalen Tools bis hin zu konkreten Einsatzmöglichkeiten neuer Lehrtechnologien im Hörsaal. Auch eine E-Werkstatt zum Thema Videos wird angeboten. Mehrere Hörsäle – wie z. B. der neue Hörsaal im Schloßplatzquartier – wurden mit modernster Technik für die Durchführung von Streamings und für Vorlesungsaufzeichnungen ausgestattet.

Die Digitalisierung beschränkt sich jedoch nicht auf hoch technologisierte Fachbereiche, sondern ist längst in der Breite der Lehre an der TU Bergakademie Freiberg angekommen. Dabei hat die digitale Lehre in den letzten Jahren durch verschiedene Projekte Aufwind bekommen, darunter ein seit 2017 vom BMBF finanziertes Projekt zur Förderung selbstorganisierten Lernens: In fünfzehn interdisziplinären Arbeitsgruppen sind innovative Lehr- und Lernkonzepte erarbeitet worden, die dank digitaler Tools flexible und individuelle Lernprozesse unterstützen sollen. Im Mittelpunkt steht dabei vor allem die Lernplattform OPAL, die Lehrenden und Lernenden nicht nur Möglichkeiten bietet, Lernmaterialien online zur Verfügung zu stellen, sondern auch komplette Kurse online abbilden kann, einschließlich Multimedia-Anwendungen wie Podcasts oder Lernvideos. Darüber hinaus bietet sie Möglichkeiten zu vernetztem Arbeiten. Dadurch ist die Plattform ein geeignetes Tool um die klassische Präsenzlehre anzureichern, aber auch um Unterrichtseinheiten beispielsweise im sogenannten Flipped-Classroom-Modell[1] zu verpacken. Dabei werden Online-Einheiten mit Präsenzeinheiten kombiniert, d. h., Studierende können sich z. B. mittels Online-Materialien gezielt für ihre Unterrichtseinheiten vor Ort vorbereiten und dann zusammen mit ihren Dozierenden und Kommilliton*innen vertieft bestimmte Aufgaben- und Fragestellungen angehen.

1 Mit den synonymen Begriffen *Flipped Classroom* bzw. *Inverted Classroom* wird eine Unterrichtsmethode bezeichnet, in der die üblichen Aktivitäten innerhalb und außerhalb des Hörsaals oder Klassenzimmers „umgedreht“ werden. Quelle: e-teaching.org, 23.06.2020, URL: https://e-teaching.org/lehrszenarien/vorlesung/inverted_classroom/, Abruf am 16.07.2020.

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Das neue Hörsaalgebäude der Fakultät für Wirtschaftswissenschaft in der Prüferstraße in Freiberg

Ein weiteres wichtiges Ziel des HSP-III-Projekts ist es, die Lehrenden, die sich für E-Learning interessieren, zu unterstützen und die Hürden für den Einstieg abzubauen bzw. niedrig zu halten. Dafür wurde der Werkzeugkasten E-Learning entwickelt, der allen Angehörigen der TU Freiberg zur Verfügung steht. Dieser beinhaltet technische Anleitungen und mediendidaktische Informationen wie auch *Best Practice*-Beispiele aus einzelnen Modulen. Darüber hinaus wurden mehrere Weiterentwicklungen am Lehrmanagementsystem OPAL und am E-Assessment Tool ONYX durchgeführt. Die Lernplattform OPAL wird von nahezu allen Lehrenden der Universität genutzt, angefangen bei der Terminabsprache über das Bereitstellen von Inhalten bis hin zum sogenannten E-Assessment, d. h. der Wissenskontrolle über Online-Tests bzw. Quizzes. Mit ihrem breitgefächerten Einsatzspektrum hat sich die Lernplattform sachsenweit als Standard durchgesetzt und sich außerdem als wichtigster Anker im coronabedingten Online-Semester erwiesen.

Einen beachtlichen Schub hat die Digitalisierung der Lehre mit Beginn des Sommersemesters 2020 erfahren. Die Corona-Pandemie hat die Hochschulen deutschlandweit in den Standby-Betrieb versetzt. Der physische Kontakt zu Lehrenden und Kommilitonen*innen wurde eingestellt und die Online-Lehre für das Sommersemester zum Standard erklärt. Aus einem bislang eher kontinuierlichen Transformationsprozess wurde eine sprunghafte Entwicklung, die alle an Hochschulen Lehrenden heftig herausgefordert hat. Auch an der Freiberger Universität haben Lehrende und an der Lehre beteiligte Mitarbeiter*innen höchste Anstrengungen unternommen, den Lehrbetrieb mit Hilfe digitaler Angebote aufrechtzuerhalten. Bereits mit Beginn des Sommersemesters wurden im Lernportal gut 350 neue Kurse erstellt – das entspricht einem Zuwachs von rund 20 Prozent im Vergleich zum Wintersemester 2019/20. Und auch das Videoportal hat deutlich an Inhalten zugelegt. Dort wurden im Laufe dieses Semesters ca. 2.500 neue Videos hochgeladen, das ist eine Steigerungsrate von fast 200 Prozent. Viele Lehrende haben ihre Vorlesungen aufgenommen und über das Portal bereitgestellt. Außerdem wurden zahlreiche Vorlesungen, Seminare und Konsultationen in den virtuellen Raum verlagert. Schnell waren die bewährten Konferenztools am Limit und zusätzliche Kapazitäten mussten geschaffen werden. Mit dem neuen Konferenzsystem BigBlueButton hat die TU Bergakademie Freiberg entsprechend aufgerüstet und virtuelle Lehrräume bereitgestellt. Im Schnitt wurden wöchentlich 300 Lehrveranstaltungen über das System abgewickelt, und auch außerhalb der täglichen Kernzeiten wurde das Tool für Online-Veranstaltungen – wie beispielsweise für die Gremiensitzungen des Studentenrats sowie der Fachschaftsräte – genutzt.

Nicht nur für die Lehrenden war das Sommersemester ein Semester der Neuerung. Auch Studierende mussten sich mit digitalen Tools – wie vor allem mit dem Lernportal, aber auch mit Videokonferenzsystemen – vertraut machen. Noch schwieriger waren die Umstände für die Erstsemester-Studierenden, welche Not hatten, sich im Uni-Alltag zurechtzufinden und in der Studierendencommunity anzukommen. In Kooperation mit verschiedenen Einrichtungen der Uni wurden auch hier Angebote geschaffen, um Studierenden die Möglichkeit zu bieten, sich auszutauschen, aber auch ihre Sorgen und Wünsche in dieser außergewöhnlichen Situation mitzuteilen und ihre Motivation wiederzufinden.

Der Umstieg auf Online-Lehre erschien allen Beteiligten wie ein eher unfreiwilliges Experiment, dennoch hat sich aus dem digitalen Chaos gewissermaßen schon eine Routine entwickelt. Es wurden sowohl Ressourcen aus- und aufgebaut als auch Kompetenzen geschult und ausgebildet, welche auch nach Corona eine nachhaltig moderne Lehre bzw. ein modernes Lernen erlauben werden.

Mein Sommersemester 2020

Andreas Müller[1]

© PAUL KÜCHEL PYKADO PHOTOGRAPHY

Ich bin 25-jähriger Diplomstudent im sechsten Fachsemester des spannenden Studiengangs Geotechnik/Bergbau. Im Folgenden möchte ich meine Erfahrungen bezüglich des Studierens in der Gesundheitskrise mit den Lesern der ACAMONTA teilen und einen kleinen Einblick in meinen Studienalltag während des Sommersemesters gewähren.

Das erste Mal entstand der unmittelbare Kontakt zwischen meinem Studium und der Corona-Krise in der letzten Prüfungswoche des vorhergehenden Wintersemesters 2019/20. Eigentlich sollte ich noch eine Prüfung hinter mich bringen und dann zwei Tage später mit dem Zug nach Edinburgh (Schottland) reisen, um dort für zwei Wochen – bis zum Beginn der Vorlesungen des Sommersemesters – eine Sprachschule zu besuchen. Doch zu Wochenbeginn wurde die Prüfung auf Anweisung des SMWK und der Landesrektorenkonferenz abgesagt. Einen Tag vor Reiseantritt gab dann die Sprachschule ihre vorübergehende Schließung bekannt; das Auswärtige Amt verhängte eine Reisewarnung und manche Züge wurden gestrichen. Natürlich war ich über diese beiden – zwar absehbaren, aber doch einschneidenden – Neuigkeiten enttäuscht. Die Wohnung war geputzt, alles war für eine zweiwöchige Reise vorbereitet und der Verlauf des neuen Semesters war nun nicht absehbar. Also entschied ich mich dafür, meine Eltern zu besuchen. Dort, in einem kleinen Dorf, waren die Auswirkungen der Krise nicht so stark zu spüren, die erschreckendsten Nachrichten kamen nicht aus dem eigenen Umfeld. Jedoch konnte man über die Medien einen Eindruck von den weitreichenden, weltweiten Auswirkungen der Pandemie gewinnen. Die ersten freien Tage nutzten meine Familie und ich, um Haus und Garten auf Vordermann zu bringen. Selbstverständlich verfolgte ich interessiert die weiteren Entwicklungen und wartete auf neue Infos seitens der Hochschule, ob und inwieweit die Lehre im Sommersemester vonstattengehen würde.

Am 2. April gab die Universität bekannt, dass die Vorlesungszeit regulär am 6. April 2020 starten wird – mit der Einschränkung, die Lehrangebote vorerst nur online bereitzustellen. Dies würde in einem passwortgeschützten Bereich Audio- und Videoaufzeichnungen, Übungen und zusätzliche Aufgaben umfassen. Zudem sollten digitale Klassenzimmer in Form von Videokonferenzen realisiert werden, in denen die Studierenden am Vorlesungsgeschehen teilhaben können. In den vorhergehenden Semestern bestand das digitale Angebot an Modulen, die ich besuchte, darin, dass man sich Vorlesungsskripte, Übungsunterlagen und Hinweise für weiterführende Literatur beispielsweise auf der sachsenweit genutzten Plattform OPAL herunterladen konnte. Manche Dozenten arbeiteten auch mit nicht-kommerziellen Softwareangeboten (z. B. *google sheets*), um Übungsmaterial zur Verfügung zu stellen. Gelegentlich bot man Online-Tests an, mit denen die Studierenden ihr Wissen abprüfen konnten. Dies war aber bei weitem nicht die Regel, manche Module kamen ganz ohne ein digitales Angebot aus. Vor diesem Hintergrund also war ich gespannt, ob es innerhalb weniger Tage möglich sein würde, bis zum offiziellen Vorlesungsbeginn ein digitales Lehrangebot bereitzustellen. Klar war, dass die Umstellung auf die digitale Lehre einen großen organisatorischen Aufwand für die Lehrenden bedeuten würde, die natürlich parallel dazu auch andere Projekte betreuen. Überraschenderweise reagierten beinahe alle Modulbetreuer noch in der gleichen Woche, in der die Mitteilung bezüglich des Sommersemesterstarts veröffentlicht wurde. Über das OPAL-System konnte man sich in den jeweiligen Kurs einschreiben, den man besuchen wollte. Mit der Einschreibung wurde man dann in den E-Mail-Verteiler aufgenommen und erhielt online Zugriff auf die Kurs-Dokumente. Der überwiegende Teil der Vortragenden beraumte dann auch ab dem 6. April 2020 die ersten Online-Vorlesungen an. Hierfür nutzte man unter anderem die Videokonferenzsysteme BigBlueButton (BBB, sächsisches Web-Konferenz-System) und ZOOM (amerikanische Software). Manche Dozenten schienen noch darauf zu hoffen, dass die Präsenzlehre, wie vom Rektorat zu diesem Zeitpunkt veranschlagt, am 4. Mai 2020 beginnen würde und verzichteten auf ein Online-Lehrangebot. Als dann, Ende April, absehbar war, dass es zu keiner Präsenzlehre im Sommersemester kommen würde, stellten auch diese Fachbereiche auf die digitale Lehre um. Vereinzelt kam es auch vor, dass ein Lehrverantwortlicher schlicht den Vorlesungsstoff über OPAL veröffentlichte – mit dem Vermerk, diesen sich bitte bis zur Prüfung anzueignen. Ein weiteres Konzept sah vor, statt zu den regulären Vorlesungsterminen den Stoff per Videokonferenz zu vermitteln, die Möglichkeit einzuräumen, ein Lehrvideo zu einer beliebigen Zeit hochzuladen und es für den Rest des Semesters über OPAL oder über die Videoplattform der TU Freiberg zur Verfügung zu stellen. Dieses Konzept fand ich vergleichsweise am sinnvollsten, da sich die Länge der Videos nicht starr an die eineinhalb Stunden der regulären Vorlesungszeit hielt, sondern sich am Umfang des jeweiligen Themengebiets orientierte, was zur Folge hatte, dass auch Videos entstanden, die nur 20 Minuten dauern. Die Videos konnte man sich beliebig oft ansehen. Der Dozent richtete parallel dazu eine Sprechstunde zur üblichen Vorlesungszeit ein, indem er über OPAL einen virtuellen Lehrsaal anmietete, damit die Studenten sich einloggen und Fragen zu den Videos stellen konnten. Außerdem bestand das Angebot, jederzeit Fragen per E-Mail äußern zu dürfen. Die TU Freiberg hat meines Erachtens schnell – im deutschlandweiten Vergleich *sehr schnell* – gehandelt und ein ordentliches digitales Angebot in kurzer Zeit auf die Beine gestellt.

Ende April verlautbarte das Rektorat offiziell, dass die digitale Lehre für den Rest des Semesters zum Standard würde; vereinzelt könnten aber ausgewählte Modulteile unter Einhaltung der Hygienebestimmungen als Präsenzveranstaltung stattfinden. In meinem Fall gestaltete sich dies beispielsweise so, dass man in einem Modul, in dem eine Kurzpräsentation des Stoffs in die Modulnote eingehen sollte, die Präsentationsreihe in Kleingruppen abhielt, nachdem das Rektorat das Konzept genehmigt hatte. Die Studierenden wurden in Gruppen zu je ca. fünf Personen aufgeteilt, die sich zu einem vereinbarten Termin mit

1 Andreas Müller
andreas.mueller1@student.tu-freiberg.de

dem Dozenten in einem Vorlesungssaal trafen. Während des Einrichtens der Technik, beim Betreten und Verlassen des Raumes bestand Maskenpflicht. Desinfektionsmittel waren bereitgestellt und vor dem Betreten des Raumes wurde man gebeten, sich die Hände gründlich zu waschen. Für die nicht anwesenden Studierenden übertrug der Dozent die Vorträge per Videokonferenz. Im Ablauf ähnlich gestaltete sich auch meine im Wintersemester verschobene Prüfung, die ich nun endlich Mitte Juni an einem Samstag nachholen konnte. Alle anderen Veranstaltungen fanden nach wie vor online statt.

Beim Vorlesungsstart war die digitale Lehre für beide Seiten, Dozenten und Studierende, eine ungewohnte Herausforderung. Die Rückmeldung der Studierenden – sei es, dass eine Frage in den Chat getippt oder über das Mikrofon geäußert wurde – fiel anfangs verhalten aus: Der Dozent sprach zu einer stummgeschalteten Wand aus Namen, die nicht mit Gesichtern in Verbindung gebracht werden konnten, da man sich üblicherweise nicht per Video zuschaltete. Mit der Zeit sank jedoch die Hemmschwelle bei den Studierenden, sich in das Vortragsgeschehen mit einzubringen. Generell habe ich beobachtet: Je kleiner die Hörerschaft, desto interaktiver war die Veranstaltung. In Übungen war die Beteiligung der Studenten selbstverständlich unumgänglich und somit auch reger.

Seit circa eineinhalb Jahren besuche ich einen Spanisch-Sprachkurs. Dort war die Gruppe etwas kleiner, man schaltete sich teilweise per Kamera zu, was die

© Andreas Müller

Atmosphäre definitiv persönlicher machte. Im Zuge des Sprachkurses bildeten wir außerdem eine Lerngruppe. Wir nahmen eine wöchentliche Raumbuchung im bereits genannten Konferenzsystem BBB vor und vertieften den gelernten Stoff. Somit dienten die Konferenzsysteme auch der Vernetzung der Studierenden untereinander, die sich wegen der Hygienevorkehrungen nun nicht mehr direkt sehen konnten. Viele meiner Kommilitonen waren gar nicht erst zu ihrem Studienort Freiberg angereist, sondern lebten bei ihren Eltern oder Partnern. Mit den Konferenzsystemen war also eine Möglichkeit gegeben, sich dort mit Kommilitonen zu „treffen“, den Stoff zu wiederholen, Präsentationen vorzubereiten oder Übungen gemeinsam auszuarbeiten. Doch dies ersetzte den persönlichen Kontakt mit Mitstudierenden nicht gänzlich, da man sich besonders in jungen Jahren noch im Alltag beweisen möchte, seine Gefühls- und Gedankenwelt bis zu einem gewissen Grad an der Umgebung justiert und vieles nur aus der direkten sozialen Interaktion lernen kann.

Auch die Freizeitgestaltung war zeitweise stark beschnitten. Zu Beginn der Einschränkungen waren beispielsweise Sportaktivitäten undenkbar. Ich versuchte zwar, joggen zu gehen und allmorgendlich für 20 Minuten Fitnessübungen zu absolvieren, aber ich vermisste doch das gemeinsame Sporteln mit Kommilitonen. Angewöhnt hatte ich mir überdies, jeden Tag nach dem Mittagessen eine Runde um den Häuserblock zu spazieren, da ich ansonsten ungewöhnlich viel am Schreibtisch saß. Üblicherweise musste man vor der Corona-Krise zwischen zwei Vorlesungen zumeist das Gebäude wechseln, um zur nächsten Veranstaltung zu gelangen. Dies fällt bei der digitalen Lehre selbstverständlich weg und viel Bewegung ist zwischen zwei Online-Veranstaltungen kaum möglich. Anfang Mai wurde dann bekannt gegeben, dass Sport im Freien wieder möglich sein würde. Jetzt konnte ich – mit gebührendem Abstand zum Spielpartner – wieder Tennis spielen. Anfang Juni lockerte man die Einschränkungen auch in der Richtung, dass Sportklettern in der Halle und in Kleingruppen wieder möglich war. In manchen Bereichen meines Lebens kehrte somit in kleinen Schritten wieder Normalität ein.

Auch, wenn die ersten Wochen dieses Semesters sehr gewöhnungsbedürftig waren, konnte ich mich mit der Zeit mehr und mehr mit der Online-Lehre und dem Arbeiten von zu Hause aus anfreunden und bin mittlerweile der Meinung, dass die vorwiegend digitale Wissensvermittlung die Zukunft sein wird und, zumindest in technischen Studiengängen, die Präsenzlehre nur noch für den Laborunterricht, die Projektarbeit, für Feldpraktika und Präsentationen relevant sein wird.

Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg: Corona-Hilfsfonds für Studierende

Wir sagen vielen Dank für die zahlreichen Spenden zugunsten des Corona-Hilfsfonds zur Unterstützung von Studierenden an der TU Bergakademie Freiberg.

Der Rektor der TU Bergakademie Freiberg rief gemeinsam mit dem Geschäftsführer des Fördervereins und dem Personalratsvorsitzenden der Universität ab dem 20. Mai 2020 zur großen Spendenaktion auf, um infolge der Corona-Krise in Finanznot geratene Studierende zu unterstützen. Viele studentische Nebenjobs waren schlagartig weggefallen, während Aufwendungen für Miete, Versicherungen und Kosten für den Lebensunterhalt weiterliefen und -laufen. Verein und Universität sind hocherfreut und beeindruckt von der starken Resonanz dieses Aufrufs und von der großen Spendenbereitschaft. Bis Anfang Juli waren beim Förderverein 104.000 Euro an Spendengeldern eingegangen. Herzlichen Dank allen 241 Spendern!

Etwa 42 Prozent der Spender sind Alumni, die über das Freiberger Alumni-Netzwerk (FAN) ihrer Alma mater fribergensis auch nach Studienabschluss weiterhin verbunden sind. Das ist unsere Bergakademie-Familie! Aus den zahlreichen Anträgen der Studierenden wurden nach kompetenter Prüfung durch das Studentenwerk Freiberg (Abteilung Soziale Dienste) über 99 Förderanträge mit einem Fördervolumen von 72.000 Euro positiv beschieden. Bei 95 Prozent der Geförderten handelt es sich um internationale Studierende. Für diese engagierte Bearbeitung der Anträge sagen wir herzlichen Dank! Die Unterstützungszuweisungen für die Monate März bis Juni 2020 waren dabei breit gefächert: Miete, Versicherungen, Lebensmittel, Freitische in der Mensa und Gutscheine für Freiberger Geschäfte.

In der Sommerperiode zwischen Juli und September konnten Studierende Förderung beim Programm der Bundesregierung (www.ueberbrueckungshilfe-studierende.de) beantragen, entsprechende Anträge von Studierenden der TU Bergakademie wurden dorthin verwiesen. Ab September trat dann wieder der Verein mit den noch restlichen 32.000 Euro für Unterstützungsaktionen auf den Plan, denn es wird sicher Langzeitfolgen geben, die sich auf die Studiendauer auswirken werden.

Wir bleiben am Ball und danken Ihnen als Spender mit einem kräftigen Glück auf!

Teamarbeit lernen – im Team lernen
Gruppenorientiertes Arbeiten in der Informatik

Sebastian Zug[1], André Dietrich, Galina Rudolf, Jonas Treumer

Motivation

In den Ingenieurwissenschaften ist die gemeinsame Arbeit Kernbestandteil der beruflichen Tätigkeit. Aufgabenstellungen, die wegen des Arbeitsumfangs und des notwendigen Kompetenzspektrums nur in einer Gruppe lösbar sind, lassen sich dabei in zwei Klassen unterscheiden. Von kooperativen Formaten spricht man, wenn die Leistungen zunächst separat vollbracht und in der Aggregation das übergreifende Gesamtergebnis repräsentieren. Kollaboratives Arbeiten definiert sich über eine starke Interaktion, da schon die Bestandteile der Lösung gemeinsam bearbeitet werden. Kooperatives Teamwork setzt entsprechend einen intensiven Planungsprozess bezüglich der intendierten Verzahnung der Teilkomponenten voraus, während kollaborative Prozesse eine Koordination der unmittelbaren Zusammenarbeit erfordern. Die Administrationsmechanismen müssen dabei auf synchrone und asynchrone Kooperationsprozesse zugeschnitten sein. In realistischen Szenarien vermischen sich beide Formen, wenn auf der Projektebene kooperativ und innerhalb der Teilaufgaben kollaborativ gearbeitet wird.

Diese, auf einer technischen wie auch sozialen Ebene, außerordentlich komplexen Vorgänge werden im Informatikstudium oftmals lediglich abstrakt behandelt und spielen in Fachkonzepten zum Programmier- und Konzeptverständnis eine untergeordnete Rolle. Im Rahmen von Gruppenarbeiten bleibt es den Studierenden überlassen sich kooperativ oder kollaborativ zu organisieren, den Arbeitsfluss zu koordinieren und ihre Lernprozesse zu regulieren. Eine Einflussnahme durch den Lehrenden erfolgt zwar auf der inhaltlichen Ebene bezogen auf die erreichten Resultate, nicht aber in Bezug auf die ebenso zu erlernenden Interaktionsprozesse. Ein Grund dafür ist, dass wegen des hohen sozialen Anteils in der Teamarbeit diese nicht oder nur mit erheblichem Aufwand erfassbar sind und das Learning-Analytics-Ansätze zur adaptiven didaktischen Unterstützung teamorientierter Prozesse in diesem Feld noch am Anfang stehen.

Ausgehend von dieser Lücke koordiniert die Arbeitsgruppe „Softwareentwicklung und Robotik“ gemeinsam mit Partnern der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg und der Humboldt Universität zu Berlin das im Rahmen der Förderlinie zur digitalen Hochschulbildung geförderte, dreijährige BMBF-Projekt DiP-iT. Das im vergangenen Februar gestartete Vorhaben entwickelt Lernsysteme und didaktische Konzepte dahingehend weiter, dass spezifische konfigurierte, teamorientierte Lernprozesse damit entworfen, realisiert und zeitnah reflektiert werden können. Das Projekt DiP-iT zielt dabei insbesondere darauf ab:

- die verschiedenen Formate der Teamarbeit variabel konfigurierbar einzubetten,
- entsprechende Kommunikationsschnittstellen für die Studierenden zu integrieren,
- Mechanismen für die Identifikation individueller und übergreifender Unterstützungsbedarfe zu erkennen und
- Methoden für die sprach- und standortübergreifende Synthese der aggregierten Daten zu definieren und zu realisieren.

Auf dieser Basis lassen sich dann mehrfache Feedback-Schleifen für Lernende und Lehrende, sowohl über deren individuelle Aktivitäten wie auch dem Teamerfolg aufspannen, die helfen sollen, Hemmnisse auf der Ebene der Soft-Skills abzustellen und die starke Heterogenität beim Kenntnisstand der praktischen Programmierung zu verringern.

Adaption der bestehenden Lehre

Ausgangspunkt

Im Fokus des Forschungsvorhabens stand im Sommersemester 2020 die Vorlesung „Softwareentwicklung“, die für Studierende der Studiengänge Angewandte Informatik und Robotik im zweiten Semester obligatorisch ist und für Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus der Mathematik als Wahlpflicht angeboten wird. Im diesjährigen Semester meldeten sich 56 Studierende an. Die erste Vorlesung auf der „BigBlueButton“-Instanz im April 2020 zählte 42 Studierende. Während in den zwei wöchentlichen Vorlesungen jeweils die theoretischen Grundlagen objektorientierter Programmierung, Entwurfstechniken und Entwicklungsmethodik vermittelt wurden, zielten die Übungen mit vierzehntägigen Aufgabenblättern auf die praktische Realisierung von Programmier- oder Konfigurationsaufgaben. Die Aufgabenblätter umfassten zwei bis fünf unabhängige Teilaufgaben unterschiedlicher Komplexität. Diese sollten von den Studierenden im Selbststudium bearbeitet und die Lösungen in den wöchentlichen Übungen erörtert werden. Die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgaben war keine verpflichtende Voraussetzung für die Teilnahme an der Klausur.

Anpassungen

Bis zum Sommersemester 2020 organisierten sich die Studierenden gegebenenfalls selbst in Gruppen. Nunmehr sollte, unter anderem auch um auch die Nicht-Informatiker zu integrieren, eine striktere Koordination etabliert werden. Dieser Schritt folgt einem übergreifenden Konzept, dass die Studierenden schrittweise an effektive Formen der Zusammenarbeit heranführt. Ausgehend von der Ermutigung zu losen Lerngruppen im ersten Semester gibt der Übungsbetrieb der „Softwareentwicklung“ einen sehr strikten Rahmen bezüglich Teamgröße, Werkzeugen und Interaktionsmechanismen vor. In den Veranstaltungen der nachfolgenden Semester wird diese Kompetenz dann auf größere Teams in individuellerer Ausprägung angewandt und vertieft.

Als Arbeitsumgebung wurde GitHub gewählt, die Bereitstellung der Aufgaben erfolgte über die darüberliegende Plattform GitHub Classrooms. Die webbasierte Realisierung des gegenwärtig dominierenden Versionsmanagementsystems git wird sowohl von kommerziellen Anwendern wie auch der Open Source Community für die Koordination und das Verwalten von Softwareprojekten genutzt. Das Team synchronisiert damit seinen lokalen

1 Ansprechpartner: Prof. Dr. Sebastian Zug
TU Bergakademie Freiberg
Fakultät für Mathematik und Informatik
Bernhard-von-Cotta-Straße 2
09599 Freiberg

Projektstatus untereinander. Mit den sogenannten „Commits“, die Änderungen am Code zusammenfassen, werden diese dem Server bzw. den Mitstreitern mitgeteilt. Ausgehend von einer neuen Version des Codes können diese den eigenen Projektstatus aktualisieren, haben aber auch die Möglichkeit die Änderungen zu diskutieren und sogar zurückzuweisen, falls aus ihrer Sicht bestimmte Qualitätskriterien nicht eingehalten wurden. Für diese Abstimmungsprozesse stehen in GitHub unter anderem ein projektinternes Chatsystem, ein Review-Mechanismus, mit dem sich einzelne Codeelemente hervorheben lassen, automatische Tests sowie ein Wiki-System zur Verfügung. Darüber hinaus kann der Entwicklungsprozess in separaten Pfaden, den „Branches“ strukturiert werden. Damit wird ein zunächst kooperatives Arbeiten ggf. zu einer Kollaboration, wenn die Änderungen gemeinsame Dateien betreffen und während der Fusion zweier Pfade verschmolzen werden.

Die Zusammenarbeit für die Übungen der „Softwareentwicklung“ erfolgte in Zweierteams, die über das gesamte Semester Bestand hatten. Die Veröffentlichung der Aufgabenblätter wurden über das Lernmanagementsystem OPAL angekündigt. Sobald die Studierenden dem Link folgten wurde automatisch ein teaminternes GitHub-Repository erzeugt, welches eine individuelle Arbeitskopie umfasste. Diese war nur für die beiden Teammitglieder und die Betreuer zugänglich und konnte (zumindest theoretisch) nicht durch andere Teams eingesehen werden. Um die Verwendung von Versionssystemen im Entwicklungsprozess einzuführen wurden die Vorlesungsinhalte angepasst und das bestehende Aufgabenset erweitert.[2] Unterstützend wirkte dabei, dass auch die Lehrmaterialien, die mit der Beschreibungssprache LiaScript[3] erstellt wurden, auf GitHub als öffentliche Projekte gehostet sind. Die Studierenden nutzten die neuen Kenntnisse insbesondere in der ersten Phase intensiv, um Änderungsvorschläge und Korrekturen für die Vorlesungsmaterialien einzureichen.

2 Vgl. zum Beispiel das Template des ersten Aufgabenblatts unter https://github.com/ComputerScienceLecturesTUBAF/SoftwareentwicklungSoSe2020_Aufgabe_00

3 Projektwebseite: https://liascript.github.io/ Webseite mit den Kursmaterialien: https://github.com/SebastianZug/CsharpCourse/tree/SoSe2020

Tab. 1: Gegenüberstellung unterschiedlicher Interaktionsmuster der Teams bei der Bearbeitung der praktischen Aufgaben

Kürzel	Klassifikation	Beschreibung	Gegenstand
0	Vollständig individuell	Ohne Wechselwirkung mit einem Partner bei allen Aufgabenblättern	alle Aufgabenblätter
1	Individuell kooperativ	(Ab)wechselnde Realisierung der Aufgabenblätter durch einen Partner	alle Aufgabenblätter
2	Integrativ	Aufgabenbearbeitung sowohl im Team und als „Einzelkämpfer“	alle Aufgabenblätter
A	Verschränkt kooperativ	Arbeit an einem Aufgabenblatt ohne aber Dateien übergreifend zu editieren	einzelnes Aufgabenblatt
B	Kollaborativ	Gemeinsame Arbeit an einzelnen Dateien	einzelnes Aufgabenblatt

Fragestellung und Methodik

Mit der ersten Untersuchungsreihe sollten Kriterien identifiziert werden, die es ermöglichen kooperativ arbeitende Teams von eher kollaborativ interagierenden Gruppen zu unterscheiden. Dabei wurden zwischen folgenden Interaktionsmustern differenziert:

Die Darstellung erfasst mit den Klassen 1–3 eine Eingruppierung über alle Aufgabenblätter, wobei sich die Einordnungen gegenseitig ausschließen. Die zweite Differenzierung bezieht sich dann auf die Aufgabenbearbeitungen, bei denen das Team gemeinsam gearbeitet hat. Der überwiegende Teil der Aufgaben umfasst mehrere Dateien. Entsprechend beantwortet die Darstellung die Frage, ob diese zwischen den Teammitgliedern aufgeteilt wurden (A) oder ob übergreifend an einzelnen Programmdateien gearbeitet wurde (B).

Die Analyse sollte zunächst Erkenntnisse darüber geben, welche Art von Projektrealisierung entsprechend *Tabelle 1* sich intuitiv für die Studierenden einstellte. Ausgehend von diesen Ergebnissen ist eine Rekonfiguration der Übungen und der Lehrveranstaltung vorgesehen.

Für die Klassifikation anhand der git-Aktivitäten wurden die Repositories der Teams gespiegelt, automatisiert erfasst, anonymisiert und gefiltert. Es existieren zwar entsprechende Tools für dieses Vorgehen, diese bildeten allerdings die notwendigen Werkzeuge nicht geschlossen ab. Entsprechend wurde eine eigene Tool-Chain entworfen und implementiert, die die existierenden Module aufgriff und erweiterte. Die Analysen bilden die Grundlage der folgenden Darstellung. Für weiterführende Ergebnisse sei auf die Publikationen verwiesen, die auf der Projektwebsite referenziert sind.

Ergebnisse

Aus einem Feld von 42 Teilnehmern der ersten Vorlesung bildeten sich unmittelbar danach 19 Teams. Die Abb. 1 gliedert deren Entwicklung entlang der Aufgabenblätter 0–6 unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte (Aktive Teammitglieder, Commits pro Team, Anteil gemeinsam bearbeiteter Dateien). Das linke Diagramm illustriert dabei die Aktivität der Teammitglieder. Eine „2“ markiert die gemeinsame Aufgabenbearbeitung, bei der zumindest jeder Partner mindestens einen eigenen Commit lieferte. Sofern ein Teammitglied allein das gesamte Aufgabenblatt bearbeitet hat, wird dies durch eine „1“ repräsentiert. Das Vorzeichen lässt erkennen welches Teammitglied dies realisierte. Freie Felder machen deutlich, dass hier keine Commits verzeichnet wurden.

Der Vollständigkeit halber wurde aber auch der bloße Kopiervorgang bei der Einrichtung des spezifischen Repositories abgebildet. Dies ist durch die „x“ in der Darstellung hervorgehoben. Es wird deutlich, dass in 35 Fällen lokale Kopien der Aufgabenvorlage angelegt wurden. Zur weiteren Verwendung kann anhand der Datenlage keine Aussage gemacht werden. Es ist sowohl möglich, dass gar keine Programmierversuche durch die Studierenden vorgenommen oder aber das die Lösung lokal vollständig implementiert wurde.

Offensichtlich gab es nur zwei Teams (3, 16) in denen einzelne Studierenden völlig ohne Interaktion mit einem Partner gearbeitet haben. In beiden Fällen lassen sich nach dem dritten bzw. vierten Aufgabenblatt aus dem verfügbaren Material keine Aktivitäten mehr feststellen.

Für zwei Teams kann das Interaktionsmuster 1 – individuell kooperativ – abgelesen (1, 2) werden. Zumindest bei einem Aufgabenblatt wechselten sich die Bearbeiter ab. Auffällig ist dabei die starke Asymmetrie in beiden Fällen. Für das Team 1 übernahm der zweite Partner lediglich das Aufgabenblatt 1, während sein Mitstreiter alle anderen sechs darüber hinaus löste.

Alle anderen Gruppen zeigten zumindest bei einem Aufgabenblatt eine gemeinsame Bearbeitungsstrategie. Dies reichte von einem einmaligen Muster (10, 11) bis hin zu überwiegend gemeinsam bearbeiteten Aufgaben (4, 7).

Für die Differenzierung der Interaktionsmuster in Bezug auf diese gemeinsame Bearbeitung ist eine weitergehende Untersuchung der Versionshistorie notwendig. Bezogen auf die Einträge in *Abbildung 1*, die mit einer „2“ die gemeinsame Arbeit kennzeichnen, wurde die von jeder Version berührten Dateien ausgewertet. Dabei fanden nur die spezifischen Programmcodedateien *.cs, Erläuterungen *.md sowie Konfigurationsdateien für die automatische Verarbeitung *.yml und *.yaml Berücksichtigung. *Abbildung 1* gibt in der mittleren Darstellung das jeweilige Verhältnis der Anzahl der gemeinsam bearbeiteten Dateien und der insgesamt auftretenden Zahl von Dateien dieser Typen an. Der Wert „100 %“ bezeichnet also kollaborativ erzeugte Lösungen, in der beide Partner alle relevanten Dateien gleichermaßen manipulierten. Ein Eintrag von „0 %“ macht deutlich, dass hier unabhängige Dateien kooperativ bearbeitet wurden.

Die rechte Tabelle in *Abbildung 1* fasst die Einordnungen, *Tabelle 2* die Ergebnisse zusammen. Auf der Teamebene wird dabei deutlich, dass die überwiegende Anzahl durchaus gemeinsam gearbeitet (integrativ) hat. Dabei überwiegen zumindest in der kleinen Stichprobe kollaborative Interaktionsmuster. Den größten Bogen spannt dabei das Team 11 auf, dass sich offenbar zunächst kollaborativ versucht hat (Aufgabenblatt 0). Die nachfolgenden beiden Aufgaben wurden von Partner 1 umgesetzt, danach folgte eine Lösung für Aufgabenblatt 3 durch den zweiten Partner.

Tabelle 2 bildet die Interaktionsmuster in Bezug auf die individuellen Historien der Aufgabenblätter ab. Es liegen 60 Versionshistorien für die sieben Aufgabenblätter vor. Davon wurden 21 kooperativ/kollaborativ bearbeitet.

Diese Analyse deckt sich mit den Erwartungen aus den Aufgabenstellungen. Das Aufgabenblatt 0 definierte einem Tutorial ähnlich ein konkretes kollaboratives Vorgehensmodell, dass von den Teams entsprechend umgesetzt wurde (sechs kollaborativ vs. ein kooperativ arbeitendes Team). Danach adressierten die Aufgabenstellungen nur noch einige Features von GitHub (Reviewsystem, Aufgabenverwaltung anhand von Issues) und

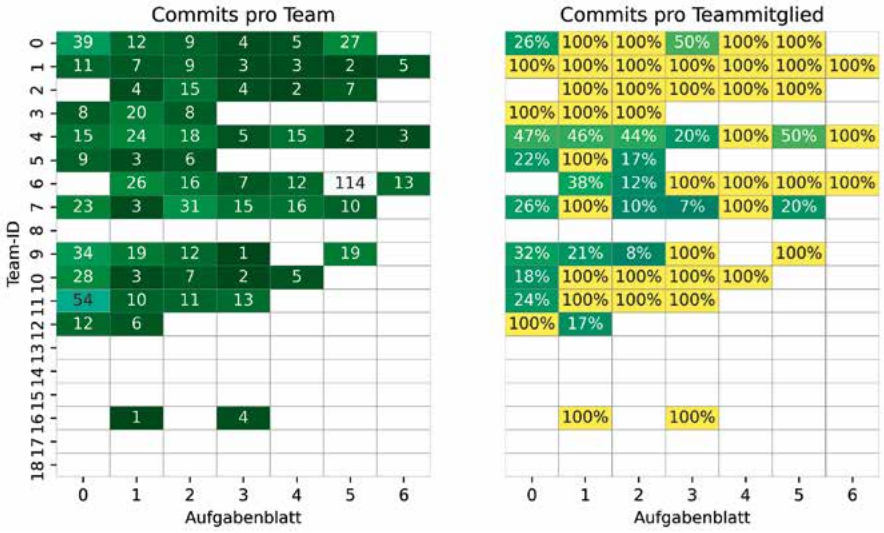


Abb. 1: Darstellung der aktiven Mitglieder (links) und des Anteils der gemeinsam bearbeiteten Dateien (rechts) für die Teams (0–18) über den Aufgabenblättern (0–6). Rechts davon die Klassifikation der Teams entsprechend *Tabelle 1*

Tab. 2: Abbildung der in *Tabelle 1* genannten Interaktionsmuster auf die Teams der Vorlesung „Softwareentwicklung“

Kürzel	Klassifikation	Anzahl der Teams	Anzahl/Anteil der Aufgaben
0	Vollständig individuell	2	
1	Individuell kooperativ	2	
2	Integrativ	9	
A	Verschränkt kooperativ	4	6/60 (10 %)
B	Kollaborativ	8	15/60 (25 %)

empfahlen deren Nutzung. Im Ergebnis werden die Aufgabenstellungen nun angepasst und in der Vorlesung anhand von Best-Practice Beispielen unterfüttert.

Von großem Interesse wird sein, wie die Entwicklung nach der Pandemie-Situation verlaufen wird. In diesem Fall wird die konventionelle Gruppenarbeit in stärkerem Maße realisiert und die Zuordenbarkeit der Aktivitäten zu einzelnen Studierenden herausfordernder.

Kritik und Ausblick

Neben den kooperativ/kollaborativ bearbeiteten Aufgabenblättern dominierten offenbar individuelle Lösungen (39 von 60). Allerdings muss dieses Ergebnis aus drei Perspektiven kritisch hinterfragt und weiter analysiert werden.

Für die Auswertung gestaltet sich die geringe Zahl der Datensätze als schwierig. Zwar lassen sich sehr einfach genaue Metriken für die Wirkung einer jeden Codeänderung auf Zeilenebene berechnen, die Gesamtzahl von 948 Versionsänderungen ist aber für allgemeingültige Aussagen zu gering. Entsprechend wurden die Untersuchungen durch zwei Studien mit umfangreichen Fragebögen und Interviews flankiert, um die Interpretationsfähigkeit der Daten zu steigern. Zudem wurde das Analysekonzept im kommenden Semester sowohl in Freiberg als auch an den Partnerstandorten fortgeführt, um die Anzahl von Datensätzen sukzessive zu erhöhen.

Auf vielen Ebenen bildet die bisherige binäre Klassifikation die individuellen Beiträge der Teammitglieder nicht hinreichend ab. *Abbildung 2* zeigt beispielsweise die spezifische Anzahl der Commits pro Team (links) und die prozentualen Anteile der einzelnen Partner an diesem Wert (rechts). Die Werte von „100 %“ im rechten Diagramm heben die Bearbeitungen hervor, die von einem Partner allein ausgeführt wurden. In den übrigen Fällen wurden aber teilweise nur 8 % der Commits durch einen Mitstreiter umgesetzt. Die Ausgewogenheit der Teamarbeit muss an dieser Stelle weiter hinterfragt werden. Folglich benötigen belastbare Annahmen über den Erfolg einer Zusammenarbeit eine differenziertere Darstellung, die zum Beispiel das Ausmaß der Veränderung (Zeilenzahl, Entropie, Distanz) aufschlüsselt und die Bedeutung einer Version für die weitere Entwicklung des Codes nachvollzieht.

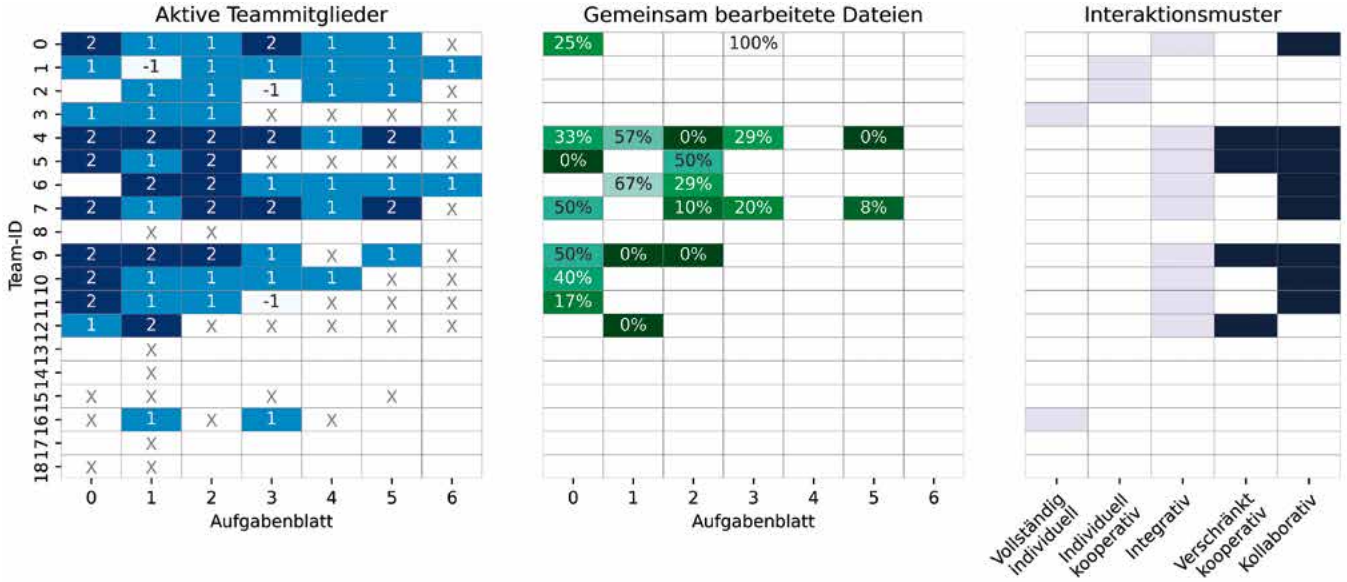


Abb. 2: Anzahl der Commits der jeweiligen Teams und der individuelle Anteil der Mitstreiter daran

Darüber hinaus ist den Autoren bewusst, dass die Eindeutigkeit der Zuordnung eines Commits nur beschränkt greift. Die Teams haben sich bei der Arbeit an den Aufgabenblättern über verschiedene Kommunikationskanäle miteinander ausgetauscht. Ein gängiges Vorgehen war die Umsetzung eines Pair-Programmings, bei dem ein Teilnehmer den Programmieraktivitäten mittels geteilten Bildschirms oder einem entsprechenden Editorplugin folgte. Dabei entstand eine gemeinschaftliche Lösung, die allerdings unter einer individuellen Autorenschaft im System notifiziert wurde. Zur Identifikation dieser Fehlinterpretationen werden die erwähnten Fragebogenstudien herangezogen. Dazu werden im Projekt nun auch die teaminternen Aufgabenzuordnungen, die unter GitHub realisiert wurden, ausgewertet.

Diese offenen Fragen werden gegenwärtig im Projekt DiP-iT mit der multimodalen Datenerhebung weiter untersucht und über den kommenden Semestern in der Wirksamkeit bezogen auf die teamorientierten Fähigkeiten evaluiert.

Forschungsreisen auf Humboldts Spuren: Entdecke die Vielfalt der Kleinen Fächer in Freiberg

Ellen Weißmantel

Wie würde Alexander von Humboldt im digitalen Zeitalter die Welt entdecken und vermessen?

Um die vielfältigen Studienmöglichkeiten, Qualifizierungsmöglichkeiten und beruflichen Perspektiven in den Bereichen der Kleinen Fächer der TU Bergakademie Freiberg aufzuzeigen sowie die Kompetenzen, die durch das Studium eines Kleinen Fachs erworben werden, potenziellen Studienbewerbern zu verdeutlichen, wurden 2019 eine „Forschungsreise“ für Schüler der Klassenstufe 10 bis 12 sowie eine Studienreise für Wissenschaftsjournalisten konzipiert und bei der Hochschulrektorenkonferenz in der Ausschreibung „Kleine Fächer – Große Potenziale“ zur Finanzierung beantragt. Für die Forschungsreise wurde ein dreitägiger Aufenthalt an der TU Bergakademie Freiberg mit Workshops sowie Labor- und Feldversuchen zu fächerübergreifenden Themen der Kleinen Fächer im Zeitraum vom 2. bis 20. September 2019 entwickelt. Insbesondere wurde auf die Vermittlung von Kompetenzen im Umgang mit digitalen Werkzeugen, die bspw. bei der digitalen Vermessung von Räumen zum Einsatz kommen, orientiert.

Die Forschungsreise wurde in einem Losverfahren, für das sich Schulklassen bewerben konnten, bundesweit ausgeschrieben und stand unter dem Motto *„Forschungsreise, entdecke das Potenzial Kleiner Fächer – Wie würde Humboldt heute die Welt entdecken und vermessen?“* Auch die Bewerbung für die Forschungsreise selbst war Bestandteil des Konzepts und hatte im Sinne eines Marketinginstruments das Ziel, die Sichtbarkeit der Kleinen Fächer in den Gymnasien zu erhöhen. Durch die Ansprache der Schüler in der Forschungsreise und der Wissenschaftsjournalisten in der Studienreise über die Person Alexander von Humboldts, dessen Geburtstag sich 2019 zum 250. Mal jährte, sollten Aufmerksamkeit und Interesse erzeugt werden.

Glasarche am Schloßplatz Freiberg. Das Kunstwerk soll an die zahlreichen Schiffsreisen des berühmten Weltreisenden und Entdeckers Alexander von Humboldt erinnern.

In ihrer Bewerbung konnten sich die Schulklassen für Angebote zu Workshops aus den Bereichen der „Kleinen Fächer“ – u. a. Geologie, Mineralogie, Markscheidewesen, Geoinformatik oder Geophysik – bewerben. Dazu kam ein Rahmenprogramm mit einem Besuch der terra mineralia, einer Campustour, einer

Vermessungs-Tour in der Reichen Zeche sowie einem einführenden Begrüßungs- und Informationsvortrag. Die Kosten der Forschungsreise (An- und Abreise, Verpflegung in der Unterkunft und in der Mensa sowie für den Bustransfer zwischen Unterkunft und Stadt) wurden durch die beantragten Projektmittel finanziert.

Die Auswahl der Schulklassen erfolgte öffentlich über ein Losverfahren in einer Auftaktveranstaltung, zu der alle Beteiligten eingeladen waren. Beworben hatten sich innerhalb kürzester Zeit 41 Schulklassen. Über eine Verlosung wurden 15 Schulklassen der Stufen 10 bis 12 ausgewählt.

Zu den insgesamt 15 ausgelosten Schulen gehörten Gymnasien aus Sachsen, Hamburg, Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen und NRW. Die Gewinner waren: Gymnasium Coswig 1 und 2, Landkreisgymnasium Annaberg-Buchholz, Berufliches Schulzentrum Löbau, Betty-Reis-Gesamtschule in Wassenberg, StS Bergedorf in Hamburg, Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal, Gymnasium Kenzingen, Kurpfalz-Internat Bammental, Orlatalgymnasium in Neustadt an der Orla, Humboldt-Gymnasium Radeberg, Arnoldischule Gotha Staatliches Gymnasium, Theodor-Fliedner-Gymnasium in Düsseldorf, Alexander-von-Humboldt-Gymnasium in Bornheim, Gymnasium in Münchberg.

Foto: TU Bergakademie Freiberg/Detlev Müller

Auf der Forschungsreise entdecken Schülerinnen und Schüler die Vielseitigkeit eines Studiums an der TU Bergakademie Freiberg.

Auf der Forschungsreise entdecken Schülerinnen und Schüler die Vielseitigkeit eines Studiums an der TU Bergakademie Freiberg.

Weihnachtsvorlesungen – nur Spaß oder innovative Lehrinhaltsvermittlung?

Matthias Kröger

Gern fahren die Studierenden schon in der letzten Vorlesungswoche vor Weihnachten in ihre Heimat. Mit Weihnachtsvorlesungen ist es bisher sehr gut gelungen, sie zu motivieren, die letzte Vorlesungswoche des Jahres in Freiberg zu verbleiben. Dazu sind ein hoher Spaßfaktor für die Studierenden und entsprechende Mund-zu-Mund-Propaganda hilfreich. Der Nutzen wäre aber gering, wenn in den Weihnachtsvorlesungen keinerlei Lehrinhalt vermittelt würde. Der kurze Text soll daher aufzeigen, wie es gelingen kann, Spaß und Lehrstoff in der Vorlesung miteinander zu verknüpfen, was natürlich auch zu jedem anderen Vorlesungstermin erfolgen kann, da Spaß am Lernen immer ein gutes Erfolgsrezept fürs Studium ist.

Im Maschinenbaustudium gab es seit Jahren das Problem, dass die Konstruktionsmethodik erst im Masterstudium vermittelt wurde, aber schon in der Studien- und der Bachelorarbeit in Ansätzen benötigt wurde. Die Idee für eine Weihnachtsvorlesung über die „Konstruktionsmethodik von Nussknackern“ war geboren. So wird wichtiger Lehrstoff vermittelt und gleichzeitig eine überraschend breite Vielfalt von Lösungen für das Nussknacken aufgezeigt, obwohl fast jeder zunächst glaubt, dass ein Nussknacker immer ein zangenartiges Bauteil oder eine dekorative, erzgebirgische Holzfigur sei. Das mediale Aufsehen seitens des MDR, SAT 1 und diverser Zeitungen über Jahre hinweg hat zudem auch zu Gastvorträgen in anderen Städten und zu Kooperationen mit Afrika zur Entwicklung von Knackprozessen für Macadamianüsse geführt.

Im Modul Maschinen- und Apparateelemente werden im Dezember stoff-, form- und kraftschlüssige Verbindungen behandelt. Hierzu passt in der letzten Dezemberwoche sehr schön eine Wiederholung mit der Anwendung: „Maschinenelemente am Weihnachtsbaum“. Erstaunlich ist, wie vielfältig die existierenden Lösungen der Befestigung von Kugeln und Kerzen am Weihnachtsbaum sind und wie viele neue Lösungen es für Christbaumständer zu kaufen gibt. Vielfach wird, z. B. vom VDI und vom VDMA, die Einbindung von Industrie-4.0-Themen in die bestehende Lehre gefordert. Auch das lässt sich sehr gut in die Weihnachtsvorlesung integrieren: Anhand ferngesteuerter Christbaumständer zum Ausrichten oder Drehen des Tannenbaums sowie anhand moderner Christbaumbeleuchtungen, z. B. mit induktiver Energieübertragung, lässt sich der Nutzen von Mechatronik und Elektronik auch an sehr unerwarteten Stellen aufzeigen.

Auch im Modul Tragfähigkeit und Lebensdauer von Konstruktionen lassen sich weihnachtliche Bezugspunkte finden. So kann der Lehrstoff auf das anspruchsvolle Materialverhalten von Holz als natürlicher Faserverbundwerkstoff übertragen werden und das „Versagensverhalten von Tannenbäumen“ analysiert werden. Es lassen sich aus dem Wachstumsverhalten des Baumes an hochbelasteten Stellen, z. B. Astgabeln, direkt konstruktive Lösungen zur Reduktion der Kerbwirkung an Bauteilen ableiten. Im letzten Jahr wurde als neues Thema das Bruchverhalten von Schokolade am Beispiel „Thermische und mechanische Eigenschaften von Schokoladenweihnachtsmännern“ aufgezeigt. Die Weihnachtsmänner zeigen in den präsentierten Versuchen je nach Temperatur ein sehr zähes, plastisches oder sehr sprödes Materialverhalten, was Parallelen zum sonst thematisierten Versagensverhalten von Baustahl und Gusseisen ermöglicht. Gemeinsam mit Frau Prof. Joseph ist es in einer Sondervorlesung zudem gelungen, das makroskopische Verhalten von Schokolade auf die Werkstoffeigenschaften zurückzuführen. Diese hängen, wie beim Stahl, stark von dem Herstellprozess und dem Temperaturverlauf bei der Produktion ab. Es war dabei auch für mich erstaunlich, dass nicht nur die technischen Werkstoffe ein sehr komplexes Materialverhalten zeigen, und wie genau das Verhalten analysiert werden muss, um zuverlässig funktionierende Herstellprozesse bei hohen Werkstoff- bzw. Schokoladenqualitäten zu realisieren. Dies hat Frau Prof. Joseph durch die Herstellung von Schokoladenproben live demonstriert. Bei Interesse empfehle ich, selber einmal vor Weihnachten in einer dieser öffentlichen Vorlesungen (ab 2021 sicher wieder möglich) an der TU Bergakademie Freiberg vorbeizuschauen.

Exkursion zu den Lagerstätten des Iberischen Pyritgürtels 2019

Große Lagerstättenexkursion der Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg

Thomas Seifert[1], Patrick Krolop[1], Björn Fritzke[1]

Vom 23. September bis zum 6. Oktober 2019 führte die Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie der TU Bergakademie Freiberg eine lagerstättengeologische Studenten-Exkursion in den sog. „Iberischen Pyritgürtel" (Iberian Pyrite Belt/IPB) nach SW-Spanien und SE-Portugal durch. An der Exkursion nahmen 16 Studierende des Masterstudiengangs Geowissenschaften der Freiberger Universität teil *(Abbildung 1)*. Die Exkursion erfolgte unter Leitung von Prof. Dr. Thomas Seifert, M. Sc. Patrick Krolop und M. Sc. Björn Fritzke mit ortskundiger Unterstützung durch Prof. Dr. Domingo Carvajal Gomez (Universität Huelva) sowie Grubengeologen und Montaningenieuren der befahrenen Bergwerks-, Aufbereitungs- und Hütten-Betriebe und Mitarbeitern des Geologischen Dienstes von Portugal.

Foto: Thomas Seifert, 02-10-2019

Der Iberische Pyritgürtel/*Iberian Pyrite Belt* (IPB) besteht aus drei stratigraphischen Einheiten: der Phyllit-Quarzit-Gruppe (PQ), dem Vulkano-Sedimentären Komplex (VSC) und der Baixo Alentejo Flysch-Gruppe (BAFG) bzw. der Kulm-Gruppe auf spanischer Seite. Der IPB erstreckt sich im Süden der Iberischen Halbinsel über 250 km in Ost-West-Richtung von Sevilla in Spanien bis zur Lagoa Salgada in Portugal und ist weltweit einer der bedeutendsten metallogenetischen Provinzen *(Abbildung 2)*.

Der IPB beinhaltet eine Vielzahl spät-Devonischer bis früh-Karbonischer submarin-hydrothermaler Massivsulfid-Lagerstätten (VMS), die seit der Antike bergmännisch gewonnen werden. Aus diesen *„world class"*-VMS-Lagerstätten wurden bis heute bedeutende Mengen an Kupfer, Zink, Gold, Silber, Zinn und vermutlich Indium sowie Pyrit-Erze gewonnen, in der Zukunft vermutlich vorwiegend Kupfer, Zink, Silber, Indium und möglicherweise Selen.

Foto: Thomas Seifert, 27-09-2019

Abb. 1: Exkursionsgruppe im Bergbaudistrikt Aznalcollar/Spanien. Untere Reihe: Prof. Dr. Domingo Xavier Carvajal Gomez, Sebastian Vollath, M. Sc. Patrick Krolop, M. Sc. Björn Fritzke (vorn), Lukas Lohmann, Alexander Höllige, Maximilian Schneider, Alessandra Erbe, Paula Dorner; obere Reihe, vorn: Adrian Richter, Marie Friedländer; obere Reihe, hinten: Tobias Siebenhaar, Matthias Poralla, Nikolas Trischler, Thomas Lüttke, Hannes Lippke, Franz Vogel, Thomas Kürschner

1 Prof. Dr. Thomas Seifert, M. Sc. Patrick Krolop und M. Sc. Björn Fritzke
Kontakt: thomas.seifert@mineral.tu-freiberg.de

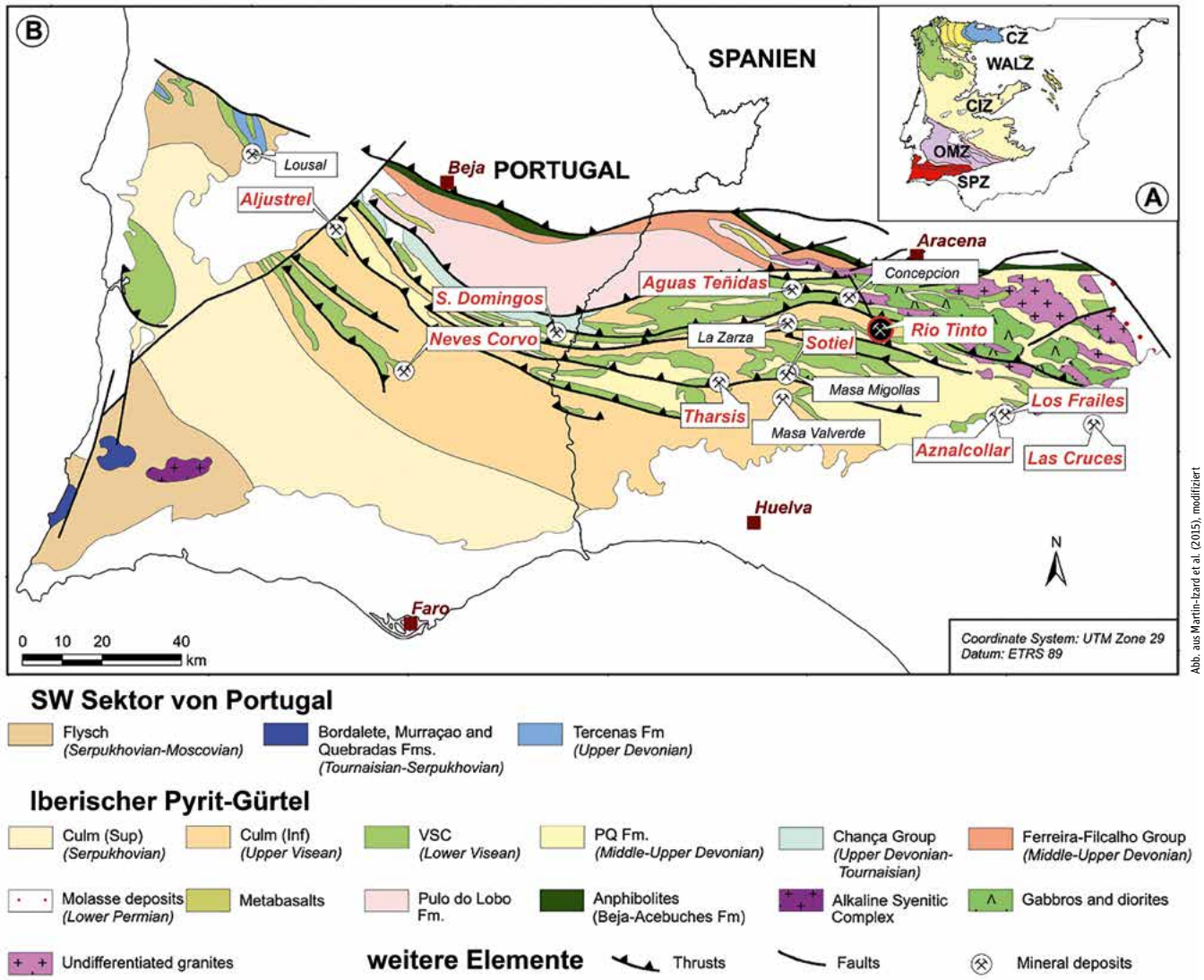


Abb. aus Martin-Izard et al. (2015), modifiziert

Abb. 2: (A) Übersichtskarte der Variszischen Zonen der Iberischen Halbinsel. CZ: Cantabria Zone, WALZ: West Asturian-Leonese Zone, CIZ: Central-Iberian Zone, OMZ: Ossa Morena Zone and SPZ (in rot): South Portuguese Zone mit dem „Iberian Pyrite Belt" (IPB).
(B) Geologie des IPB. Bergbausymbol: während der Exkursion IPB 2019 befahrene VMS-Lagerstätten (Name weiß hinterlegt)

Die Gesamtressourcen des IPB *(ore mined + reserves)*[2], die in mehr als 80 VMS-Lagerstätten abgebaut bzw. exploriert wurden, betragen mind. 1,7 Mrd. t Sulfiderze mit einem Metallinhalt von mind. 34,9 Mt Zink, 14,6 Mt Kupfer, 13,0 Mt Blei, 46 kt Silber und 880 t Gold.[3] Nach Almodóvar et al. (2019) beträgt das Erzvolumen im IPB sogar mehr als 2 Mrd. t. Der Lagerstättendistrikt Rio Tinto ist der größte Distrikt im IPB mit mehr als 500 Mt massiven Pyrit- und Polymetall-Erzen und Stockwerk-Typ-Sulfiderzen.[4] Eine Ausnahme bildet die Cu-Zn-Sn-In-Lagerstätte Neves Corvo[5] in Portugal aufgrund ihrer massiven Kassiterit-Erzkörper. Neves Corvo produzierte Ende der 1990er und in der ersten Hälfte der 2000er Jahre jährlich ca. 665.000 t Kupfer (vorwiegend als Chalkopyrit-Konzentraten) und ca. 8.300 t Zinn (vorwiegend aus Kassiterit-Konzentraten). Darüber hinaus beinhaltet vor allem das Zinkkonzentrat bedeutende Mengen des High-Tech-Metalls Indium.[6] Für das Jahr 2013 wurden für die Zinkerzkörper von Neves Corvo Vorräte von 113 Mt Zinkerz mit 5,3 wt.% Zink angegeben, was die Lagerstätte mit Stand Ende 2013 in eine der weltweit größten Zinkvorkommen einordnet.[7]

Im Verlauf der Exkursion wurden produzierende Tagebau- und Tiefbautriebe sowie auflässige Tagebaue und Aufbereitungs- und Hüttenbetriebe in ausgewählten Bergbau-Distrikten des Iberischen Pyritgürtels in Spanien und Portugal befahren und Kartierungspraktika in auflässigen Erztagebauen durchgeführt. Es wurden repräsentative Polymetallsulfid-Lagerstätten mit einer breiten Varianz von VMS-Erztypen begutachtet und für die Lagerstättensammlung der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg sowie für die studentische Übungssammlung und Erzmikroskopie-Belegstücksammlung der Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie beprobt[8] und mit feldmineralogischen Methoden während der Exkursion untersucht *(Tabelle 1)*.

Rio Tinto Distrikt (Atalaya Mining)

Die Bergbaugeschichte des Rio Tinto-Distrikts reicht bis in die Bronzezeit zurück. Zunächst wurde Kupfer aus

2 *ore mines + reservers* = bisher bergmännisch gewonnene + noch unverritzte Erzvorräte
3 cf. Leistel et al 1998 und weiterführende Referenzen darin
4 cf. Martin-Lizard et al. 2015 und weiterführende Referenzen darin
5 SOMINCOR – lundin mining
6 Benzaazoua et al. 2003
7 Pinto et al. 2014
8 Seifert et al. 2020

oberflächennahen Erzkörpern der Zementationszone gewonnen. Die Römer waren die Ersten, die Erzvorkommen im Tiefbau erschlossen haben. Nach der Gewinnung von Silber begannen die Römer Kupfer abzubauen. Der Höhepunkt der Cu-Gewinnung war im 1. Jahrhundert nach unserer Zeit. Anfang des 19. Jahrhunderts erwarben britische Investoren die heute als „Iberischer Pyritgürtel" bekannte Lagerstättenprovinz und gründeten eine der größten Bergbaufirmen der Welt, Rio Tinto Ltd. Unter deren Leitung wurde der Abbau der VMS-Erzkörper in Tagebauen mit modernen Methoden eingeführt. Nach dem Verkauf an spanische Investoren im Jahr 1954 stiegen die Fördermengen weiter. Im Zeitraum 1970 bis 2001 wurden 45 Prozent der insgesamt im IPB abgebauten Sulfid-Erze gewonnen.[9] Der aktuelle Betreiber Atalaya Mining fördert jährlich ca. 15 Mt Kupfererz. Die Reserven umfassen ca. 200 Mt Kupfererz. Geologisch betrachtet sind die Kupfer-Polymetall-Lagerstätten des IPB an die Flanken der Rio Tinto-Antiklinale gebunden. Tiefreichende E-W verlaufende Störungszonen in diesem Bereich kontrollieren die wirtschaftlich bedeutenden Kupfer-Polymetall-Erzvorkommen. Der Lagerstättendistrikt Rio Tinto besteht insgesamt aus sieben Erzkörpern, die z.Z. in zwei Tagebauen gewonnen bzw. erkundet werden. Während im Tagebau Atalaya vorrangig Explorationsarbeiten stattfinden *(Abbildungen 3 bis 6)*, werden im Tagebau Cerro Colorado Kupfererze im westlichen Teil im Bereich der Stockwerkszone abgebaut *(Abbildung 7)*.

Cobre Las Cruces-Los Frailes-Aznalcollar Cu-Zn(-Au-Ag)-Distrikt

Der Cobre Las Cruces-Los Frailes-Aznalcollar Cu-Zn-Pb-Au-Ag-Distrikt ist im äußersten SE des IPB ausgebildet *(Abbildung 2)*. Die VMS-Lagerstätte Cobre Las Cruces befindet sich ca. 15 km NW von Sevilla und wurde 1994 durch geophysikalische Explorationsarbeiten entdeckt (Ríomin Exploraciones S.A., Tochterfirma von Rio Tinto). Cobre Las Cruzes ist im Besitz der kanadisch-multinationalen Firma First Quantum Minerals, die weltweit zu den zehn größten Kupferproduzenten zählt. Die verdeckt-verborgenen Polymetallsulfid-Erzkörper *(„primary sulfides", „stockwork", „Cu-rich secondary ore", „gossan"; Abbildung 8)* werden durch eine ca. 150 m mächtige Sequenz aus miozänen Sedimenten überdeckt.

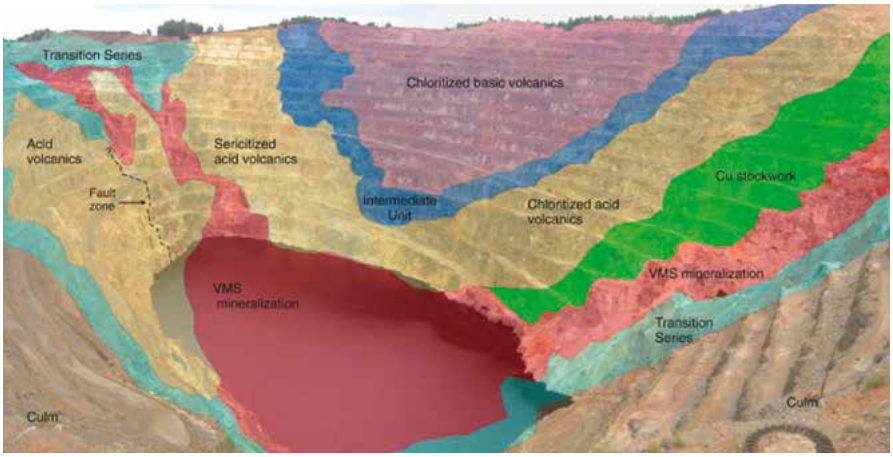
9 Olías und Nieto, 2015

Tab. 1: VMS-Lagerstätten und Erztypen im Iberischen Pyritgürtel, die während der Exkursion begutachtet und beprobt wurden

VMS-Erztyp	Haupterzminerale	Befahrene Distrikte (Auswahl)
Pyrit-reich ohne hohe Au-Gehalte	Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit	Rio Tinto-Distrikt/Spanien
Pyrit-reich mit hohen Au-Gehalten	Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit, ged. Au	Tharsis-Distrikt/Spanien
Cu-Zn mit Au + Ag	Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit, ged. Au, Ag-Minerale	Cobre Las Gruces/Spanien
Cu-Zn-Pb-Sn-Ag-Au + In (+ Se)	Pyrit, Chalkopyrit, Sphalerit, Kassiterit, Stannin, Fahlerze, In-Minerale, wie z.B. Roquesit ($CuInS_2$)	Neves Corvo/Portugal

Foto: Thomas Kürschner

Abb. 3: Auflässiger Tagebau Corta Atalaya im Rio Tinto Lagerstättendistrikt/Spanien *(Geologie und Mineralisationen s. Abbildung 4)*



Aus: Martin-Izard et al. 2015

Abb. 4: Geologie und VMS-Mineralisationen des Tagebaus Corta Atalaya *(s. auch Abbildung 3)*

In der Cu-Pb-Au-Ag-Lagerstätte Cobre Las Cruces sind neben der primären Sulfid-Mineralisation eine kupferreiche Zementationszone mit 6,43 Gew.-% Kupfer in 2,2 Mt „Secondary Ore"[10] und die Au- und Ag-führende Oxidationszone[11] mit 1,7 g/t Gold, 43 g/t Silber und 2,11 Gew.-% Blei in 0,7 Mt Gossan-Erz[12] ausgebildet.[13] Im Jahr 2018 wurden aus ca. 1,544 Mt Kupfererz mit 4,95 Gew.-% Kupfer von Cobre Las Cruces S.A.U. 70.738 t Kathodenkupfer produziert.[14] Damit ist Cobre Las Cruzes

10 Stand Ende 2018
11 der sog. Gossan oder auch „Eiserner Hut"
12 Stand Ende 2018
13 www.first-quantum.com
14 www.first-quantum.com

Foto: Thomas Seifert

Abb. 5: Exkursionsgruppe im Tagebau Corta Atalaya. Geologie und Mineralisationen: *„Chloritized Basic Volcanis“* (rechts, graugrün), *„Sericitized Acid Volcanics“* (Mitte rechts, ockerfarben bis rötlich), *„VMS Cu Mineralization“* (Mitte links, grau), *„Acid Volcanics“* und *„Transition Series“* (linker Bildrand)

Foto: Thomas Seifert

Abb. 6: Alterierte Stockwerk-Zone im Tagebau Corta Atalaya *(„Cu Stockwork“, s. Abbildung 4)*

eine der reichsten Kupferlagerstätten weltweit.[15] Die Kupfererz-Reserven umfassten am 31. Dezember 2019 bei 1 Gew.-%-Cu-*cut-off grade*[16] insgesamt 1,4 Mt Sulfiderz mit 6,69 Gew.-% Kupfer.[17]

Ein weiterer Exkursionspunkt war die VMS-Lagerstätte Los Frailes, die regionalgeologisch ebenfalls im SE-Bereich des IPB ausgebildet ist *(Abbildung 2)*. Der Tagebau der Cu-Zn-Pb-Lagerstätte Los Frailes wurde 1975 durch eine spanische Firma erschlossen und im Jahr 2001 unter Eigentümerschaft der schwedischen Firma Boliden nach einem Bruch des Tailings-Damms geschlossen. Die Rest-Lagerstätte beinhaltet nach Schätzungen 40 Mt polymetallische Sulfiderze und ist Gegenstand eines aktuellen Explorationsprojekts der mexikanischen Firma GrupoMexico im Bereich des auflässigen Tagebaus *(Abbildung 9)*.

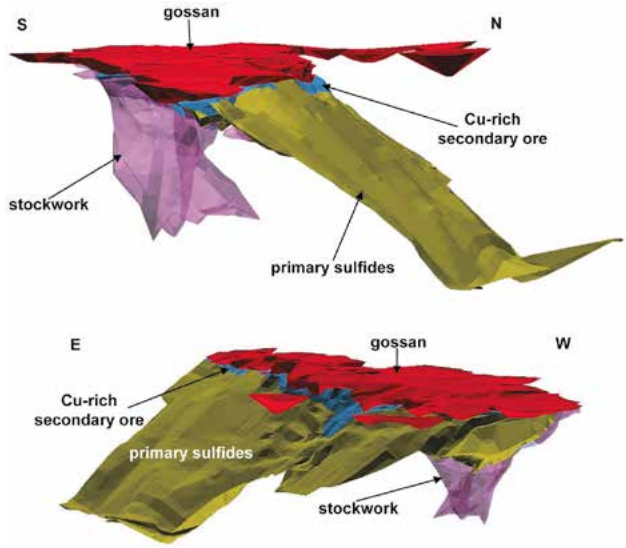
Von der Mine bis zum fertigen Produkt – Aguas Teñidas Mine und Atlantic Copper

Die Firma Minas de Aguas Teñidas S.A.U. (MATSA) betreibt die Minen Aguas Teñidas, Magdalena und Sotiel in den Provinzen Andalusien und Extremadura in SW-Spanien. MATSA gehört zu gleichen Anteilen der Trafigura Group Pte Ltd und der Mubadala Investment Company.

15 Miguélez et al. 2011
16 *cut-off grade* = Industrieller Minimalgehalt.
17 www.first-quantum.com_2020 First Quantum Minerals Ltd.

Foto: Björn Fritzke

Abb. 7: Exkursionsgruppe und Hauptgeologe von Atalaya Mining vor dem Cerro Colorado Kupfertagebau im Rio Tinto Lagerstättendistrikt/Spanien



Aus: Yesares et al. 2015

Abb. 8: Geologische 3-D-Profile (N-S, E-W) der VMS-Lagerstätte Las Cruces/Spanien (Kupfer, Blei, Gold, Silber)

Foto: Thomas Kürschner (27-09-2019)

Abb. 9: Auflässiger Tagebau im Bereich der polymetallischen Cu-Zn-Pb-VMS-Lagerstätte Los Frailes/Spanien – geringmächtige Überdeckung der Lagerstätte durch tertiäre Sedimente. Explorationsobjekt der Firma GrupoMexico in Aznalcollar.

Im Jahr 2018 wurden 1,8 Mt Kupfererz und 2,43 Mt polymetallische Sulfiderze aus den drei Minen gefördert. Daraus wurden 303.157 t Kupfer, 201.042 t Zink und 34.467 t Blei produziert. In der Zentrale von MATSA in Almonaster La Real wurden die Verarbeitungsanlagen der Cu-Pb-Zn-Erze besichtigt. In zwei Aufbereitungslinien für Kupfer- und polymetallische Erze werden nach der Zerkleinerung, Mahlung und selektiven Flotation ca. 3.000 t Erzkonzentrat pro Tag produziert. Enthaltene Schadstoff-Elemente wie Arsen, Quecksilber und Antimon können den Wert der Erzkonzentrate signifikant senken.

Bei Atlantic Copper S.L.U. in Huelva, einer der größten Kupferproduzenten weltweit, konnte das Ende der Wertschöpfungskette in Augenschein genommen werden. Atlantic Copper gehört zur amerikanischen Freeport-McMoRan-Gruppe und produziert, neben gold- und silberreichen Anodenschlämmen, Gips, Schwefelsäure und Nickelkarbonaten vorrangig Kupfer-Kathoden mit 99,99 Prozent Kupfer. Zu den Anlagen der Firma in Huelva gehören eine Schmelzhütte, eine Kupfer-Raffinerie und drei Schwefelsäureanlagen sowie ein Kraftwerk und ein Frachthafen. Insgesamt werden hier ca. 1 Mt Erzkonzentrat im Jahr verarbeitet aus denen ca. 300.000 t Kathodenkupfer gewonnen werden.

Neves Corvo (NC) Cu-Zn-Pb-Sn-In(-Ag)-VMS-Distrikt

Neves-Corvo ist eine polymetallische Cu-Zn-Pb-Sn-In-Se-Ag-Au-Lagerstätte im westlichen Teil des IPB ca. 20 km SW von Castro Verde/Portugal *(Abbildung 2)*. Aufgrund ihrer Größe und Gehalte gilt sie als eine der wichtigsten Kupfer- und Zinkproduzenten in Europa. Die verdeckt-verborgene Lagerstätte Neves Corvo wurde 1977 durch geophysikalische Explorationsarbeiten entdeckt und wird aktuell von SOMINCOR als Tochterunternehmen der Lundin Mining Corporation betrieben. Die Kupferproduktion in NC begann 1988 und umfasst bis Ende 2018 61,7 Mt Kupfererz mit 5 Gew.-% aus denen insgesamt 2,75 Mt Kupfermetall produziert wurden (einschließlich der Kupferkonzentrate aus der Zinn- und Zinkaufbereitung[18]). Die Produktion von Zn-Konzentraten (Sphalerit) begann 2006. Von 2006 bis 2018 wurden 7,9 Mt Zn-Erz mit 7,8 Gew.-% gewonnen und insgesamt 494 kt Zn-Metall und 23,7 kt Pb-Metall produziert.[18]

18 SOMINCOR – lundin mining 09-2019

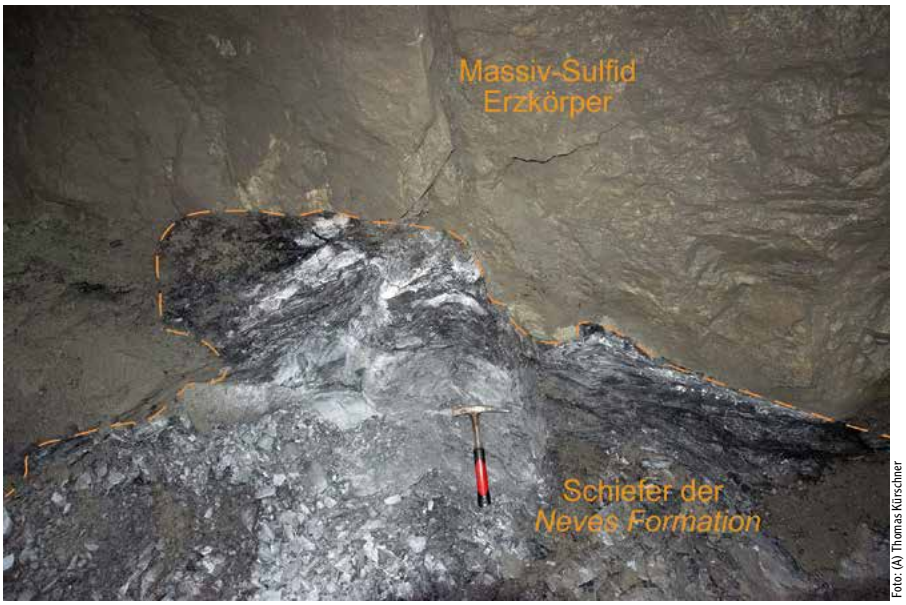


Foto: (A) Thomas Kürschner

Abb. 10 A: Kontakt einer massiven kupferreichen Polymetallsulfid-Vererzung mit Schiefer der Neves-Formation in 405 m Teufe, Punkt CC8158B26, Neves Corvo Cu-Zn-Sn-In-Se-Ag-Au-Mine, Portugal

Foto: Thomas Seifert

Abb. 10 B: Zoom des Kontaktes Schiefer Neves-Formation und kupferreiche Polymetall-Mineralisation (Lokalität wie *Abbildung 10 A*)

Foto: Thomas Seifert

Abb. 10 C: Exkursionsgruppe begutachtet und beprobt Abbau einer Kupfer-Reicherzzone in ca. 400 m Teufe, Neves Corvo Cu-Zn-Sn-In-Se-Ag-Au-Mine, Portugal

Die in ihrer Genese bemerkenswerten submarinen Sn-Mineralisationen, die in unterschiedlichen Erztypen ausbildet sind[19], wurden von 1990 bis 2002 gewonnen[20] und gelten als gelöschte Vorräte. In Abhängigkeit von den Weltmarktpreisen und neuen Aufbereitungs- und Verhüttungsmethoden werden in Zukunft die Indium-Mineralisationen in der Lagerstätte Neves Corvo vermutlich einen wichtigen Platz in der Produktion einnehmen.[18] Sphalerit und Minerale der Stannin-Gruppe und z. T. Chalkopyrit sind in Neves Corvo die Hauptträgerminerale von Indium, das beispielsweise an (sub)-mikroskopische Aggregate von Roquesit ($CuInS_2$) und weiteren komplexen indiumreichen Sulfiden wie Sakurait [$(Cu, Fe, Zn, Ag)_3 (In, Sn)_4$] gebunden ist.[21] Der industrielle Erztyp *"Massive Zinc/MZ" (s. auch Tabelle 2)* zeigt beispielsweise im Neves-Erzkörper Indiumgehalte bis 230 ppm und mehr als 8.000 ppm Indium im Lombador Erzkörper.[22] Insgesamt betrugen die Erz-Vorräte von Neves Corvo Mitte 2019: 61,7 Mt mit 2,3 Gew.-% Kupfer und 71,4 Mt mit 6,9 Gew.-% Zink.[18]

Die VMS-Lagerstätte Neves Corvo befindet sich am SE-Ende der Neves-Corvo/Rosário-Antiklinale in oberdevonischen bis unterkarbonen Schiefern, Quarziten, Tuffiten und submarinen Vulkaniten *(Abbildungen 10A–10C, 11, 12)*.

NC beinhaltet sieben Erzkörper mit Polymetallsulfid- und lokal Kassiterit-Mineralisationen, die in einer Teufe von 230 m bis 1.400 m aufgeschlossen sind *(Abbildung 13)*. Die Erzkörper Neves, Corvo, Graça, Zambujal und Lambador bilden die derzeitige Rohstoffbasis von SOMINCOR, während der Erzkörper Semblana erst 2010 entdeckt wurde und sich in weiterer Erkundung befindet.[18]

Geologische Kartierung im Tharsis Tagebau und von Bohrkernen beim LNEG in Aljustrel

Im Verlauf der Exkursion wurden mehrfach praktische Arbeiten mit den Studierenden durchgeführt. Ziel war es die Kartierungspraktiken unter Realbedingungen, wie sie auch später in den Bergbaubetrieben durchgeführt werden, zu erlernen. Die Aufgaben bestanden unter

19 *„tin stockwerk", „massive cassiterite-rich ores", „repalcement/reworked cassiterite-rich ores"*; Relvas et al. 2006

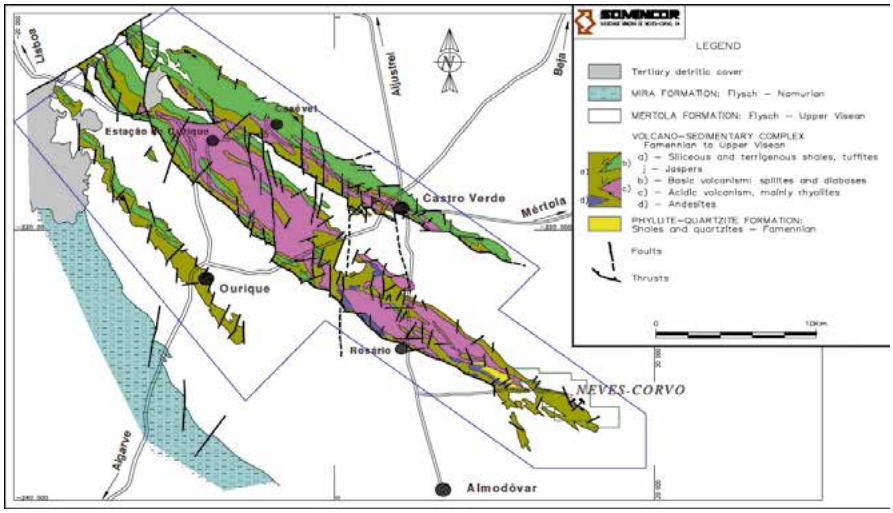
20 jährlich ca. 8.300 t Sn-Metall; cf. Benzaazoua et al. 2003

21 Benzaazoua et al. 2003

22 Pinto et al. 2014

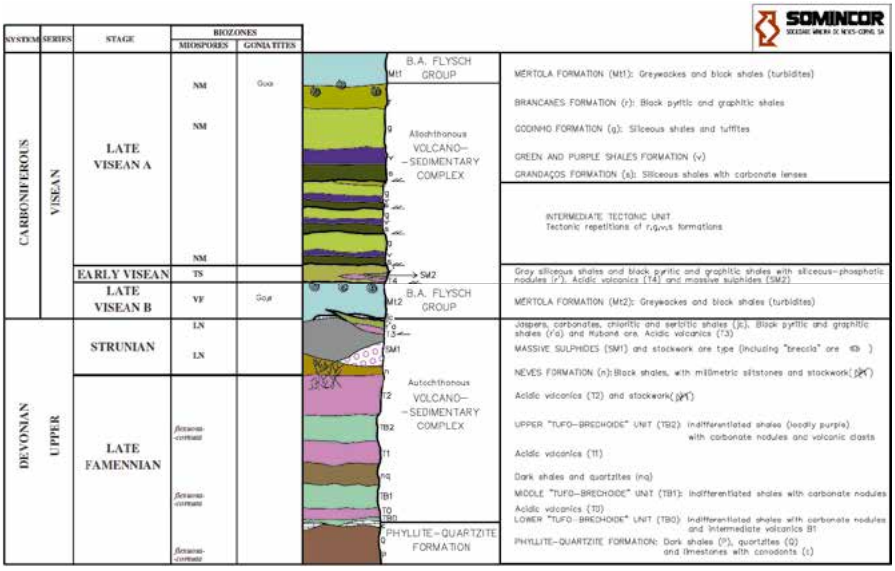
Tab. 2: Mineralisations-Typen der Lagerstätte Neves-Corvo (nach Nevall et al. 2017)

Neves-Corvo Mineralisations-Typen			
Mineralisationstyp	**Beschreibung (engl.)**	**cut-off-Grad**	**Haupt-Erzmineral**
MC	Massive Copper	Cu ≥ 0.7 %	Chalkopyrit
MT	Massive Tin	Sn ≥1 %	Kassiterit
MZ	Massive Zinc	Zn ≥ 2 %	Sphalerit
MP	Massive Lead	Pb ≥ 1 %	Galenit
FC	Stockwork Copper	Cu ≥ 0.7 %	Chalkopyrit
FT	Stockwork Tin	Sn ≥ 1 %	Kassiterit
FZ	Stockwork Zinc	Zn ≥ 2 %	Sphalerit
5C (MCZ)	Massive Copper and Zinc	Cu ≥ 0.7 % and Zn ≥ 3%	Chalkopyrit u. Sphalerit
5Z (MZP)	Massive Zinc and Lead	Zn ≥ 2 % and Pb ≥ 1 %	Sphalerit u. Galenit
ME	Massive Pyrite	-	Barren/Low Grade
FE	Stockwork Pyrite	-	Barren/Low Grade



aus: Nevall et al. 2017 nach Leca et al 1983

Abb. 11: Geologie des Gebiets um Neves Corvo mit den Antiklinalen von Ourique, Neves Corvo/Rosário und Castro Verde und der Lokation der Neves-Corvo-Mine



aus: Nevall et al. 2017

Abb. 12: Stratigraphie im Bereich der VMS-Lagerstätte Neves Corvo (Auffahrungen von SOMINCOR – lundin mining)

anderem darin, einen Stoß im Tagebau Filon Norte im Tharsis-Distrikt geologisch und mineralogisch aufzunehmen. An mehreren Tagen nahmen die Studierenden unter Betreuung der Exkursionsleitung geologische Einheiten und Strukturen auf und dokumentierten diese in einem Kartierungsbericht *(Abbildung 14)*.

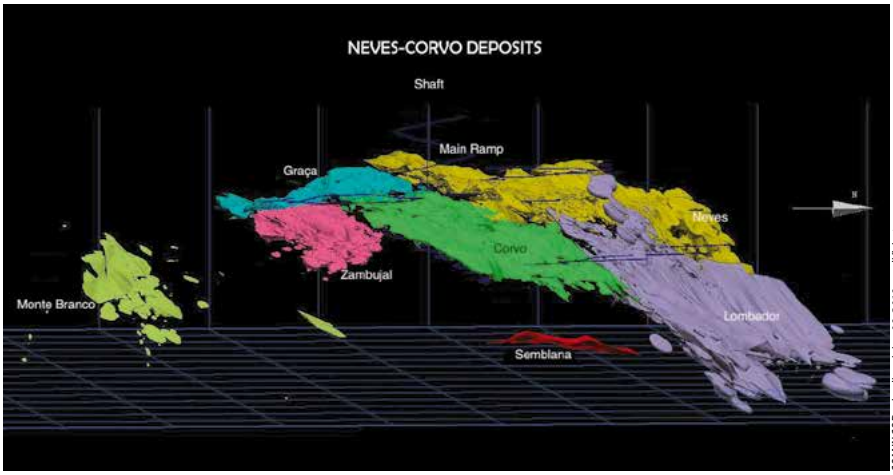
In Kooperation mit dem geologischen Dienst von Portugal (LNEG) fanden an drei Tagen Kartierungsübungen im Bohrkernlager des LNEG an Bohrkernen aus dem Gebiet bei Aljustrel statt. Nach erfolgreich absolvierter Präsentation der Ergebnisse wurde den Studierenden ein Zertifikat über die erbrachten Leistungen überreicht.

Es gäbe noch viel von dieser Exkursion zu berichten. Außer den teilweise spektakulären geologischen Aufschlüssen, den sehr modernen und äußerst sicheren Gruben-, Aufbereitungs- und Hüttenbetrieben und den netten und hilfsbereiten Menschen sowohl im „geologischen Betrieb" als auch außerhalb, haben uns eine der umweltfreundlichsten Energie-Erzeugungsformen im Bereich des supermodernen Solarturmkraftwerkes auf der Ebene von Sanlúcar la Mayor in der Nähe von Sevilla *(Abbildung 15)* und natürlich der berühmte Rio Tinto *(Abbildung 16)* sehr beeindruckt. Allerdings haben wir uns auch gefragt, wieso die gigantischen Energiemengen von unserer Sonne, die tagtäglich den Sand der Sahara zum Glühen bringen, nicht durch derartige Sonnenkraftwerke mit einer wirklich umweltfreundlichen Technologie[23] im großen Stil für Nord- und Zentral-Afrika und Europa genutzt werden.

Danksagung

Für die freundliche Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Exkursion sowie der Veröffentlichung in der ACAMONTA 2020 bedanken sich alle Exkursionsteilnehmer herzlich bei Jesús Caballos Cataño (Atalaya Mining), Angela Pérez und Juan Manuel Escobar Torres (Cobre Las Cruces, SA – First Quantum Minerals), João Xavier Matos und Kollegen (Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)), Macarena Valdés Elizalde (MATSA), Liliana Santos Correia and Nelson Pacheco (Somincor), Irene Ruiz (Atlantic Copper) und besonders bei Domingo Javier Carvajal Gomez (University of Huelva), Matthias Bauer (Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH Peine) sowie Doreen Fischer und Heike Rühmling (TU Bergakademie Freiberg, Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie) und Brita Gelius und Annett Wulkow (TU Bergakademie Freiberg, ZUV, Archiv).

23 Beispielsweise im Vergleich zu großen Windkraftanlagen mit einer ungünstigen Ökobilanz aus der Sicht des Rohstoffverbrauchs (Seltene Erden, Stahl und enorme Mengen an Baurohstoffen), der geringen Recycelbarkeit und des Natur- und Umweltschutzes!



SOMINCOR – lundin mining 09-2019, modifiziert

Abb. 13: 3-D-Modell der Cu-Zn-Sn-In-Se-Ag-Au-Lagerstätte Neves Corvo mit den sieben bekannten Erzkörpern

Quelle: Google Earth, 24.11.2019, modifiziert

Abb. 14: Überblick über den Tagebau Filon Norte im Distrikt Tharsis (IPB, Spanien) in dem die Studierenden in fünf Gruppen VMS-Mineralisationen und Nebengesteine einschließlich der Alterationszonen kartierten. Etwa in der Mitte als Beispiel der Kartierungsbereich von Gruppe 3.

Foto: Thomas Kürschner

Abb. 15: Sonnen-Turm PS 10 mit einer Leistung von 10 MW, Solarturmkraftwerk im Gebiet Sanlúcar la Mayor in der Nähe von Sevilla. Ein zweiter Turm, PS 20, hat eine Leistung von 20 MW.

Abb. 16: Der Rio Tinto (der „Rote Fluß“) befindet sich im gleichnamigen Lagerstättendistrikt des IPB. Die rötlich-braune Färbung resultiert aus der Oxidation von natürlich anstehenden sulfidischen Erzkörpern und Gossan sowie Bergbaufolgeprodukten der Gewinnung von Pyrit und Cu-Zn-Sulfiderzen vor allem vom späten 19. Jahrhundert bis in die 1970er Jahre (Olías und Nieto 2015). Damit verbunden sind extrem hohe Schwermetall-Gehalte und pH-Werte von 2 bis 3 (Olías und Nieto 2015).

Foto: Thomas Seifert

Referenzen

Almodóvar, G.R.; Yesares, L.; Sáez, R.; Toscano, M.; González, F.; Pons, J.M (2019). Massive Sulfide Ores in the Iberian Pyrite Belt: Mineralogical and Textural Evolution. *Minerals* 2019, *9*, 653. https://doi.org/10.3390/min9110653

Benzaazoua, M., Marion, P., Pinto, A., Migeon, H., Wagner, F.E. (2003). Tin and indium mineralogy within selected samples from the Neves Corvo ore deposit (Portugal): a multidisciplinary study. Minerals Engineering 16, pp. 1291–1302.

Leca, X., Ribeiro, A., Oliveira, J.T., Silva, J.B., Albouy, L., Carvalho, P., Merino, H. (1983). Cadre geologique des mineralisations de Neves Corvo (Baixo Alentejo, Portugal). Lithostratigraphie, paleogeographie et tectonique. Bur Rech Geol Min Orleans BRGM Mem 12:1–12

Leistel, J. M., Marcoux, E., Thiéblemont, Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, Pascual, E., Sáez, R. (1998). The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt - Review and preface to the Thematic Issue. Mineralium Deposita, 33(1), pp. 2–30. doi: 10.1007/s001260050130.

Martin-Izard, A., Arias, D., Arias, M., Gumiel, P., Sanderson, D. J., Castañon, C., Sánchez, J. (2015). A new 3D geological model and interpretation of structural evolution of the world-class Rio Tinto VMS deposit, Iberian Pyrite Belt (Spain). *Ore Geology Reviews 71*, 457–476.

Miguélez, N. G.; Tornos Arroyo, F.; Velasco, F.; Videira, J. C. (2011) ‘Geology and Cu Isotope Geochemistry of the Las Cruces Deposit (SW Spain), Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, 15, pp. 131–132.

Nevall, P., Hill, A., Ellis, R., King, P., Holley, S., Richardson, S., Tarrant, S., Luneva, V., Glücksman, E. (2017) Lundin Mining NI 43-101 Technical report for the Neves-Corvo mine, Portugal, June 2017.

Olías, M. und Nieto, J.M. (2015). Background Conditions and Mining Pollution throughout History in the Río Tinto (SW Spain). Environments 2015, 2, 295–316; doi:10.3390/environments2030295.

Pinto, A., Relvas, J.M.R.S., Carvalho, J.R.S., Liu, Y., Pacheco, N., Pinto, F., Fonseca, R. (2014). High-Tech Metals in the zinc-rich massive ores of the Neves Corvo Deposit. Comunicações Geológicas 101, Especial II, pp. 825-828.

Relvas, J., Barriga, F., Ferreira, A., Noiva, P., Pacheco, N., Barriga, G. (2006). Hydrothermal Alteration and Mineralization in the Neves-Corvo Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit, Portugal. I. Geology, Mineralogy, and Geochemistry. Economic Geology. 101. 753-790. 10.2113/gsecongeo.101.4.753.

Seifert, Th., Krolop, P., Fritzke, B. and student excursion group (2020). Final report to the excursion “Ore Deposits and Geology of the Iberian Pyrite Belt, Spain and Portugal – 2019”. TUBA Freiberg, Division of Economic Geology and Petrology, 23.09.-06.10.2019, Eds. Seifert, Th. et al., 135 pp. and Appendix.

Yesares, L., Aiglsperger, T., Sáez, R., Almodóvar, G.R., Nieto, J.M., Proenza, J.A., Gómez, C., Escobar, J.M. (2015). Gold behavior in supergene profiles under changing redox conditions: The example of the Las Cruces deposit, Iberian Pyrite Belt. Economic Geology 8, 2109–2126.

Universität aktuell

FOUNDress – Das Sensibilisierungsprogramm für (potenzielle) Gründerinnen an der TU Bergakademie Freiberg

Karina Sopp[1], Isabel Schulze[1]

Der Begriff „Start Up" beschreibt ein junges Unternehmen mit hohem Innovationsgrad und einem skalierbaren Geschäftsmodell. Auch das Umfeld der Technischen Universität Bergakademie Freiberg fördert die (Weiter-)Entwicklung von Start Ups. Dies geschieht beispielsweise durch die Verwertung von Forschungsergebnissen im Rahmen von Gründungsvorhaben.

Bei einer deutschlandweiten Betrachtung des Gründungsgeschehens zeichnet eine geschlechterspezifische Differenzierung folgendes Bild: Mit einer Anzahl von 216.000 Gründungen durch Frauen im Jahr 2018 (dies entspricht einer Quote von 40 Prozent) setzt sich ein positiver Trend bei der Anzahl der weiblich geprägten Gründungen fort. Demgegenüber liegt der Anteil von Gründerinnen im Start Up-Bereich mit einer Quote von lediglich 15,7 Prozent im Jahr 2019 stark darunter *(Abbildung 1)*. Diese Unterrepräsentanz von Frauen bei Start Up-Gründungen bestätigt der Female Founders Monitor 2020, in dem die Bedeutung von Gründerinnen für das deutsche Start Up-Ökosystem analysiert und bewertet wird. Auch nach dieser Studie deuten die dargestellten Zahlen auf eine sich abzeichnende Stagnation bei weiblich geprägten Start Up-Gründungen hin.

Als mögliche Gründe dafür gelten die folgenden: (1) der geringe Anteil von Frauen in den MINT-Studiengängen und die daraus resultierende Unterrepräsentanz in digital orientierten Branchen, (2) eine gesellschaftlich-soziale (statt ökonomisch) geprägte Motivation von Gründerinnen, (3) eine geringe(re) berufliche Vernetzung (mithin die Existenz von weniger stark ausgeprägten Netzwerken), (4) fehlende Finanzierungsmöglichkeiten (besonders durch ein geringeres Volumen an Risikokapital, das von Venture Capital-Gebern oder Business Angels für Gründerinnen bereitgestellt wird) und (5) die mangelnde Vereinbarkeit von Familie und Gründung. Weitere Faktoren seien (6) eine bei Frauen oft stärker ausgeprägte Risikoaversion und (7) das Fehlen von unternehmerischen Vorbildern. Die jeweilige Ausprägung der zuvor genannten Aspekte – etwa die individuelle Expertise und der Umfang an bereits vorhandenen Kontakten – wirkt sich auf den Erfolg oder Misserfolg einer Gründung aus.

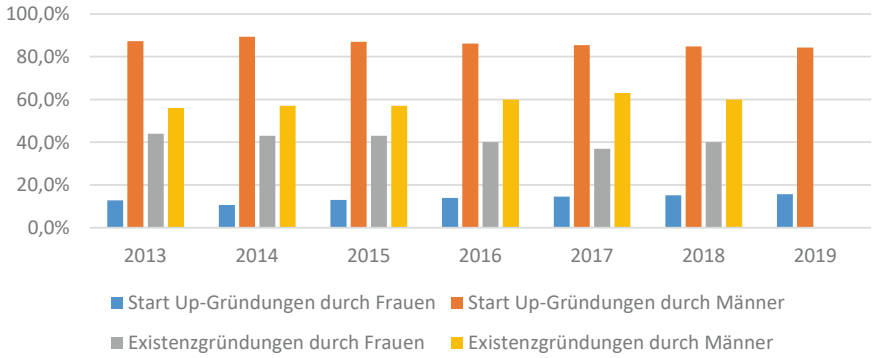


Abb. 1: Start Up- und Existenzgründungen durch Frauen im nationalen Vergleich.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Female Founders Monitor 2017, Female Founders Monitor 2019, DSM 2014 und KFW-Gründungsmonitor 2019. Bei (gemischten) Gründungsteams wird die (Start Up-)Gründung immer derjenigen Person zugewiesen, die die Gründung initiiert hat.

Demzufolge ist bei den genannten Faktoren anzusetzen, um geschlechterspezifische Hemmnisse bei Gründungen abzubauen und Start Up-Gründungen durch Frauen zu fördern. Ein verhältnismäßig leicht realisierbarer Ansatz besteht darin, Gründerinnen aktiv beim Aufbau eines eigenen Netzwerks zu unterstützen. Geeignete Kontakte können Erfahrungen weitervermitteln und den entscheidenden Anstoß zu einer Unternehmensgründung geben. Hierdurch lässt sich ein stärkendes Umfeld schaffen, um bestehende Unsicherheiten gezielt abzubauen und das „Gründungspotenzial" potenzieller Gründerinnen aufzuwerten. Die Verwertung der eigenen Ideen sollte als berufliche Möglichkeit bestmöglich sichtbar gemacht und aktiv unterstützt werden.

Institutionen und Initiativen von Bund und Ländern bestätigen in ihren Verlautbarungen und durch die Initiierung verschiedener Maßnahmen die Relevanz dieser Thematik. Dazu zählen beispielsweise die Aktivitäten der Bundesgründerinnenagentur oder der Initiative „FRAUEN unternehmen" sowie solche der regionalen Gründerinnenzentren. Zudem sind Hochschulen dazu prädestiniert, insbesondere Studentinnen und wissenschaftliche Mitarbeiterinnen für Gründungen zu sensibilisieren. So absolvieren 81,1 Prozent der Frauen vor Gründung eines Start Ups ein Studium, aus dem die benötigte fachliche Expertise hervorgeht.

Die TU Bergakademie Freiberg fördert ihr gründungsspezifisches Potenzial unter anderem durch ein im Jahr 2019 an der Professur für Entrepreneurship und betriebswirtschaftliche Steuerlehre initiiertes Sensibilisierungsprogramm. Dieses mehrmonatige Programm mit dem Namen „FOUNDress" zeigt primär wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Studentinnen ihr Potenzial als (Mit-)Gründerin auf und unterstützt sie bei der (Weiter-)

Foto: privat

Abb. 2: FOUNDress-Teilnehmerinnen beim FOUNDress Day 2020

1 **Kontakt:** Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Professur für Entrepreneurship und betriebswirtschaftliche Steuerlehre, Schloßplatz 1a, 09599 Freiberg

Entwicklung ihrer eigenen Gründerpersönlichkeit. Teil des Programms sind Coachings, Diskussionsrunden und Workshops, die speziell auf die Bedürfnisse von Gründerinnen ausgerichtet sind. Zudem führt FOUNDress die Teilnehmerinnen an erfolgreiche Gründer(innen) heran. Das Programm unterstützt Frauen somit nachhaltig dabei, sich ein für die Gründung erforderliches Geflecht von Beziehungen aufzubauen, Handlungsstrategien für die (geplante) Gründung abzuleiten und fachliche Kompetenzen zu steigern.

Im Wintersemester 2019/20 konnte das Programm erstmalig durchgeführt werden. Im Rahmen dieses Programms trafen sich die Teilnehmerinnen im Zeitraum vom Oktober 2019 bis März 2020 mindestens einmal pro Monat. Das Programm war ein voller Erfolg: Sowohl die 15 Teilnehmerinnen, die sich in den (Vor-)Gründungsphasen „Ideenfindung/Vorgründung/Gründung“ befanden, als auch die Mitwirkung von in der Gründerszene anerkannten und erfolgreichen Referentinnen und Referenten trugen zu seiner gelungenen Umsetzung bei.

Mit dem aktiven Austausch von Ideen der Teilnehmerinnen untereinander stärkt das Programm FOUNDress die Positionierung der TU Bergakademie Freiberg als Gründungsuniversität. Zugleich werden ehemalige Teilnehmerinnen im Rahmen von spezifischen ALUMNI-Aktivitäten mit der Universität in Verbindung gehalten. Ein programmbegleitender Podcast, der Interviews mit namhaften (GründerInnen-) Persönlichkeiten bietet, trägt den Gedanken von FOUNDress über die Freiberger Universität hinaus weiter.

Aufgrund der positiven Evaluierung des erstmaligen Projektdurchlaufs von FOUNDress wurde eine Weiterführung dieser Initiative vorangetrieben. Im Ergebnis ermöglicht ab dem Wintersemester 2020/21 eine Kooperation zwischen der Professur für Entrepreneurship und betriebswirtschaftliche Steuerlehre und dem Gründernetzwerk SAXEED die Fortführung und Weiterentwicklung des Programms bis ins Jahr 2022. Auf Basis der erfolgreichen gemeinsamen Einwerbung von Drittmitteln steht vor allem die Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie im Fokus, um so auch eine erweiterte räumliche Verbreitung von FOUNDress – insbesondere innerhalb des SAXEED-Netzwerks – zu ermöglichen. Anmeldungen für die Teilnahme am Programm sind jeweils bis zum Ende des Sommersemesters (30.09.) möglich.

Neue Angebote zur Gründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg

Andre Uhlmann, Jens Grigoleit

Das SAXEED-Team mit den Start-ups RMF Tech GmbH und Just in Time-Food im neuen Coworking Space im DBI auf der Halsbrücker Straße

Ausgründungen als zentraler Weg des Wissens- und Technologietransfers

Neben den klassischen Aufgaben der Hochschulen im Bereich der Forschung und Lehre gewinnt der Wissens- und Technologietransfer zunehmend an Bedeutung. Ausgründungen aus der Hochschule stellen eine wesentliche Form dieses Wissens- und Technologietransfers dar. Der Trend zur Gründung eines Unternehmens ist dem aktuellen KfW-Gründungsmonitor 2019 zufolge zwar allgemein rückläufig, dennoch steigt der Anteil der Gründungen, die ideengetrieben, innovativ, digital und wachstumsorientiert sind. Die Rolle der Hochschulen als Treiber dieser Entwicklung hin zu qualifizierten Gründungen, v. a. im Rahmen von Spin Offs, hat signifikant an Bedeutung gewonnen. Die TU Bergakademie Freiberg gehört laut aktuellen Ergebnissen des Gründungsradars 2018 bereits heute unter den kleineren deutschen Hochschulen zu den TOP 10 im Bereich der Gründungsförderung. Jährlich werden rund acht bis zehn Unternehmen von Studierenden, wissenschaftlichen Mitarbeitern und Alumni der TU Bergakademie Freiberg gegründet und vom hochschuleigenen Gründernetzwerk SAXEED begleitet. SAXEED sensibilisiert und motiviert Studierende, Absolventen und Hochschulmitarbeiter für die Idee einer eigenen Unternehmensgründung. Durch ein breites Angebot an Netzwerk- bzw. Lehrveranstaltungen werden Gründer qualifiziert und von erfahrenen Gründerbetreuern begleitet – von der Bewertung der Geschäftsidee über die Entwicklung des Geschäftsmodells bis zur Gründung des eigenen Startups. Als Verbundprojekt gibt es SAXEED außer an der TU Bergakademie Freiberg auch an der TU Chemnitz und an den Fachhochschulen in Mittweida und Zwickau.

Potenzialreiche Gründungen in den Jahren 2019 und 2020

Die Startups setzen vorwiegend an den anwendungsorientierten Forschungsprojekten der TU Bergakademie Freiberg an, gehen mit Vorbildwirkung voraus und schaffen hochwertige Arbeitsplätze in der Region. In den letzten drei Jahren wurden 24 Unternehmen aus der Bergakademie heraus gegründet, darunter die folgenden, ausgesprochen potenzialträchtigen Gründungen:

- Die **Additive Drives GmbH (Gründung im März 2020)** treibt die additive Fertigung der Kupferspulen für elektrische Antriebe voran. Während des nächsten Jahres wird das Gründerteam um Axel Helm, Dr. Jakob Jung, Lasse Berling und Philipp Arnold die additive Fertigung von Kupferwicklungen, Hauptbestandteil eines jeden Elektromotors, am Markt etablieren und die Technologie dafür weiterentwickeln. Der passgenaue 3D-Druck bringt Elektromaschinen in deutlich verbesserte Leistungs- und Wirkungsgradbereiche (bis zu 45 Prozent Performancesteigerung). Die vereinfachte Herstellung – direkt aus den CAD-Daten des Konstrukteurs heraus – ermöglicht zudem deutlich kürzere Entwicklungs- und Testzyklen.
- Die **RMF Tech GmbH (Gründung im September 2019)** ist eine Ausgründung aus dem Institut für Technische Chemie. Hinter RMF steht eine innovative und effiziente Technologie des Recyclings von wert-

stoffhaltigen Stoffströmen, beispielsweise Reststoffen aus der Verhüttung oder aus Produktionsrückständen der High-Tech-Industrie. Dabei werden Technologiemetalle wie Indium und Gallium extrahiert und in Standard-Handelsqualität auf dem Rohstoffmarkt angeboten. Die Metalle sind für die Herstellung von High-Tech-Anwendungen wie Photovoltaikanlagen und LES-Displays essenziell.

- Die **ATNA Industrial Solutions GmbH (Gründung im Januar 2019)** beschäftigt sich mit der Entwicklung einer innovativen hydraulischen Hochleistungspresse. Diese verfügt über ein breites Einsatzspektrum – für nachwachsende, fossile und mineralische Rohstoffe bis hin zu Rest- und Abfallstoffen. Der neuartige Wirkmechanismus der Presse ermöglicht es, hochwertige Agglomerate unterschiedlichster Abmessungen herzustellen, wobei ein Höchstmaß an energetischer Effizienz die Produktionskosten drastisch senken kann. Die Vernetzung der Aggregate durch internetbasierte Server und eine umfangreiche messtechnische Ausstattung sind die Basis von Anlagen-Monitoring, -optimierung und Predictive Maintenance im Sinne der Industrie 4.0.

Diese Startups wurden bzw. werden in ihrer Frühphase über das Förderprogramm EXIST Forschungstransfer des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert, das die Umsetzung von anwendungsorientierten Forschungsergebnissen in innovativen Startups unterstützt. Dazu werden Personalmittel für das bis zu vierköpfige Gründerteam sowie bis zu 250.000 € für Sachmittel bereitgestellt. Antragsteller ist die Hochschule. Erst nach der Gründung des Startups wird die Übertragung der angeschafften Gegenstände und Patente geregelt und der Grundstein für eine langfristige Kooperation gelegt. Die TU Bergakademie Freiberg konnte im Förderprogramm „EXIST – Existenzgründungen aus der Wissenschaft“ mit den Förderinstrumenten EXIST-Gründerstipendium und EXIST-Forschungstransfer bereits besondere Erfolge erzielen. Derzeit laufen vier EXIST-Gründerstipendien und vier EXIST-Forschungstransfers. Dabei fällt positiv auf, dass in den letzten Jahren nahezu alle Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg Ausgründungen realisieren konnten.

Neue Angebote der Ausgründungsunterstützung durch EXIST-Potenziale

Diese Beispiele belegen das innovative Potenzial und die positive Entwicklung der Gründungsaktivitäten an der TU Bergakademie Freiberg. Um die langfristigen Erfolgschancen der Ausgründungen aus der Hochschule weiter zu verbessern, soll künftig eine noch stärkere Unterstützung bei der Vernetzung mit relevanten Partnern im Startup-Ökosystem gewährt werden. Dazu hat sich die TU Bergakademie Freiberg in 2019 im Verbund mit der TU Chemnitz und den beiden Fachhochschulen in Zwickau und Mittweida um eine Förderung in der Richtlinie EXIST-Potenziale des BMWi in der Ausrichtung „regional vernetzen“ beworben. Insgesamt haben bundesweit 220 Hochschulen einen Antrag auf dieses Programm eingereicht. Am 3. Dezember 2019 wurden die Namen der geförderten Projekte im Rahmen einer feierlichen Veranstaltung in Berlin bekanntgegeben, wobei auch die Bewerbung der TU Bergakademie Freiberg zu den Gewinnern zählte. Im März 2020 wurde der Zuwendungsbescheid überreicht und damit ein wichtiger Schritt zur nachhaltigen Finanzierung der Ausgründungsunterstützung an der TU Bergakademie Freiberg geschafft. Ziel des prämierten Projekts ist es, die Anzahl und die Qualität technologieorientierter Gründungen durch Etablierung einer nachhaltigen, regional verankerten Startup-Kultur zu steigern. Dies geschieht durch eine enge Vernetzung des Gründernetzwerks mit regionalen Wirtschaftspartnern, in der Finanzierung und mit weiteren regionalen wie überregionalen Akteuren der Gründungsunterstützung. Die involvierten Partner, darunter die Stadt Freiberg, die IHK-Region Mittelsachsen, futureSAX und verschiedene Investoren, wie der Technologiegründerfonds Sachsen oder die Mittelständische Beteiligungsgesellschaft Sachsen, sollen sich frühzeitig mit den Gründerteams vernetzen und in jeder Phase des Gründungsprozesses ein bedarfsgerechtes Angebot an Unterstützungsleistungen bereitstellen.

Neuer Coworking Space für Startups der TU Bergakademie Freiberg gestartet

Im Fokus dieser zukünftigen Entwicklung des Gründernetzwerks SAXEED steht der neu entwickelte 18-monatige Frühphaseninkubator für die Ausgründungsprojekte der TU Bergakademie Freiberg – die SAXEED-Masterclass. Sie kombiniert einen strukturierten Coachingfahrplan mit gemeinsamen Büroarbeitsplätzen in einem neuen Coworking Space im Industriekomplex des DBI an der Halsbrücker Straße. Die SAXEED-Masterclass, an der alle EXIST-geförderten Gründungsprojekte der TU Bergakademie Freiberg teilnehmen, hat das Ziel, die Qualität der Gründungen zu steigern, den Austausch der Teams untereinander zu fördern und die Folgefinanzierung sicherzustellen. Sie ist organisiert in drei Säulen:

- wöchentliche Meetings zum Austausch der Teams untereinander,
- strukturierter Coachingfahrplan zu allen gründungsrelevanten Themen,
- vier Präsentationen zur Dokumentation der Entwicklung vor einer Expertenjury.

Dazu werden neben den SAXEED-Gründerberatern auch regionale Partner, vor allem Kapitalgeber, Verbände und strategische Partner bzw. Pilotkunden aus der Region, frühzeitig als Teil der Expertenjury in den Entwicklungsprozess der Startups einbezogen und der Grundstein für langfristige Partnerschaften gelegt. Alle sechs Monate startet eine neue SAXEED-Masterclass – die erste Klasse ab dem 1. Oktober 2020.

Nach fast neun Jahren der provisorischen Unterbringung im Campusteil Reiche Zeche hat auch das Team des Gründernetzwerks SAXEED Anfang Juni 2020 die neuen Räume im Coworking Space bezogen. Damit ist es möglich, die Gründungsprojekte der TU Bergakademie Freiberg räumlich stärker mit SAXEED zu vernetzen. Neben den Büros der drei SAXEED-Gründerberater gibt es jeweils ein großes Gemeinschaftsbüro für die EXIST-Gründerstipendiaten und die EXIST-Forschungstransfers der TU Bergakademie. In Hochphasen werden bis zu sechs EXIST-Gründerteams im Coworking Space arbeiten. Ergänzt werden die Arbeitsplätze durch einen Beratungsraum und einen modernen Workshopraum. So ist es möglich, dass auch die von SAXEED für Gründungsinteressierte organisierten Workshops im direkten Umfeld der Startups der TU Bergakademie stattfinden können.

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 Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), des Europäischen Sozialfonds (ESF) und der beteiligten Hochschulen gefördert.

Transfer zwischen Theorie und Praxis – zu ausgewählten Praxisprojekten aus den Erfahrungen einer Marketingprofessur

Margit Enke[1], Judith Sachse[2]

Wir schreiben den 5. Februar 2020, ein typischer Wintertag, als die Studierenden der Vorlesung „Marketingmanagement – Instrumente“ vor dem Elektrotechnik-Hörsaal des altgedienten Lessingbaus auf Einlass warten. In der letzten Woche der Vorlesungszeit stehen heute die Abschlusspräsentationen der Gruppenarbeiten an, die die Studierenden im Verlauf des Semesters erarbeitet haben. Die Veranstaltung beginnt leicht verspätet, da eine wichtige Person noch fehlt – der Geschäftsführer eines Möbelproduzenten aus Marienberg, für dessen Unternehmen die Studierenden im Rahmen der Lehrveranstaltung ein Marketingkonzept entwickelt haben. An diesem Tag stellen fünf Gruppen von Studierenden ihre selbständig erstellten Marketingkonzepte vor: Zwei davon befassten sich mit dem Möbelproduzenten, drei Gruppen mit einem regionalen Bierhersteller – beide Unternehmen planen die Markteinführung ihrer Produkte im Jahr 2020 und hatten sich zwecks der Erarbeitung einer Strategie an den Lehrstuhl für Marketing und Internationalen Handel an der TU Bergakademie Freiberg gewandt.

Neue Impulse für die Praxis

Prof. Dr. Margit Enke, Inhaberin der Professur, führt routiniert durch die Veranstaltung. Die Mitwirkung von Studierenden an aktuellen Praxisprojekten ist die beste Möglichkeit, den angehenden Betriebswirt*innen die Relevanz von Marketing für den Unternehmenserfolg zu vermitteln. Die Studierenden müssen sich mit realen Problemstellungen auseinandersetzen und Konzepte erarbeiten, die nicht nur in der Theorie funktionieren, sondern auch in der Praxis umsetzbar sind. Natürlich sind manche ihrer Ideen am Markt schwer umzusetzen, weil ihnen schlicht die Erfahrung fehlt, aber dafür bringen die jungen Menschen neue, mutige Impulse in die wissenschaftsbasierte Praxis ein. Und genau das ist es, was der Lehrstuhl für Marketing seit vielen Jahren mit unzähligen Praxisprojekten fördert - Kreativität und mutige Ideen, kombiniert mit fundierter Fachkenntnis und dem Wissen, wie theoretische Konzepte auf die Praxis zu übertragen sind.

Anwendungsorientierte Lehrformate

Mit dem Ruf von Prof. Margit Enke an die TU Bergakademie Freiberg im Jahr 1996 beginnt auch eine praxisorientierte Ausbildung der Studierenden im Bereich Marketing. Neben Marketing-Grundlagenfächern, die von Wirtschaftswissenschaftler*innen und Ingenieur*innen in spe gleichermaßen gehört werden, gibt es am Lehrstuhl von Frau Prof. Enke verschiedene Lehrformate, in denen die Studierenden auf unterschiedliche Weise Marketingwissen vermittelt bekommen. Bezüglich der Zusammenarbeit mit Praxispartnern haben sich das „Projektstudium Marketing“ und „Applied Marketing Science“ als wertvolle Formate etabliert. Im „Projektstudium Marketing“ haben Studierende der Bachelorstudiengänge die Möglichkeit, unter Leitung der wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen des Lehrstuhls erste Erfahrungen mit dem Zusammenspiel von wissenschaftlicher Forschung und deren projektbezogener Anwendung zu sammeln. Im Fach „Applied Marketing Science“ arbeiten Masterstudierende an einer aktuellen, praktischen und forschungsrelevanten Problemstellung innerhalb eines marketingwissenschaftlichen Projekts. Dabei eignen sich die Studierenden Methoden des praktischen, wissenschaftlich fundierten Herangehens an einen zu untersuchenden Forschungsgegenstand an.

Zwei Heimatstädte – zahlreiche Projekte

Nachdem nun vorgestellt wurde, WIE das Wissen zu den Studierenden kommt, soll es im Folgenden darum gehen, WAS die Studierenden gelernt haben. In den nunmehr fast 25 Jahren seines Bestehens gab es an der Professur über 60 Praxisprojekte. Neben Projekten mit verschiedenen Unternehmen waren das Hochschulmarketing der TU Bergakademie und das Stadtmarketing der Stadt Freiberg und anderer sächsischer Städte und Regionen immer wieder Gegenstand empirischer Untersuchungen.

Bei Betrachtung der Herkunft der Praxispartner fällt auf, dass einige aus Leipzig stammen. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass Prof. Margit Enke diese Stadt ihre Heimat nennt. Für den Leipziger Künstler Fischer Art, der im Jahr 2012 im Rahmen eines vielbeachteten Projekts die Fassade der Universitätsbibliothek in Freiberg neugestaltete, entwickelten Freiberger Marketing-Studierende im Rahmen ihres Projektstudiums ein Marketingkonzept inklusive Markenstrategie. Auch führte der Lehrstuhl Gästebefragungen zum Tourismus in der Stadt Leipzig durch. Darüber hinaus gab es mehrere Kooperationen mit dem Zoo Leipzig. Das erste Projekt 2005 bestand in der Ausarbeitung von Handlungsempfehlungen zu der Frage, wie das neu geplante Gondwanaland in das bestehende Marketing des Zoos Leipzig zu integrieren sei. 2019 beauftragte der Zoo die Professur mit einer umfassenden Besucherbefragung, um neue Angebotsmöglichkeiten zu identifizieren. Doch auch in der Wahlheimat von Frau Prof. Enke, in Freiberg, sind mit der Zeit einige Projekte zusammengekommen. Dazu zählen u. a. eine Imageanalyse für die Stadt Freiberg, die Erstellung eines Marketingkonzepts für die Gottfried-Silbermann-Stiftung, die Untersuchung der Kundenzufriedenheit mit Freiberger Restaurants und dem Freiberger Christmarkt, aber auch die Zufriedenheit von Besuchern und Bevölkerung mit der Stadt Freiberg, insbesondere der Erfassung der Wünsche der Studierenden, die Erarbeitung eines Vertriebskonzepts für die Stadtwerke Freiberg AG sowie die Evaluation der Freiberger Sommernächte. Die Professur führte auch verschiedene Untersuchungen zum Hochschulmarketing der TU Bergakademie Freiberg durch, etwa das alljährliche Erstsemestermonitoring, Befragungen zur Studierendenzufriedenheit oder Umfragen unter Mitarbeitenden und Professor*innen, beispielsweise zum Thema Gleichstellung.

Man könnte auch sagen, in Prof. Margit Enke schlagen zwei Herzen – etwa so, wie die „absatzwirtschaft“ 2002 den Beitrag von Prof. Enke und Dr. Schrader betitelte: „Die Kraft der zwei Herzen“. Doch dabei geht es weder um Arzneimittel noch speziell um Kardiologie, sondern um innerdeutsches Marketing. In dieser führenden, praxisorientierten Marketingzeitschrift

1 Prof. Dr. Margit Enke, Professur für Marketing und Internationalen Handel
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
TU Bergakademie Freiberg
Margit.Enke@bwl.tu-freiberg.de

2 M. Sc. Judith Sachse, Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Marketing und Internationalen Handel
Judith.Sachse@bwl.tu-freiberg.de

legten Prof. Enke und der Journalist und Werbeexperte Dr. Eberhard F. Schrader ihr Wissen zum Marketing-Labor Deutschland dar. Der Beitrag entstand unter Nutzung von Erkenntnissen aus zahlreichen Interviews namhafter Markenführer und zeigt, mit welchen Chancen, aber auch Risiken „Ostmarken“ wie Rotkäppchen, fit, Florena und Spee konfrontiert waren. Die Marken Florena und Spee beispielsweise fanden mit Beiersdorf und Henkel neue Schirmherren, andersherum fanden Mumm und Geldermann bei Rotkäppchen oder Kuschelweich und Sunil bei fit ihre neue Heimat. Doch auch etablierte Marken wie Nivea, Persil und auch Coca-Cola stehen immer wieder vor der Herausforderung, sich in einem stetig wachsenden und sich weiterentwickelnden Wettbewerbsumfeld zu behaupten. Auch mit diesen und weiteren Markenführern gab es am Lehrstuhl mehrere Kooperationen, bei denen u. a. die Etablierung von „Ostmarken“ untersucht wurde.

Vom Verstehen zur Verwendung

All diese Projekte haben eines gemeinsam: die direkte Anwendung der im Lehrbetrieb vermittelten marketingwissenschaftlichen Inhalte auf reale Problemstellungen der unternehmerischen Praxis. Ob es dabei um das Design eines Fragebogens, die Entwicklung eines Leitbildes oder die Formulierung von Kommunikationsinhalten geht – durch die Kooperationen mit Praxispartnern gelingt es seit 25 Jahren, den Studierenden anhand aktueller Projekte zu zeigen, wie sie ihr Wissen gekonnt einsetzen können. Auch treten im Umgang mit Projektpartnern Hindernisse und Herausforderungen auf, die in keinem Lehrbuch stehen.

Zurück zu den Abschlusspräsentationen im Elektrotechnik-Hörsaal: Der Geschäftsführer des Möbelunternehmens ist sehr interessiert, die Studierenden stehen Rede und Antwort, er scheint zufrieden. Die Studierenden auch. Sie sagen, dass es sehr hilfreich war, an einem real existierenden Projekt zu arbeiten, bei dem die eigenen Ideen auch umsetzbar sein müssen und keine bloßen Träumereien. Das hebt den Anspruch und steigert die Motivation. Dieses Feedback ist der Grund, warum Prof. Margit Enke ihre Lehre immer wieder mit Praxisprojekten untersetzt und so den Transfer zwischen Theorie und Praxis schon Studierenden und somit Berufseinsteiger*innen erfolgreich vermittelt.

Innovative Schulungsideen für den Rohstoffbereich gesucht!

Willem Zank

Seit 2016 ist das European Institute of Innovation and Technology (EIT) RawMaterials – Regional Center Freiberg (RCF) als zentrale Einrichtung an der TU Bergakademie Freiberg ein wichtiger Ansprechpartner für die internationale Zusammenarbeit. Neben der Vernetzung innerhalb des größten europäischen Rohstoffkonsortiums, des EIT RawMaterials mit über 300 Partnern aus mehr als 20 Ländern steht die Drittmittelakquise zur Förderung innovativer Projektideen im Fokus der Arbeit des RCF. In den letzten Jahren gelang es, Projektmittel in Höhe von 7 Millionen Euro für über 57 Projekte an die Universität zu holen.

Ein Teil dieser Fördersummen wird für Projekte in den Bereichen Professional Education und Lifelong Learning eingesetzt und erweitert damit auch die Angebote der TU Bergakademie Freiberg in der Erwachsenen- und Weiterbildung jenseits des Hochschulabschlusses. Für Mitarbeiter der europäischen Rohstoffbranche entstand so ein Portfolio von mehr als 40 Kursen, die in Freiberg angeboten werden. Das Themenspektrum dieser Kurse erstreckt sich über die gesamte Breite der Rohstoffbranche: So gibt es neben Kursen zu Bergbau und Verfahrenstechnik auch Angebote zur Thematik der Circular Economy oder der Automatisierung. Auch Kurse zu für die Branche wichtigen Softskills - z. B. Entrepreneurship, Vertrieb und Verhandlungskompetenz - sind im Angebot. Infolge der Vielzahl sehr spezifischer Themen sind die Teilnehmergruppen höchst unterschiedlich strukturiert: Es handelt sich nicht ausschließlich um Mitarbeiter von Unternehmen der Rohstoffbranche (z. B. aus Bergbau- oder Recyclingunternehmen), sondern auch um solche, die etwa bei Behörden oder in Forschungsinstituten tätig sind.

Die Themen und Inhalte sollen immer innovativ und auf dem jeweils aktuellen Stand der Forschung sein. Dazu wurde das Projekt „TrainCall“ ins Leben gerufen. Im Rahmen dieses Projekts werden Experten aller Fachrichtungen im „Call for Training Ideas“ aufgerufen, ihre Trainingskonzepte einzusenden. Die daraufhin unterbreiteten Ideen werden von einem Gremium bewertet und die letztlich dann beauftragten Lehrkräfte erhalten ein detailliertes Feedback zur Umsetzung und möglichen Optimierung ihres Konzepts. Die besten und kreativsten Ideen werden gemeinsam mit dem RCF realisiert und dem Markt angeboten.
Neben kreativen Kursideen der Fachleute zu Themen ihrer Wahl gibt es zu jedem „Call for Training Ideas“ ein Fokusthema. Fokusthemen sind solche, die sich in der Arbeit des EIT RawMaterials-Konsortiums als besonders relevant abzeichnen und bei denen ein (erhöhter) Schulungsbedarf besteht.

Im „Call for Training Ideas 2020“ werden gezielt Ideen zu innovativen Formen der e-education angefragt, wobei erstmals inhaltsunabhängig auf ein besonderes Format orientiert wird. Expertinnen bzw. Experten können so ihre Konzepte für Online-Schulungen zu Themen ihrer Wahl einreichen, die beispielsweise Live-Streaming-Sessions, computerbasierte Lerneinheiten oder Webanwendungen sein können oder verschiedene Lehrformvarianten miteinander kombinieren. Auch die Überführung konventioneller Kurse aus dem Modus des klassischen Präsenztrainings heraus in eine Webvariante wird zunehmend relevanter – und auch solche Ideen sind sehr willkommen. Die Notwendigkeit eines Ausbaus der Online-Lehre wird besonders deutlich vor dem aktuellen Hintergrund der Covid-19-Pandemie, die uns zeigt, dass wir unsere Systeme für Zwecke des pädagogischen und wissenschaftlichen Austauschs widerstandsfähiger gestalten, wenn wir in der Lage sind, sie auch digital anzubieten. Für einen besser funktionierenden Austausch innovativer Ideen innerhalb Europas und darüber hinaus werden digitale Angebote in Zukunft ohnehin unverzichtbar sein. Das Projekt „TrainCall“ eignet sich auch als Einstieg in die Trainerkarriere, denn es wird neben dem normalen Feedback auch ein „Train the Trainer“-Seminar geben, das außer auf die Besonderheiten der Schulung von Brancheninsidern auch auf die der zu nutzenden Online-Tools eingehen wird.

Das RCF wird dem Trainerpersonal alle rein organisatorischen Aufgaben abnehmen und es bestmöglich unterstützen. Auch wird die Vermarktung der Kurse vom Marketingnetzwerk des RCF profitieren. Partnerschaftlich wird so das allen gemeinsame Ziel erreicht, Wissen und Innovationen in der Rohstoffbranche besser zu transferieren und zu vermehren.

Sollte bei Ihnen Interesse bestehen, beim Projekt „TrainCall“ mitzumachen oder sollten Sie jemanden kennen, der sein Wissen weiter teilen sollte, dann würden wir uns sehr über eine Kontaktaufnahme und über eine Weiterverbreitung dieser Informationen freuen. Für mehr Details besuchen Sie bitte unsere Internetseite:
https://tu-freiberg.de/eitrawmaterials/rm-proschool/call-for-training-ideas

Kompetenzbündelung im Zentrum für Wasserforschung

Traugott Scheytt[1], Jens Grigoleit[2]

Die Verfügbarkeit von Wasser in ausreichender Menge und Qualität ist entscheidend für das gesundheitliche Wohlergehen, für die nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung und für eine intakte Umwelt. Die Beeinträchtigung der Wasservorräte durch Verschmutzung und klimatische Veränderungen bei gleichzeitig steigendem Bedarf schafft immense Herausforderungen. Es muss davon ausgegangen werden, dass ohne weitere Maßnahmen zukünftig die sichere Versorgung mit Trink- und Brauchwasser in vielen Regionen weltweit, aber auch in Sachsen gefährdet sein wird.

Zur Sicherung der Wasserressourcen ist es notwendig, innovative Technologien und nachhaltige Konzepte und Strategien zu erforschen und zu implementieren. Dazu zählen die Kreislaufführung von Wasser, die kaskadierte Wasserwiederverwendung, die Erschließung alternativer Wasserressourcen und innovative Formen der Wasserspeicherung aber auch die Reinigung von Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser und bergbaulichen Wässern.

Zu vielen dieser Themen bestehen an der TU Bergakademie Freiberg umfangreiche Kompetenzen, was sich einerseits in einer Vielzahl von Projekten aber auch in zahlreichen themenbezogenen Lehrangeboten widerspiegelt. Um die Sichtbarkeit der entsprechenden Angebote weiter zu erhöhen und strategische Initiativen institutsübergreifend besser koordinieren zu können, wurde im Jahr 2019 ein universitätsinternes Zentrum für Wasserforschung als Netzwerk mit aktuell mehr als 20 beteiligten Wissenschaftlern aus 13 verschiedenen TU-Instituten gegründet.

Das Zentrum verbindet mit Wasser als Querschnittsthema die vier Profillinien der TU Bergakademie Freiberg „Geo“, „Material“, „Energie“ und „Umwelt“ mit aktuellen Zukunftsthemen, wie der Digitalisierung, der modernen Sensorik und Datenverarbeitung sowie Entwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz. Dabei trägt das Zentrum zur Intensivierung der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fakultäten bei und zielt durch die Integration von Technologien aus verschiedenen Bereichen (Analytik, Verfahrenstechnik, Sensorik, Robotik, Künstliche Intelligenz, natürliche Ressourcen) auf die Freisetzung von Synergien (Cross Innovation).

Doktoranden des ersten ZeWaF-Doktorandentreffens am 19. November 2019 an derTU Bergakademie Freiberg

Durch die Stärkung von Forschung und Bildung zum Thema Wasser und durch die Kompetenzbündelung wird das Zentrum für Wasserforschung der TU Bergakademie Freiberg zu einem bedeutenden strategischen Partner für andere Forschungseinrichtungen, für Behörden und für die Wirtschaft.

Die Arbeit am Zentrum für Wasserforschung beruht auf drei großen Säulen, die miteinander über die Querschnittsthemen „Digitalisierung“ und „Sensorik“ verbunden sind:

- In der Säule **Wasser und Umwelt** befassen sich Wissenschaftler mit dem natürlichen Wasserkreislauf, dem Vorkommen und der Beschaffenheit von Grund-, Boden- und Oberflächenwasser, sowie dem Wasser in der Atmosphäre. Dabei geht es insbesondere um die Sicherung der Ressource Wasser als Trink- und Brauchwasser, aber auch um die Auswirkungen klimatischer Änderungen auf die Wasserverfügbarkeit und -beschaffenheit.
- Die Säule **Wasser und Ressourcentechnologien** fokussiert auf die analytischen, technischen und industriellen Aspekte von Wasser. In vielen industriellen Prozessen werden große Mengen an Wasser gebraucht, im Bergbau müssen das Grundwasser abgesenkt und abgeleitet sowie austretende Grubenwässer überwacht und ggf. aufbereitet werden. Hier versprechen technische Fortschritte große Möglichkeiten hinsichtlich eines ressourcenschonenden Umgangs. Die analytischen und technischen Möglichkeiten der Wasserreinigung und Wasserbehandlung stellen die Grundlage für eine nachhaltige Verbesserung der Wasserqualität dar.
- Die Säule **Wasser und Energie** befasst sich mit den unterschiedlichen Aspekten der Möglichkeit der Energiegewinnung und -speicherung in Untergrund, in bergbaulichen Anlagen und bei der Wasserkraft.

Das Zentrum für Wasserforschung Freiberg (Abkürzung ZeWaF) dient aber auch der Vernetzung der im Bereich Wasser tätigen Wissenschaftler. Bei einem ersten ZeWaF-Doktorandentreffen im November 2019 *(Abbildung 1)* präsentierten Doktoranden ihre Forschungsthemen und entwickelten bei einem wissenschaftlichen Speed-Dating gemeinsam neue Projektideen. Für weitere Treffen ist eine Vorstellung und Besichtigung der analytischen Labore der TU Bergakademie Freiberg vorgesehen, danach soll eine Weiterbildung zum Verfassen wissenschaftlicher Publikationen und der Erstellung von Forschungsanträgen stattfinden.

Das Zentrum bietet auf seiner Homepage ferner Informationen zu im Bereich „Wasser“ angebotenen Studiengängen, Vertiefungsrichtungen und Kursen und ermöglicht damit interessierten Schülern und Studierenden einen Einstieg und Überblick über alle derartigen Angebote an der TU Bergakademie Freiberg.

Aktuelle Informationen, Veranstaltungshinweise und Angebote des Zentrums für Wasserforschung finden sich im Internet unter
https://tu-freiberg.de/zentrum-fuer-wasserforschung-zewaf

1 Prof. Dr. Traugott Scheytt,
Professur für Hydrogeologie/Hydrochemie,
TU Bergakademie Freiberg
Gustav-Zeuner-Str. 12, 09599 Freiberg,
traugott.scheytt@geo.tu-freiberg.de

2 Dr. Jens Grigoleit, Prorektorat Forschung,
Akademiestraße 6, 09599 Freiberg,
jens.grigoleit@tu-freiberg.de

20 Jahre Internationales Universitätszentrum (IUZ)

Ingrid Lange

© IUZ

Das Team des IUZ im September 2020

Zwanzig Jahre IUZ, gegründet im November 2000: Das ist durchaus eine Erwähnung wert, wie ich finde, und bietet die Gelegenheit für einen kleinen persönlichen Rückblick. Anlass wäre auch gewesen für die eine oder andere Veranstaltung mit der Überschrift „20 Jahre IUZ". Die Planung dafür stand. Ein buntes Jahr 2020 sollte es werden, mit Internationaler Woche, Gesprächsrunden und einer Geburtstagsfeier. Fast schon müßig zu erwähnen, dass daraus nichts wurde – coronabedingt. Trotzdem – wir sind da und tun, was wir immer getan haben: Wir unterstützen die Fakultäten bei ihren internationalen Kooperationen, sorgen uns um ausländische Studieninteressenten und Studierende, betreuen und verwalten sämtliche Austauschprogramme (Erasmus vor allem, aber auch Doppelabschlussprojekte), motivieren Studierende für einen Auslandsaufenthalt und sind verantwortlich für den Deutsch- und Fremdsprachenunterricht. Quantitativ ist alles in den letzten Jahren mehr geworden: Mehr Studierende (internationale vor allem), mehr Kooperationen, mehr Projekte, mehr Technik, mehr Digitales und höhere Erwartungen allenthalben. Da kommt gar keine Routine oder Langeweile erst auf. Aber das ist wohl keine wirklich umwerfende Erkenntnis, trifft es doch auf ziemlich alle Bereiche im (Hochschul-)Leben zu.

Und wie ist das nun so gewesen während zwanzig Jahren IUZ? Da kommen so einige Erinnerungen und Gedanken.

Diese Ereignisse sind mir besonders in Erinnerung geblieben:

- Wie aus dem Akademischen Auslandsamt das IUZ entstand und Prof. Nippa und Prof. Ring gemeinsam mit dem damaligen Auslandsamtsleiter Dr. Holger Finken die Gründung vorbereiteten. Die festliche Gründungsveranstaltung fand am 2. November 2000 in der Betstube der Alten Elisabeth statt, im Beisein des damaligen Staatministers für Wissenschaft und Kunst Hans Joachim Meyer.
- Wie Frau Reibetanz (später Heim) und Frau Eckart nun nicht mehr zu unserem Team gehörten, sondern anderen Bereichen (Dezernat Studienangelegenheiten und Dezernat Technik) zugeteilt wurden.
- Wie wir mit dem damaligen Studienkolleg (bis dahin geleitet durch Horst Deutscher) und dem Lehrerteam um Frau Keßler zusammenwuchsen. Die nun tägliche unmittelbare Nähe zu ausländischen Studierenden, die zunächst erst einmal auf ein Hochschulstudium sprachlich sowie fachlich vorbereitet werden mussten, hatte unbestreitbar einen sehr motivierenden und effizienzsteigernden Effekt für uns als Betreuer.
- Wie Dr. Finken im Jahr 2002 zum DAAD nach Bonn wechselte und Katja Polanski die Leitung des IUZ übernahm.
- Wie ab 2002/03 auch das Fachsprachenzentrum ins IUZ übernommen wurde und wir nun einen ganz direkten Draht zu den Fachlehrern hatten, die unsere Studierenden auf einen Auslandsaufenthalt vorbereiten.
- Wie wir zwischen 2003 und 2009 durch einen Prorektor für Außenbeziehungen (Prof. Dr. Horst Brezinski bis 2006 und danach Prof. Dr. Christoph Breitkreuz) sehr unterstützt wurden und insbesondere die Alumni-Arbeit und die Beziehungen zu Lateinamerika neue Impulse bekamen.
- Wie wir 2010/11 das zehnjährige Jubiläum des IUZ begingen.
- Mit wieviel Kreativität und Engagement sehr schöne Veranstaltungen (mit-)gestaltet wurden, wie beispielsweise Internationale Tage, Internationale Wochenenden, Länderabende im Tivoli, die Nacht der Wissenschaft und „30 Jahre Erasmus". An dieser Stelle soll auch der *Arbeitskreis Ausländische Studierende AKAS* (als Arbeitsgruppe des Studentenrats) lobend hervorgehoben werden! Ohne diesen Arbeitskreis und die vielen engagierten internationalen Studierenden hätten wir diese kulturellen Events niemals so gestalten können.
- Wie sich aus einem Sprachtutorenprogramm die vom AKAS und Freiberger Bürgern getragene Initiative „Sprache ist Brücke" entwickelte, welche für ihre Arbeit durch das Auswärtige Amt (2013) und vom Stifterverband der Deutschen Wissenschaft (2014) ausgezeichnet wurde.
- 2016 erfolgte der Umzug des IUZ ins Schloßplatzquartier, in die schönen neuen Räumlichkeiten in der Prüferstraße 2. Dies war der Beginn einer Synergie mit der damaligen Abteilung Marketing und Studienberatung unter Frau Dr. Schellbach im Zuge der Einrichtung des SIZ (Studieninformationszentrum).
- 2017 dann die Umstrukturierung des IUZ in die Bereiche „International Office" und „Sprachen" und 2018 der Umzug des International Office ins Uni-Hauptgebäude in der Akademiestraße 6/Nonnengasse 22.
- Eine erstaunliche Leistung vollbrachten die jungen KollegInnen am IUZ mit ihren in der Freizeit produzierten Filmen im Rahmen der Otto-Awards: „Its worth it" nahm sich auf unterhaltsame Weise dem Thema „Fremdsprachen lernen" an. Der Film räumte 2018 gleich mehrere Preise während der Otto-Filmnacht ab. Und weil das so viel Spaß machte, wurde im Humboldt-Jahr 2019 ein weiterer Film produziert mit dem Titel und dem gleichnamigen selbstkomponierten Song „Alex is back". Auch dieser Film – Gemeinschaftswerk des IUZ – war bei der 20. und gleichzeitig letzten Otto-Award-Filmnacht im Juli 2019 sehr erfolgreich. Man kann sich beide Filme übrigens noch anschauen! Man findet sie auf der Internetseite des IUZ.

An dieser Stelle würde es sich anbieten mit Statistiken aufzuwarten: Wie viele ausländische Studierende betreut und beraten wurden, wie vielen Studierenden zu einem Auslandsaufenthalt verholfen wurde, wie viele durch ein Stipendium unterstützt werden konnten, wie viele Gäste betreut, wie viele Kooperationen vorbereitet, wie viel Geld verwaltet wurde. Oh ja, klar: Ich kann natürlich auch mit Zahlen aufwarten – es wären Schätzungen oder aber, wenn man es rein an dokumentiertem Material festmachte – Untertreibungen. Eine sehr schöne und umfassende Darstellung zur Internationalisierung der TU Bergakademie Freiberg findet sich übrigens in der Acamonta 2014 sowie in der Zeitschrift „Bergbau 1/2015“ verfasst von Professor Drebenstedt, mit u. a. vom IUZ recherchierten Zahlen. Lektüre sehr zu empfehlen!

Was habe ich – als dienstälteste Mitarbeiterin im IUZ nun zu den vergangenen zwanzig Jahren zu sagen? Vielleicht das Wichtigste: Es hat immer Freude gemacht.

Wir am IUZ haben eine wunderbare Arbeit und sind stets ein großartiges Team gewesen. Einige der inzwischen sich im Ruhestand oder an anderen Arbeitsstätten befindlichen (hauptamtlichen, also festangestellten) Mitarbeiter seien an dieser Stelle würdigend genannt, der eine und andere wird sich vielleicht erinnern: Dr. Holger Finken, Christine Fischer, Gisela Keßler, Karla Gierth, Christel Apel, Dr. Egon Richter, Angelika Hartmann, Dr. Liane Fijas, Dr. Ulla Schulze, Lidia Scope, Johannes Kreher, Karla Schnaeske, Günter Glöckner, Sandra Paul, Uta Schneider.

Darüber hinaus haben viele (studentische) ProjektmitarbeiterInnen sowie HonorarlehrerInnen mitgewirkt, ohne die wir vieles nicht hätten leisten können (beispielsweise neben zahlreichen Sprachkursen das Projekt „Internationale Studierende in Schulen“, die Koordination eines Mentoren-/Buddyprogramms für neu anreisende Studierende, der Einsatz von Wohnraumscouts, die Arbeit mit neu aufgelegten Erasmus-Projekten etc.)

Es ist schön, die Entwicklung unserer Universität im internationalen Bereich aktiv mit hochmotivierten und überaus engagierten MitarbeiterInnen unterstützen zu können. Und so blicke ich auch recht zuversichtlich in die Zukunft mit all den anzupackenden Aufgaben, die beispielsweise wären:

- die stärkere Fokussierung des Internationalen Marketings auf Länder, aus denen bislang nur wenige ausländische Studierende nach Freiberg kommen, um eine ausgewogenere Durchmischung auf dem Campus zu erreichen,
- der Übergang zum papierlosen (oder papierloseren) Büro – sprich Einarbeitung in neue Datenbanksysteme, hauptsächlich im ungeheuer umfänglichen Erasmus-Bereich,
- Digitalisierung von Beratungsangeboten,
- das Nachdenken über neue virtuelle Formate für interkulturelle Begegnungen, in Ergänzung zu physischen und persönlichen Auslandserfahrungen (die m. E. durch nichts Virtuelles auch nur annähernd ersetzbar sind),
- und ganz aktuell zunächst die Bewältigung der „Corona-Semester“ mit all den Einschränkungen und Herausforderungen (z.B. Sprachausbildung digital, ausländische Studierende, die nicht oder nur verspätet anreisen können, Quarantäneregelungen, gelingende Integration im Online-Zeitalter etc.)

Und was nun unbedingt noch erwähnt werden muss: Bei Gründung erhielt das IUZ den Namen „Alexander von Humboldt“. Das ist Ehre und Ansporn zugleich. Im humboldtschen Sinne länderübergreifend aktiv, neugierig, beharrlich und offen zu sein und dieses Gedankengut an unsere Studierenden weiterzugeben - welch schöne Aufgabe. Denn (zwar recht oft bemüht, aber immer wieder passend, dieses Humboldt zugeschriebene Zitat):

„Die gefährlichste Weltanschauung ist die Weltanschauung der Leute, welche die Welt nie angeschaut haben.“

Grußwort von Dr. Holger Finken (DAAD) zu „20 Jahre IUZ“

Magnifizenz,
liebe Professorinnen und Professoren,
Liebe Kolleginnen und Kollegen, liebe Kundinnen und Kunden des Internationalen Universitätszentrums „Alexander von Humboldt“,

als Leiter des Referats „Research Fellowship Programmes“ des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) freue ich mich sehr, dem IUZ der Technischen Universität Bergakademie Freiberg zu seinem 20. Geburtstag meine herzlichen Glückwünsche übermitteln zu können. Dies umso mehr, als die TU Bergakademie Freiberg durch meine Promotion zum Doktor-Ingenieur im Jahre 1989 auch meine eigene Alma mater ist.

Bei seiner Gründung im Jahre 2000 war das Internationale Universitätszentrum eine deutschlandweit sehr neuartige Struktur, die das frühere Akademische Auslandsamt mit dem bisherigen Sprachenzentrum zusammenführte. Ermöglicht wurde dies durch das Sächsische Hochschulgesetz von 1999, das in Freiberg in diesem Punkt unter dem Rektorat von Professor Georg Unland durch die Gründungsdirektoren Professor Michael Nippa und Professor Gerhard Ring rasch und konsequent umgesetzt wurde. Ich selbst hatte die Freude und die Ehre, dabei bis 2001 als Leiter des Direktionsbüros mitzuwirken. Insbesondere die Entwicklung weg von „Ämtern“ und hin zu moderneren und agileren Strukturen war auch eine wichtige Orientierung des DAAD und seines damaligen Generalsekretärs Dr. Christian Bode.

Auch nach meinem Weggang nach Bonn habe ich die Verbindung zur TU Bergakademie Freiberg immer aufrechterhalten, nicht zuletzt als Mitglied des Vereins der Freunde und Förderer. Erst jüngst vertrat Frau Dr. Weißmantel die Freiberger TU in meinem Panel „Ingenieurwissenschaften“ auf der jährlichen Postdoc-Konferenz GAIN der Wissenschaftsorganisationen.

Ich wünsche der TU Bergakademie Freiberg und ihrem Internationalen Universitätszentrum „Alexander von Humboldt“ weiter viel Erfolg beim Ausbau der internationalen Studierenden- und Wissenschaftlermobilität und der Entwicklung der internationalen wissenschaftlichen Kooperation, und nicht zuletzt eine weitere intensive Zusammenarbeit mit dem DAAD.

Auslandsstudium in der Corona-Zeit

Studierendenaustausch geht weiter und wird flexibler

Anja Weigl

Studierende, die im Januar oder Februar von einem Auslandsaufenthalt zurückkehrten, hatten Glück – sie hatten ihr Studium (oder Praktikum) noch wie geplant durchführen und ungetrübt genießen können. Dann kam das Corona-Virus nach Europa und griff massiv in das gewohnte Leben ein.

Alle, die gerade mitten in einem Gastsemester waren oder ins Ausland gehen wollten, standen plötzlich vor vielen Fragen: Soll ich bleiben bzw. überhaupt fahren? Wie geht das Studium weiter? Wenn ich abbreche, wie bezahle ich meine Unterkunft oder andere Kosten, die ich noch habe?

Man kann sich leicht vorstellen, dass die Studierenden sich ganz unterschiedlich entschieden, von der vorzeitigen Rückkehr bis zur ungeplanten Verlängerung des Auslandsaufenthalts aufgrund der geschlossenen Grenzen. Trotz aller Herausforderungen führten viele das Studium online weiter, ob im Gastland oder zuhause, und schlossen es mit Prüfungen ab. Die Gastuniversitäten schufen den nötigen Rahmen dafür. Um die Studierenden finanziell zu unterstützen und coronabedingte Mehrkosten abzufedern, reagierten die EU und die Nationalen Agenturen, die für das Erasmus-Programm verantwortlich sind (in Deutschland die NA DAAD), flexibel und passten die Förderbedingungen an. Dies gilt auch für andere Austauschprogramme wie PROMOS (außereuropäisches Ausland) oder Go East (Südost- und Osteuropa, Zentralasien und Südkaukasus).

Corona beeinflusst den Studienaustausch auch im Wintersemester 2020/21 und vermutlich noch darüber hinaus. Manche TU-Studierende verschoben ihr Gaststudium oder sagten es ab, einige nehmen an der Gastuni an virtuellen Kursen von Freiberg aus teil. Viele von denen, die sich für Erasmus beworben hatten, studieren aber derzeit tatsächlich in Finnland, Frankreich, Österreich, Polen und Spanien. Ein echter physischer Auslandsaufenthalt ist eben durch nichts zu ersetzen. Virtuelle oder gemischte („blended“, also teils virtuell, teils physisch) Mobilitäten werden aber wahrscheinlich ein fester Bestandteil von Erasmus und anderen Austauschprogrammen bleiben.

Zwei Erasmus-Studierende erzählen hier von ihren Erfahrungen in der Corona-Zeit:

Vorreiter in der Digitalisierung

Die TU-Studentin Magdalena Wolf verbrachte zweieinhalb Monate in Norwegen.

Frau Wolf, ab Januar 2020 studierten Sie an der NTNU Trondheim. Wie war Ihre Zeit dort?

Sie war sehr schön! Alles selbst zu organisieren und vor Ort in einer neuen Stadt und Lernumgebung den Überblick zu behalten, das war stellenweise herausfordernd, hat mich aber auch vorangebracht. Ich kam schnell mit neuen Leuten in Kontakt, vor allem mit anderen Erasmus-Studierenden aus aller Welt. Über andere Kulturen und Menschen lernte ich viel. Ich sprach noch nie so viel Englisch im Alltag wie dort, mein Vokabular und meine Kenntnisse verbesserte ich dadurch. Es war eine tolle Erfahrung, an der NTNU zu studieren. Die Universität ist unglaublich nah an den Studierenden dran und deren Wohl steht über allem. Auch hinsichtlich Digitalisierung und technischer Ausstattung ist sie ein Vorreiter. Ein Land so intensiv zu erleben und in die Kultur einzutauchen, war sehr spannend. Ich hatte vorher schon ein bisschen Norwegisch gelernt, sodass ich einfachere Gespräche führen konnte und mich im Alltag leicht zurechtfand. Vor Ort konnte ich meine Norwegischkenntnisse beträchtlich erweitern.

Wie haben Sie in Norwegen den Umgang mit der Pandemie erlebt?

Ich fühlte mich zu jeder Zeit sicher. In Norwegen wurden relativ zeitig umfangreiche Maßnahmen ergriffen, Schulen, Kindergärten und Universitäten schlossen früher als in Deutschland. Aufgrund der drohenden Flughafenschließungen in Norwegen entschied ich mich, erstmal nach Hause zu fliegen; ich wollte dann später zurückkehren. Zu dem Zeitpunkt konnte niemand ahnen, wie lange das dauern würde.

Wie gut konnten Sie an virtuellen Kursen teilnehmen?

Nachdem die Uni geschlossen war, wurde bereits drei Tage später die Lehre komplett digital abgehalten. Vorlesungen und Übungen fanden online statt, Arbeiten wurden über die Lernplattform eingereicht und bewertet. Da dies zum Teil vorher schon so war, war das alles kein Problem. Auch die Klausuren fanden problemlos online statt. Die Studierenden konnten das Semester mit wenigen Einschränkungen ganz normal abschließen und verpassten keinen Stoff. Die einzige Schwierigkeit bestand für die meisten darin, am Ball zu bleiben und motiviert zu sein. Die Interaktion mit den Lehrenden und den Kommilitonen fehlte natürlich sehr und ab und an erschwerten auch kleinere Verbindungsprobleme den reibungslosen Ablauf. Alles in allem war ich sehr zufrieden mit der digitalen Lehre, es gab ohnehin keine Alternativen.

Wie geht es mit Ihrem Studium weiter?

Durch die Onlinelehre konnte ich glücklicherweise parallel noch Module an der TU Bergakademie Freiberg belegen, was sonst bei einer regulären Rückkehr im Juni nicht möglich gewesen wäre. So konnte ich den Lernstoff des vorherigen Semesters, in dem ich ein Praktikum gemacht hatte, nachholen. Jetzt werde ich ein Semester früher fertig. Im Wintersemester habe ich Lehrveranstaltungen, im Sommersemester kommt die Diplomarbeit.

Studium lebt von Präsenzlehre

Herr Muhammed, Sie kamen im März in Freiberg an. Wie haben Sie sich eingelebt trotz Lockdown?

Der Lockdown und die Pandemie beeinflussten meinen ganzen Auslandsaufenthalt, ich konnte nicht physisch an Kursen teilnehmen, Kommilitonen treffen, Leute kennenlernen oder Feiertage und Veranstaltungen erleben. Andererseits bekam ich mit, wie ein fremdes Land und eine andere Gesellschaft mit der Pandemie umgehen. Die Menschen hielten sich an die Maßnahmen und Deutschland bewältigte die Situation sehr gut, finde ich.

Wie gut konnten Sie an der Onlinelehre teilnehmen?

Leider nicht so effektiv, mir fehlte die Interaktion mit den Professoren und

Tebin Burhan Muhammed von der Ishik University im Irak studierte im Sommersemester Wirtschaftswissenschaften in Freiberg.

Kommilitonen. Meiner Meinung nach geht es beim Studieren vor allem um Kommunikation und Zusammenarbeit, beides geht virtuell nicht so gut.

Was denken Sie, wie Sie in akademischer, kultureller, sprachlicher Hinsicht von der Auslandserfahrung profitiert haben?

Als Austauschstudent hatte ich die Chance, ein Semester in Freiberg zu verbringen. Es war eine tolle und wichtige Erfahrung für mein ganzes Leben, da ich an einem Ort lebte und studierte, der sich von meiner Heimat sehr unterscheidet. Ich konnte mein akademisches Wissen erweitern, auch zur Rolle des europäischen Rechts für das Zusammenleben und die Kooperation in Europa. Und ich lernte die deutsche Kultur, Sprache und das Alltagsleben kennen sowie viele ausländische Studierende und deren Kulturen. Ich erfuhr viel hier über Zeitmanagement, Wirtschaft, Geschlechtergerechtigkeit, Demokratie und Freiheit. Ich bin sehr beeindruckt von der Rolle, die die TU Bergakademie für die Entwicklung und Innovationen im Bergbau seit jeher spielt.

War es schwierig, nicht zuhause zu sein?

In einer Krisenzeit ist es besser, bei der Familie und Freunden zu sein, um sich sicher zu fühlen. Im Ausland kann man die eigene Persönlichkeit entwickeln. Ich lernte in dieser Zeit, mit meinen Gefühlen umzugehen und nicht in Panik zu geraten.

Wie geht es weiter bei Ihnen, wenn Sie zurück im Irak sind?

Zuhause möchte ich das, was ich gelernt habe, umsetzen und mit meiner Familie und mit Freunden teilen. Ich plane einen Vortrag über meine Erfahrungen an der Uni, um andere für ein Studium in Deutschland und besonders in Freiberg zu motivieren. Ich möchte weiter Deutsch lernen. Nach meinem Bachelor-Abschluss würde ich gern einen Master an der TU Bergakademie machen.

Die Seitenansicht des Neubaus von außen zeigt die Dimension des Baukörpers

Foto: Mandy Schön (Bauleiterin des ZeHS, Dezernat 1)

Aktuelle Entwicklungen zum Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS)

Dirk C. Meyer[1,2], Barbara Abendroth[1], Theresa Lemser[1]

Mit dem Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) entsteht auf dem Wissenschaftskorridor Freiberg eine Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung, die die Voraussetzungen für eine exzellente, interdisziplinäre Forschung und Ausbildung auf dem Gebiet der Materialien und Prozesse in Hochtemperaturanwendungen schafft. Darin eingeschlossen ist die Unterstützung von Aufgaben in Lehre und Weiterbildung.

In der ACAMONTA wurde bereits zurückliegend während der Bewilligungs- und Bauphase über die Entwicklungen berichtet.[3] Das ZeHS ist ein Zentrum moderner Forschungsinfrastruktur mit Laboren und Technikumshallen, welches in der Tradition universitärer Einrichtungen für anwendungsbezogene Forschung steht. Dieser Gebäudekomplex, versehen mit einem Tagungsraum und einer wissenschaftlichen Sammlung, schließt zugleich an den Campus und die Altstadt an und stellt ein Bindeglied zwischen den etablierten Forschungsstätten und den neuen am Schloßplatzquartier dar. Ziel ist, das ZeHS zu einem national bedeutenden Zentrum mit internationaler Ausstrahlung zu entwickeln, wodurch zugleich die interdisziplinäre Kooperation innerhalb der TU Bergakademie Freiberg als auch nach außen stimuliert werden soll. Es ist hervorzuheben, dass das Gebäude neben der geforderten Zweckmäßigkeit zugleich einen architektonischen Ausdruck dieser Inhalte führt, was zurückliegend ebenfalls kurz dargestellt wurde. So verweist die Innenhofgestaltung auf ein aufgebrochenes Mineral und das durchlichtete Treppenhaus gibt einen Hinweis auf die mit erfolgreicher Forschung verbundene Transparenz. Die industrieskalig ausgelegten Hallen, befahrbar durch Schwerlastfahrzeuge, bilden ein besonderes Kennzeichen des Vorhabens, das im Rahmen der Bewilligung der Antragstellung als für die Universität charakteristisch anerkannt wurde.

Die Bautätigkeiten am Forschungsgebäude stehen nunmehr kurz vor ihrem Abschluss. Während es in der ersten Jahreshälfte 2020 um den Innenausbau ging, liegt der Fokus zum Ende des Jahres auf der Fertigstellung der Innenausstattung und der vollständigen Implementierung der Geräteinfrastruktur sowie der Übergabe des Gebäudes an die Nutzer. Besonderer Stellenwert kommt in diesem Zusammenhang der Installation der mit dem Bau bewilligten Forschungsgroßgeräte sowie weiterer Forschungseinrichtungen, die an das ZeHS umziehen, zu, beginnend mit der Anschlussertüchtigung, welche die Schaffung aller erforderlichen

1 Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ZeHS, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg
2 Institut für Experimentelle Physik, Leipziger Straße 23, 09599 Freiberg
3 22. Jg. 2015, S. 93; 24. Jg. 2017, S. 107; 26. Jg. 2019, S. 96.

Medienanschlüsse umfasst. Für die Anlieferung und Einbringung der Forschungsgroßgeräte gilt ein detaillierter Zeitplan, um eine reibungsfreie Installation am jeweiligen Aufstellort sowie die erforderliche Medienversorgung abzusichern. Hier ergeben sich im Zuge der Corona-Pandemie natürlich besondere Herausforderungen; es besteht jedoch Ehrgeiz, auf dem Hintergrund bisher geleisteter Termintreue diesbezüglich verursachte Implikationen vollständig auszugleichen. Hervorgehoben werden soll die aktuell im Lehrbereich notwendig gewordene Ausarbeitung von Online-Angeboten durch die Professoren und Wissenschaftlichen Mitarbeiter der Universität. Wenngleich die Planung des Demonstrationslabors damit erst zum Ende des Sommersemesters umfassend beginnen konnte, soll hier unter besonderer Beteiligung aller Mitglieder des ZeHS mit hoher Intensität das angestrebte Ziel in der geforderten Qualität auf der gegebenen Zeitachse erreicht werden. Ein wichtiges Kennzeichen liegt in der erfreulich aktiven Beteiligung neuer Mitglieder des ZeHS, so von Juniorprofessoren und Nachwuchsgruppenleitern.

Nachdem die bauliche Hülle für das ZeHS geschaffen ist, richtet sich der Blick bei der nunmehr erkennbaren Detailschärfe auf die Zukunft. Die umrissene Forschungsprogrammatik war Voraussetzung für die Bewilligung des Vorhabens durch den Wissenschaftsrat, wobei diese einer kontinuierlichen Weiterentwicklung in den letzten Jahren unterlag. Neben den oben angegebenen Kommunikationen u. a. in der ACAMONTA geben auch die ersten beiden Hefte der im Zuge der Belebung des ZeHS begründeten „Schriften zum Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung“ [4] Auskunft zum Gesamtprozess. Während das Heft 1 (2017) eine Darstellung der Forschungsprogrammatik und damit im Zusammenhang stehender Themen bietet, wird in Heft 2 (2019) schwerpunktmäßig vom überwiegenden Teil der Antragsteller für die bewilligten Forschungsgroßgeräte die jeweilige Intention der Arbeiten auf der damit gegebenen Grundlage beschrieben.[5]

Ein anschauliches Beispiel für die bereits erfolgten Arbeiten im Rahmen des ZeHS, für die ein Autor (Dirk C. Meyer) verantwortlich zeichnet, ist die Nutzung einer Anlage zur Ionenzerstäubung (Sputtern)/Blitzlampenausheilung.[6] Aus diesem Themenkomplex ist mittlerweile eine besondere Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) entstanden, welche die experimentellen Möglichkeiten für alle Institutionen der TU Freiberg im Hochtemperaturbereich zusätzlich arrondiert, was zugleich der Zielsetzung der Vernetzung des ZeHS folgt. Das Institut für Experimentelle Physik (IEP) unter Leitung von Prof. D. Meyer ist so stellvertretend seit Anfang des Jahres 2020 Mitglied des Helmholtz-Innovation-Lab „UltraTherm“, einem von neun Laboren der Helmholtz-Gemeinschaft, für die in den nächsten fünf Jahren insgesamt rund 17 Millionen Euro zur Verfügung stehen, die somit anteilig auch dem ZeHS zugute kommen werden. Der neue „Think and Do Tank für ultrakurze thermische Behandlung von Materialien mit Blitzlampen- und Laserausheilung“ stellt die Forschungsinfrastruktur für die Weiterentwicklung wissenschaftlicher Expertise sowie der industriellen Anwendung in verschiedenen Bereichen bereit. Neben der gemeinsamen Nutzung der Kernkompetenzen von „UltraTherm“, die Untersuchungen im Hochtemperaturbereich durch Erreichen von Temperaturen bis zu 2.000 °C im Millisekundenbereich auf der Oberfläche von Werkstoffen unter geeigneten Voraussetzungen ermöglicht, ist für die Wissenschaftler der TU Bergakademie Freiberg auch die am HZDR vorhandene Methodik zur Charakterisierung und Modifizierung von Materialien mittels Ionenstrahlen interessant, was eine wichtige Schlüsselkomponente für weitere gemeinsame Projekte darstellt.

Quelle: Heinle, Wischer und Partner

Innenhof: Architektenentwurf zur Innenhofgestaltung, welcher in seiner Facettierung an ein aufgebrochenes Mineral erinnern soll

Mit der Fertigstellung des Forschungsbaus und dessen bevorstehender Inbetriebnahme wachsen zugleich die zu bewältigenden Aufgaben in Leitung und Organisation. Demgemäß erfuhr die Leitungsebene des ZeHS im März eine strukturelle Verbreiterung. Es entstand ein Direktorium, welches sich neben dem Wissenschaftlichen Sprecher, Prof. Dirk C. Meyer, aus den beiden Direktoren Prof. Bernd Meyer (Geschäftsführung) und Prof. Edwin Kroke zusammensetzt. Dem folgte eine Überarbeitung der Ordnung für das ZeHS, die u.a. die Organisation als Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung der TU Bergakademie Freiberg sowie die Mitgliedschaft im ZeHS in Anpassung an die Ausweitung des Aufgabenspektrums nach erfolgreicher Absolvierung der Bauphase aufgrund ihrer ersten Fassung in weiteren Details regelt. Daneben wurde der Rahmen für die zukünftige erfolgreiche Zusammenarbeit der Mitglieder des ZeHS und die bestmögliche Nutzung der Forschungsinfrastruktur des Forschungsbaus durch diese Gemeinschaft in einer Nutzerordnung festgelegt. Letztere betrifft insbesondere untersetzte Regelungen zur Vergabe von Flächen und Infrastruktur des Forschungsbaus, für die Errichtung und den Betrieb von Forschungsgeräten und Versuchsanlagen sowie zur wissenschaftlichen Qualitätssicherung. Als Referentin des Direktoriums und zentrale Ansprechpartnerin des ZeHS wurden Ass. iur. Theresa Lemser sowie als Hausdirektorin und damit verantwortlich für die täglichen technischen Abläufe Dr. Barbara Abendroth durch die Universitätsleitung in entsprechende Anstellungsverhältnisse aufgenommen, was zugleich einer Erfüllung der Zusagen gegenüber dem Wissenschaftsrat entspricht.

4 ISSN 2513-1192
5 Inhalte siehe: http://www.zehs-freiberg.de
6 Hierzu bereits in: ACAMONTA 2018, S. 65 ff.

@behet bondzio lin architekten

Verbesserung der Studienbedingungen an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg – Neubau Bibliothek und Hörsaalzentrum

Jens Then

Der Neubau Bibliothek und Hörsaalzentrum, für bis zu 1.500 Personen konzipiert, wird nicht nur die Lehr- und Lernbedingungen an der Universität verbessern, sondern auch einen weiteren Ankerpunkt auf dem bereits in Realisierung befindlichen Wissenschaftskorridor darstellen.

Die feierliche Grundsteinlegung erfolgte am 12. Juni 2019 und eröffnete zusammen mit dem bereits im Bau befindlichen Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffumwandlung (ZeHS) die Schaffung eines neuen Schwerpunktes auf dem nördlichen, stadtnahen Campus. Es entsteht ein starkes und selbstbewusstes Bindeglied zwischen Campus und Stadt, was signalgebend zum Ausdruck gebracht wird. Der weitere Ausbau des Wissenschaftskorridors wird damit langfristig eine stärkere Vernetzung zum Vorteil von Universität und Stadt fördern.

Städtebaulich ist der Bibliotheksturm als vertikale Dominante konzipiert und bildet mit seiner Fernwirkung eine weithin sichtbare Landmarke. Ihr Turm mit seiner skulpturalen Gestalt ist ein kraftvolles Solitär. Gleichzeitig ist er auch der Auftakt zum neu gestalteten Campus. Die Morphologie des Baukörpers folgt dem städtebaulichen Konzept, denn sowohl Haupt- als auch Nebeneingang werden durch eine starke baukörperliche Geste mit Fernwirkung kenntlich gemacht. Der Hauptzugang liegt auf der Seite des Wissenschaftskorridors. Der zweite Zugang befindet sich auf der Seite der Winklerstraße und damit auf der gegenüberliegenden Seite. Betritt man das Gebäude von der Seite des Wissenschaftskorridors, gelangt man in eine großzügig gestaltete Vorhalle, in welche die Klinkerfassade gestalterisch hingeführt wird. Wandnischen, die die gegliederte Formensprache des Gebäudes weiterführen, dienen als Aufstellort universitärer Exponate.

Von hier aus gelangt man in das langgestreckte Foyer, den Kreuzungspunkt zwischen dem langen Mittelflur – Straße genannt – der die beiden Haupteingänge miteinander verbindet und der orthogonal dazu angeordneten, repräsentativen Haupterschließung. Hier im Erdgeschoss befinden sich die Zugänge zu den neuen Hörsälen und den zugehörigen Seminarräumen. Die Hörsäle haben eine besondere räumliche Qualität. Sie werden jeweils an der Rückseite von einem dazwischen

©behet bondzio lin architekten

konstruierten Regieraum angedient. Die räumliche Gestaltung der Säle dient dem Ziel dem Denken Raum zu geben. Der Gegenentwurf dazu auf der anderen Seite der „Straße“. Hier befinden sich die Seminarräume. Großzügig und sachlich zugleich ermöglichen sie dem Studenten die konzentrierte Auseinandersetzung mit dem gehörten Lehrstoff.

Wendet man sich zurück zum Kreuzungspunkt von „Straße“ und Foyer gelangt man über eine offene und großzügige Wendeltreppe in das 1. Obergeschoss, wo sich die unterste Ebene der Bibliothek befindet. Sie erstreckt sich über 3 Etagen und wird durch ein Lichtatrium geteilt. Dieses durchbricht hier den Baukörper, trennt den fußläufigen Foyerbereich von den Arbeitsplätzen in den Lesesälen darüber und leitet natürliches Tageslicht von über Dach bis in das Erdgeschoss. Auf der mittleren Ebene der Bibliothek wird es zudem einen Austritt auf eine vom Foyer aus erschlossene Dachterrasse möglich sein. Hier im Freien, mit Blick auf die Stadtmauern von hoher Warte aus und von den aufgehenden Wänden der darüber liegenden Lesesäle und des Turmes umgeben, kann bei schönem Wetter in ganz neuer Atmosphäre gelesen und studiert werden.

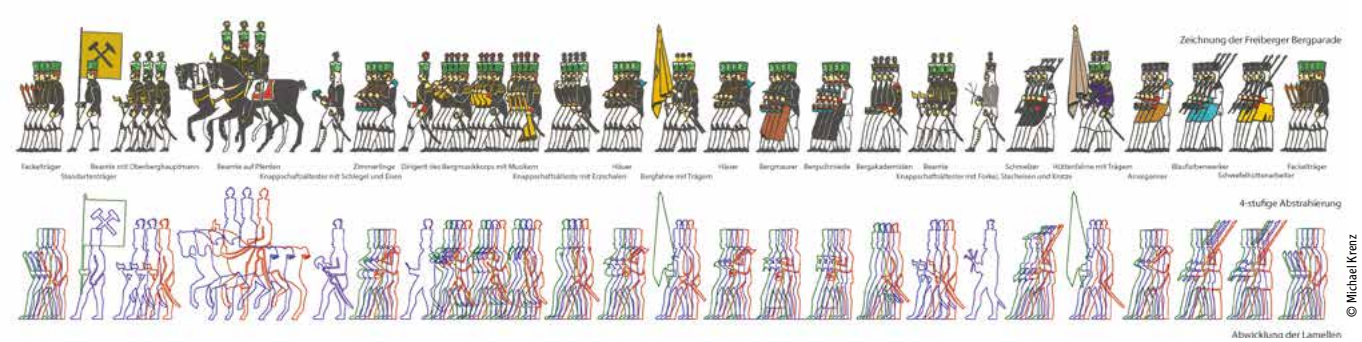
In der Bibliothek stehen insgesamt 480 Arbeitsplätze für moderne Lern- und Arbeitsformen zur Verfügung. Diese reichen von festen über mobile und loungeartige Treffpunkte hin zu Einzel- und Gruppenarbeitsräumen sowie einem Eltern-Kind-Raum und einem Sehbehinderten Arbeitsplatz. Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle der Mixed Reality Raum. In diesem können die Studierenden mit verschiedenen Medien (VR-Brille, Virtueller Realität, Smartphone, Tablet) selbst an 3D-Modellen arbeiten und erhalten an bestehenden Modellen aus den unterschiedlichsten Bereichen Einblicke in die aktuellen technischen Entwicklungen.

Die gesamte Technik wird auf dem neuesten Stand mit leistungsfähigen Projektionen, Kameras und Studiotechnik beschafft und installiert werden. WLAN ist auf allen drei Etagen der Bibliothek verfügbar. Zusätzlich stehen Arbeitsplätze mit LAN-Anschluss sowie Ladeschränke für Laptops zur Verfügung. Das alles ermöglicht mobiles und digitales Arbeiten auch mit größeren Datenmengen direkt vor Ort.

Neben dem Hörsaalzentrum und der Bibliothek beherbergt das Gebäude im eingangs erwähnten Turm in seinen oberen Etagen das Bibliotheksmagazin und die Lüftungszentralen, die zum Betrieb des Gebäudes benötigt werden.

Doch nicht nur die architektonische Formensprache, die der Architekt dem Gebäude verliehen hat und die moderne technische Ausstattung setzen Maßstäbe, auch die äußere Materialität des Baukörpers mit seiner Klinkerfassade unterstreicht den Anspruch und das Selbstverständnis des Bauwerks. Unterstützt wird dies zudem von der vertikalen Gliederung der Fassaden. Die Funktionsbereiche im Gebäude verleihen der Fassade dann Struktur in einer zweiten Ordnung. Die gewählten Materialien sind aber nicht nur Reminiszenzen an Früheres, sondern auch Ausdruck von Nachhaltigkeit, denn sie sind langlebig, äußerst wartungsarm, vandalismussicher und am Ende ihrer Nutzungszeit recyclebar. Dazu entwickelt Ziegel mit der Zeit eine dezente Patina, was eine weitere gestalterische Qualität ist und über die gewünschte lange Nutzungsdauer würdevoll altern wird. Weitere Aufwendungen zur Erhöhung der Nachhaltigkeit des Gebäudes wurden getätigt, wie beispielsweise die Betonkernaktivierung in den Lesesälen und dem Magazin, die Ausstattung des Gebäudes mit moderner Haustechnik und der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Das Gebäude ersetzt das in den Jahren 1977 bis 1980 errichtete Bibliotheksgebäude in der Agricolastraße 10 und wird zusammen mit dem neuen Hörsaalzentrum mit seinen vielfältigen Möglichkeiten für Studierende und Universitätsangehörige in einem Gebäudekomplex zusammengefasst, der ab Wintersemester 2022/23 nutzbar sein wird.



© Michael Krenz

Kunst am Bau: „Bergparade“ von Michael Krenz

am neuen Hörsaalgebäude der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften in der Prüferstraße

Aus der Projektdokumentation zur „Bergparade“ von Michael Krenz:

Grundlage meines Entwurfs bildet die in den Auslobungsunterlagen beigefügte Zeichnung der Freiberger Bergparade. Diese stammt aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts und ist nach historischen Recherchen des Vereins „Historische Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft“ überarbeitet.

Über die gesamte Zeichnung habe ich ein horizontales Linienraster gelegt. Dieses Raster weist vier Ebenen in der Tiefe auf. Die Ebenen orientieren sich an der vierfachen Perspektivdarstellung der Zeichnung, da innerhalb der Parade in Reihen zu viert gegangen wird.

Die Liniengruppen werden abhängig von ihrer Lage unterschiedlich stark in den Raum extrudiert. So entstehen Streifen. Die am weitest hintenliegenden Informationen haben eine Streifenstärke von einem Zentimeter, die im Vordergrund besitzen vier Zentimeter. Als Träger für diese gewonnen Informationen dienen 26 mm breite Streifen. Diese Nullebene erstreckt sich über die gesamte Länge. Die Streifen bestehen aus 2 mm starkem abgewinkelten Edelstahllamellen. Der Abstand zwischen den Lamellen beträgt 28 Millimeter.

Die entstehenden Streifen erinnern an Diagramme und stellen somit einen Bezug zur Nutzung des Gebäudes zur Lehre der Wirtschaftswissenschaften her. Die Codierung der vorhergehenden Informationen der Zeichnung erzeugt eine abstrakt, reliefartige Wirkung. Diese wird durch die Verschattung im Blick nach oben verstärkt. Von den verschieden Blickpunkten aus der Prüferstraße ergibt sich ein immer neues Bild der Bergparade und lädt zum Enträtseln ein.

© Presse

Der Künstler: Michael Krenz

1974 geboren in Eisenhüttenstadt

1993 Abitur

1994–1995 Zivildienst

1996–1997 Studium Industriedesign an der Burg Giebichenstein Kunsthochschule Halle

199–2000 Lehre zum Metallgestalter in der Kunstschmiede Langhoff in Stolpe a. Usedom

2000–2007 Studium an der Burg Giebichenstein

Kunsthochschule Halle bei Prof. Irmtraut Ohme und bei Prof. Andrea Zaumseil

2007 Diplom

2008 Lehrauftrag für fachspezifische Grundlagen im Fachbereich Metall an der Burg Giebichenstein

2008–2009 Aufbaustudium an der Burg Giebichenstein

2008–2012 Projektraum „die schöne stadt“ in Halle

2012–2018 Künstlerischer Mitarbeiter für Material- und Technologievermittlung an der Burg Giebichenstein

lebt und arbeitet in Halle (Saale)

Foto: Tom Hanke

Bautechnische Erläuterung

Die gesamte Fläche ist in 7 Felder unterteilt. Pro Feld sind 62 Lamellen verbaut. Die Lamellen sind auf eine Konstruktion aus Edelstahl genietet. Die Konstruktion liegt im unteren Bereich auf Konsolen auf, im oberen Bereich ist sie mit Hilfe von Rundstählen in der Fassade verankert.

Material: Lamellen aus 2 mm Edelstahlblech, gelasert und gekantet

Wandbefestigung und Unterkonstruktion (nach statischen Angaben): Edelstahl

Größe: 18,1 × 1,71 m
Gewicht: Lamellen: ca. 800 kg
Konstruktion: 400 kg

City_Campus_City: TU Bergakademie Freiberg

Angela Mensing-de Jong[1], Kinga Racoń-Leja[2], Przemysław Kowalski[3], Jana Zdrahálová[4]

Die Schaffung oder der Erhalt eines attraktiven und inspirierenden Umfelds für die sogenannte „Creative Class" der Wissensgesellschaft gehört zu den wichtigsten Zielen und Aufgaben, denen sich Universitäten, Städte und Regionen im Sinne ihrer Zukunftsfähigkeit widmen. Die Stadt Freiberg hat im Zusammenspiel mit der TU Bergakademie ein besonderes Entwicklungspotenzial, das in den vergangenen Jahren bereits zu bemerkenswerten Projekten geführt hat.

Der langfristigen Entwicklungsperspektive widmeten sich 47 Studierende und sieben Dozenten von drei europäischen Architekturfakultäten. Im Oktober 2019 kamen sie für eine Woche in Freiberg im Rahmen eines Workshops zusammen, um den Campus und die Stadt kennenzulernen und gemeinsam erste städtebauliche Visionen zu entwickeln. Den acht international gemischten Teams gehörten jeweils Studierende der Architektur und Landschaftsarchitektur der Technischen Universitäten Krakau, Prag und Dresden an.

Initiiert wurde das Projekt durch die Freiberger Niederlassung des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements und den amtierenden Kanzler der TU Bergakademie, Herrn Then. An der Professur für Städtebau der TU Dresden wurde das Thema gern aufgenommen und durch Einbeziehung von zwei Partneruniversitäten ein internationaler Rahmen ermöglicht.

Über den Verlauf des Wintersemesters vertieften die Studierenden ihre Konzepte weiter und kamen am 30. Januar 2020 erneut in der Alten Mensa der TU Bergakademie zusammen, um ihre Entwürfe öffentlich vorzustellen und mit Vertretern von Universität, Stadt und Land zu diskutieren.

Wechselwirkungen von Stadt und Campus

Die Dynamik der Campus-Stadt- und der Stadt-Campus-Beziehung ist von der Entwicklungsgeschichte der Universitätsareale abhängig; im besten Fall besteht eine enge Wechselbeziehung. Es gibt Universitäten, die im Zentrum einer Stadt gegründet wurden und sich noch immer hier befinden, oft aber mit den nur begrenzten Erweiterungsmöglichkeiten zu kämpfen haben. Hier spielt der innerstädtische öffentliche Raum als Begegnungsfeld eine wichtige Rolle. Idealerweise würde sich hier eine gute Wahrnehmbarkeit der Institution mit einer Offenheit gegenüber einer Mit- und Mehrfachnutzung der Freiräume durch die Bewohner und Besucher der Innenstadt verbinden.

An anderen Standorten kam es bedingt durch das schnelle Wachstum der Studierendenzahlen in den 1960er Jahren zu Erweiterungen und Neugründungen von Campusteilen auf der grünen Wiese. Viele dieser Ensembles, wie beispielsweise der Campus Hönggerberg der ETH Zürich oder auch der Campus der TU Delft, werden seit der Jahrtausendwende aufwändig von monofunktionalen Universitätsanlagen zu lebendigen und urbanen Quartieren umgestaltet. So spiegelt der ideale Campus mehr und mehr eine Stadt wider und bietet neben den klassischen Lehr-, Labor- und Bürokapazitäten auch Sport- und Freizeitmöglichkeiten, Wohnhäuser für Studierende und Mitarbeiter auf Zeit, Restaurants, Cafés und Geschäfte.

Der Campus der TU Bergakademie Freiberg

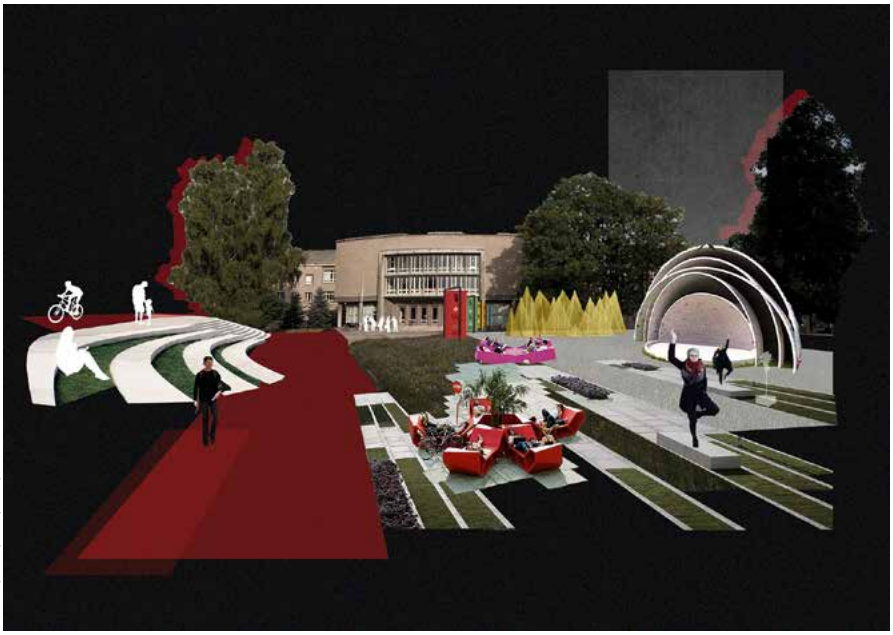
Die Bergakademie hatte ihren Ursprung im Stadtzentrum von Freiberg und besitzt dort noch heute historisch bedeutende, das Bild der Altstadt prägende Gebäude. Der Hauptcampus, der im Wesentlichen in den 1950er und 1960er Jahren entstand und unvollendet blieb, heute aber die meisten Fakultäten beherbergt, erstreckt sich nordwestlich der Altstadt. Die mehrheitlich denkmalgeschützten Gebäude und die großzügigen Freiflächen geben der Anlage eine eigene Prägung und Qualität, doch mangelt es an der engen Verzahnung mit der Stadt und am inneren Zusammenhalt des von der Bundesstraße B 101 durchschnittenen Campusareals. Mit dem Bezug des neuen Schloßplatzquartiers verstärkte die Bergakademie ihre Präsenz in der Innenstadt. Die sich derzeitig im Bau befindliche Universitätsbibliothek mit Hörsaalzentrum sowie das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) markieren den Brückenschlag von der Altstadt zum Campus. Die Gestaltung des verbindenden Freiraums, des sogenannten „Wissenschaftskorridors", wird Studierenden, Hochschulangehörigen und Freiberger Bürgern eine neue Aufenthaltsqualität bieten. Die Absicht des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements, sowohl die bestehende Bibliothek als auch mittelfristig die Mensa zur Disposition zu stellen, eröffnet neue Potenziale zur Aufwertung dieses zentralen Bereichs, zu einer stärkeren Nutzungsmischung und zur räumlichen Fortsetzung des Wissenschaftskorridors.

Doch ist damit noch nicht die Anbindung des Bereichs „Campus Süd",

© TU Bergakademie Freiberg

Abb. 1: Die Teilnehmer des Workshops vor der Bibliothek

1 Prof. Dipl.-Ing. Architektin, Fakultät für Architektur, Professur für Städtebau, Technische Universität Dresden, angela.mensing-de_jong@tu-dresden.de
2 Assoc. Prof., D.Sc., Ph.D. Arch., Fakultät für Architektur, Institut für Städtebau, Technische Universität Krakau, krleja@pk.edu.pl
3 Ph.D. Eng., Fakultät für Architektur, Institut für Landschaftsarchitektur, Technische Universität Krakau, pmkowal@interia.pl
4 Ph.D. Ing. arch., Fakultät für Architektur, Technische Universität Prag, zdrahalova@fa.cvut.cz



© Bailer, Lašek, Polak, Poluk, Schwenke

Abb. 2: Collage des Workshopteams „Silver Vein“ zur Umgestaltung der Freifläche vor dem Winklerbau

südwestlich der Leipziger Straße, gelöst. Die Bundesstraße erweist sich aufgrund ihres Verkehrsaufkommens und des Straßenquerschnitts als erhebliche Barriere. Zwar bildet der Karl-Kegel-Bau eine wichtige Adresse für den Campus direkt an der Leipziger Straße, doch fehlt ein angemessenes Pendant auf der anderen Seite. Der Clemens-Winkler-Bau kann mit seinem objekthaft gestalteten Hörsaal durchaus als raumgreifend und prägend bezeichnet werden, aber er bezieht sich optisch nicht auf den Karl-Kegel-Bau. Bereits die Planungen der 1950er Jahre zeigen, dass um diesen Bereich städtebaulich gerungen wurde – und am Ende die Antwort nur in der Verlegenheit einer zu großen Freifläche bestand.

Der Freistaat beabsichtigt, die durch den Campus Süd verlaufende Gustav-Zeuner-Straße zu erwerben und als Fortführung des Wissenschaftskorridors zu gestalten. Hier ergeben sich Potenziale für die Freiraumgestaltung, aber auch für die Adressbildung der Bestandsgebäude. Ungelöst erscheint bislang der Kreuzungspunkt Merbach-/Gustav-Zeuner-Straße. Er bildet ein Vakuum im Campus, an dem Ortsunkundige die Orientierung verlieren.

Auch am nordöstlichen Ende der Gustav-Zeuner-Straße vermisst man eine räumlich prägnante Situation anstelle des derzeitigen Parkplatzes, d. h. einen Abschluss bzw. einen definierten Campuseingang. Wiederum nimmt ein Parkplatz eine wichtige Potenzialfläche ein. Die von der Stadt beabsichtigte Ausweisung eines neuen Wohngebiets im Nordwesten des Campus Süd erfordert eine klare Zonierung und die Gestaltung eines angemessenen Übergangs zum Campus, von dem Universitätsangehörige und künftige Bewohner gleichermaßen profitieren können.

Die Aufgabe

Die Weiterentwicklung des Campus der TU Bergakademie erfordert eine Vision von räumlichen und programmatischen Wechselbeziehungen, die den internen Wissensaustausch und die soziale Interaktion fördern und prägnante Orte für Lehre und Forschung schaffen. Der Campus soll künftig nicht nur als Lern-, Forschungs- oder Arbeitsort wahrgenommen werden, sondern auch als Quartier, in dem man gern seine Freizeit verbringt und das Studierende sowie auch andere Bürger einlädt.

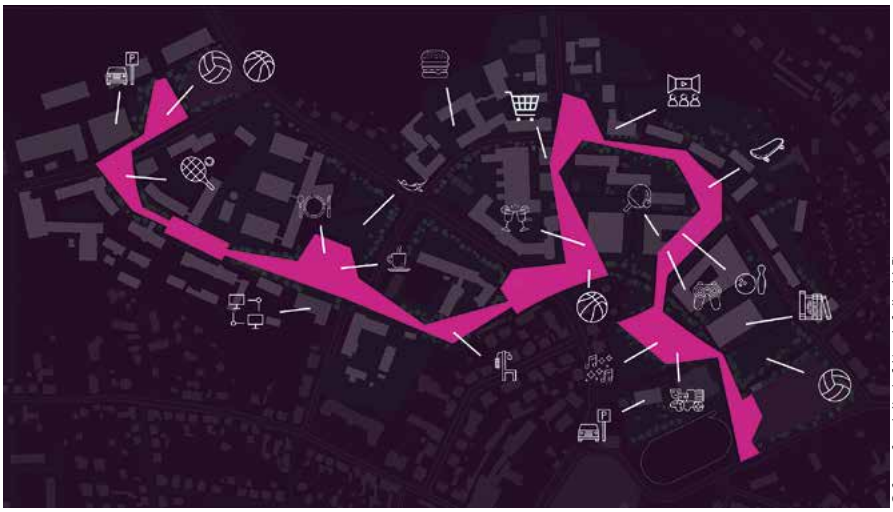
Um dieses Ziel zu erreichen, war abzuwägen, an welchen Stellen das Areal der Universität weiter verdichtet werden kann, welche Funktionen angelagert und wie durch neue Mobilitätskonzepte Adressen und räumliche Schwerpunkte geschaffen werden können. Durch Erstellung eines Masterplans sollten die Struktur und die Gestaltung des Campus definiert, aber auch dessen mögliche Transformation in mehreren Phasen dargestellt werden. Der Wissenschaftskorridor war dabei als besonderer, qualitätsvoller Freiraum weiterzuentwickeln, der für Nutzer und Bewohner der angrenzenden Quartiere gleichermaßen Attraktivität besitzt.

Räumlich neu definiert werden mussten vorrangig die Baufelder der (alten) Bibliothek und der Mensa, da diese Gebäude langfristig zur Disposition stehen, der Kreuzungsbereich von Gustav-Zeuner-Straße mit Merbachstraße und die Ein- bzw. Ausgangssituation am nördlichen Ende der Gustav-Zeuner-Straße.

Der Workshop

Der intensive Start in das Projekt erfolgte im Rahmen eines fünftägigen Workshops vor Ort, an dem neben der TU Dresden auch die CTU Prag und die TU Krakau teilnahmen. Ziel war es, in acht Teams von jeweils sechs Studierenden dieser Universitäten erste Konzepte zu erarbeiten und öffentlich zu diskutieren.

Über Impulsvorträge von Herrn Then, dem amtierenden Kanzler der TU Bergakademie, Herrn Seltmann vom Stadtplanungsamt Freiberg und Herrn Scholich als Vertreter des Sächsischen Immobilien- und Baumanagements erhielten die Teilnehmer einen guten Einblick in die Planungsgeschichte von Stadt und Universität. Das Konzept des sogenannten „Wissenschaftskorridors“ präsentierte sich allen als überzeugender Ansatz für die



© Cysarz, Gnauck, Korch, Schieraick, Spálenská, Zimna

Abb. 3: Das Team „Pinky-Way“ stellt eine aktive Zone vor, die alle Teile des Campus miteinander verbindet.

Verknüpfung von Innenstadt und Campus, den es aber noch über die Leipziger Straße hinweg bis hin zum Bereich Zeunerstraße weiterzuentwickeln gilt.

Im Anschluss machten sich die Studierenden durch Rundgänge ein eigenes Bild vom Campus in seinem jetzigen Zustand. Sie konnten dessen Qualitäten, aber auch die Defizite entdecken und benennen. Am Folgetag wurde intensiv in den Gruppen an Konzeptideen gearbeitet, die von jeder Gruppe in einer Zwischenpräsentation zur Diskussion gestellt wurden. Als besondere Herausforderung stellte sich für viele Teams die Überwindung der Barriere „Leipziger Straße" dar, so dass auch Konzepte mit Tunnel- oder Brückenlösungen erdacht wurden. Einigkeit herrschte darüber, dass dem Fuß- und Radverkehr auf dem Campus Priorität einzuräumen ist, um die Aufenthaltsqualität zu erhöhen und so den Campus möglichst attraktiv zu gestalten.

Nach dieser ersten Diskussionsrunde hieß es dann, weiter intensiv zu arbeiten und wenig zu schlafen, um im Rahmen einer zweiten Präsentation im Agricola-Saal der Bibliothek weiterentwickelte Konzepte vorzustellen. Sie reichten von Vorschlägen für neue bauliche und funktionale Schwerpunkte über konkrete Ideen zur Fortführung des Wissenschaftskorridors, Anregungen für die Umgestaltung des Areals zu einem nachhaltigen Campus mit einer grünen Infrastruktur bis hin zu neuen Mobilitätskonzepten.

Projekte an der Technischen Universität Dresden

Wieder in Dresden, wurden die erarbeiteten Konzepte diskutiert und evaluiert. Dabei stand es jedem Studierenden frei, das Konzept weiter zu verfolgen, das seine Arbeitsgruppe im Workshop verfasst hatte – oder aber auch, Ideen einer anderen Gruppe zu übernehmen.

In Zweierteams wurde nach der Überprüfung unterschiedlicher Szenarien ein Rahmenplan für den gesamten Campus erarbeitet, der prozesshafte Umsetzungen und auch Anpassungen erlaubt. Im Anschluss wurden ausgewählte Teilbereiche vertieft und jeweils räumlich, funktional und gestalterisch in einem größeren Maßstab bis hinab zur Gebäudeebene geplant. Dank der Unterstützung durch die Professur für Landschaftsarchitektur der TU Dresden bekamen die Studierenden fundierte Beratung bei der Planung der Freiflächen, die im Gesamterscheinungsbild von zentraler Bedeutung sind.

© Gishelyuk, Grüning, Kratochvil, Lichaczewska, Schumann

Abb. 4: Konzept des Teams „Rubber Band" für die einzelnen Quartiere des Campus

Vier Zwischenpräsentationen gaben im Semesterverlauf Gelegenheit zum kritischen Vergleich der Arbeiten untereinander. Zu diesen Terminen halfen externe Gäste und Praxispartner, z. B. vom SIB und von der TU Bergakademie, die Projektideen weiterzuentwickeln und zu schärfen.

Als alle Beteiligten des Workshops im Januar 2020 wieder in Freiberg zusammenkamen, war das Semester für die Kollegen und Studierenden in Prag und Krakau schon beendet und die Präsentation der Ergebnisse in der Alten Mensa stellte somit das Finale des Entwurfsprojekts dar. Die Studierenden der TU Dresden konnten auf die Kommentare noch konstruktiv reagieren und ihre Projekte bis zur Abschlusspräsentation Ende Februar in Dresden weiterentwickeln.

Insgesamt entstanden 15 Entwürfe, die vielfältige Anregungen für die Gestaltung des Campus und für eine deutlichere Ausprägung der Verbindung von Altstadt und Universitätsgelände geben. In allen Arbeiten ist die Begeisterung für die Stadt, ihre Geschichte und das Profil der Bergakademie zu spüren, denn auch wenn die beteiligten Studierenden in Großstädten wie Prag, Krakau oder Dresden leben, haben sie vor Ort die Qualitäten von Freiberg und eines Studiums in einer kleineren Stadt schätzen gelernt.

In den Projekten kristallisierten sich einige Punkte heraus, die wir bei der Weiterentwicklung des Campuskonzepts zu beachten empfehlen: Bezogen auf einen Schwerpunkt der Aufgabenstellung – der Bewegung auf dem Campus und einer schlüssigeren Verbindung Campus/Stadt – machen die zahlreichen Visualisierungen der Projekte Lust auf einen abwechslungsreich gestalteten „Wissenschaftskorridor", der zum Rückgrat des gesamten Campus entwickelt wird. Hier könnten die übergeordneten Nutzungen ihre Adresse haben und sich die TU Bergakademie Bürgern und Besuchern mit ihrem unverwechselbaren Profil präsentieren. Hierzu vorgestellte Konzeptideen trugen dementsprechend auch Titel, wie „Silber-" oder „Erzader" oder auch „Mineral Mine".

Der Teil des Campus südlich der Leipziger Straße benötigt, um attraktiver und stärker frequentiert zu werden, einen funktionalen und baulichen Schwerpunkt im Bereich des Kreuzungspunkts Gustav-Zeuner-/Merbachstraße. Der Vorschlag, hier zukünftig die Mensa zu platzieren, würde die „Winklerwiese" beleben und im Zusammenhang mit einer neuen Freiraumgestaltung dem Campus einen wichtigen identitätsbildenden Raum bieten.

Einige Studierende regten in diesem Bereich den Neubau der „Forschungsfabrik 4.0" an und arrondieren diese mit Arbeitsräumen und einem Makerspace für Studierende. In jedem Fall aber scheint der für diesen Bau vorgesehene Standort am nordwestlichen Ende des Campus – in der Nähe des Hauses für Formgebung – aus städtebaulicher Sicht ungeeignet zu sein. Hier, im Übergang zum geplanten neuen Wohngebiet, wäre eine Renaturierung des

© Fabry, Schumann

Abb. 5: Axonometrie des Projekts von Luise Schumann und Paul Fabry

verrohrten Bachlaufes in Kombination mit für Sport und Freizeit zu erschließenden Flächen eine viel bessere Abrundung für den Campus. Dies bestätigen einige Arbeiten.

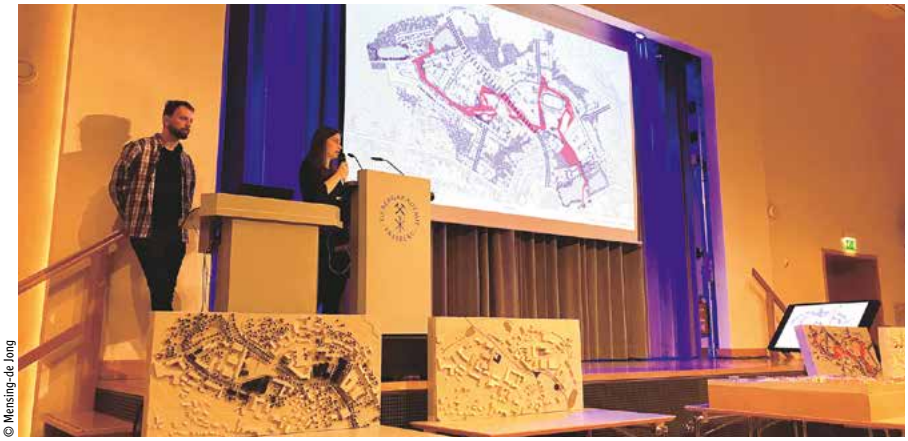
Im Bereich der alten Bibliothek besteht die Chance, eine räumliche Situation zu gestalten, die dem Wissenschaftskorridor, aber auch dem Karl-Kegel-Bau und seinem Haupteingang nicht den Rücken zukehrt, sondern einem zentralen Campus-Platz einen attraktiven Rahmen gibt. Nicht alle Arbeiten bzw. Autoren sehen dabei den Abriss der Bibliothek vor. Auch eine Umnutzung zu einer Lern- und Freizeitlandschaft mit Aktivierung der Dachfläche oder einer Aufstockung ist denkbar.

Eine Universität, die sich mit Recht den schonenden Umgang mit Ressourcen auf die Fahnen geschrieben hat, sollte auch ein nachhaltiges Mobilitätsverhalten fördern. Der Vorrang des Individualverkehrs müsste zugunsten von Fußgängern und Radfahrern eingeschränkt werden und es erlauben, die vielen Parkplätze und dem Verkehr gewidmeten Flächen entweder zu attraktiven, den Campus belebenden Freiflächen umzugestalten oder hier neue bauliche Schwerpunkte zu platzieren.

Wir hoffen, mit den Projekten vielfältige Anregungen zur Gestaltung der Wechselwirkung von Stadt und Campus gegeben zu haben und würden uns in einigen Jahren gern selbst vor Ort von der erfolgreichen Entwicklung des Areals überzeugen können.

Im Rahmen dieses Artikels ist es nur möglich, einige wenige Abbildungen der entstandenen Projekte zu zeigen. Eine Publikation aller Entwürfe, die in Krakau, Prag und Dresden erarbeitet worden sind, ist in Arbeit. Projekte, die an der TU Dresden entstanden sind, können aber auch hier begutachtet werden:

https://tu-dresden.de/bu/architektur/istb/stb/studium/dokumentation-1/entwurf/wise-18-19-freiberg/index



© Mensing-de Jong

Abb. 6 : Tomas Korch und Anna Kralova präsentieren ihr Projekt „Pinky Way“ am 30. Januar in der Alten Mensa der TU Bergakademie

Projekte an der Technischen Universität Krakau

Bei den von Studierenden der Technischen Universität Krakau ausgearbeiteten Projekten stand die Frage „Wie können Stadt und Campus miteinander verbunden und ein zusammenhängendes Ensemble mit neuen Werten geschaffen werden?“ an vorderster Stelle. Die Projekte zur Gestaltung neuer öffentlicher Räume auf dem Campus zielen darauf ab, den Campusbereich attraktiver zu machen und zu einem Stadtviertel des 21. Jahrhunderts zu entwickeln. Grundidee war die Schaffung einer grünen Infrastruktur, die einen Bezug zwischen den Freiflächen des Campus und der historischen Stadtstruktur mit ihren dominanten Straßen, Plätzen und Grünräumen herstellt. Diese Freiflächen können durch neue Fußwegeverbindungen, Brücken und Plätze, aber auch Open Air Theater, Ausstellungen und aktive Zonen wie Skateparks, Langlaufloipen und Fitnessstudios im Freien ergänzt werden, ebenso wäre eine Nutzung im Winter für Weihnachtsmärkte und Konzerte sowie für offene Eisbahnen denkbar.

Ein wichtiges Thema bei der Weiterentwicklung der Projekte war auch hier die Priorisierung des Fußgängerverkehrs gegenüber dem zurzeit dominierenden Individualverkehr. Das Problem der Abhängigkeit Freibergs vom Autoverkehr ist ein typisches Merkmal von Klein- und Mittelstädten. Der überschaubare Maßstab begünstigt jedoch eine Umstellung auf andere, „weiche“ Mobilitätsformen, wie Radfahren, Laufen, die Benutzung von Rollern sowie auch die Umwandlung von Verkehrsräumen in „Shared Spaces“. Mit Leben erfüllte Straßen können ein wertvolles Element des studentischen Lebens werden und die jungen Menschen enger in die lokale Gemeinschaft einbinden. In Städten mit fußgängerfreundlichen öffentlichen Räumen kann man nicht nur gut lernen, sondern auch sehr gut leben.

Die Entwürfe wurden im Rahmen von Diplomprojekten bearbeitet – unter der Leitung von Prof. Dr. Mateusz Gyurkovich, Urszula Forczek-Brataniec und Katarzyna Łakomy mit Unterstützung von Prof. Kinga Racoń-Leja, Prof. Angela Mensing-de Jong von der TU Dresden und Dr. Przemyslaw Kowalski vom Institut für Landschaftsarchitektur.

Projekte an der Technischen Universität Prag, Studio Klokocka/ Zdrahalova

An der Architekturfakultät der Technischen Universität Prag bekam das Semesterprojekt zur Entwicklung des Campus der TU Bergakademie Freiberg sehr viel Zuspruch. Eine solche Aufgabe ist gerade für Studierende spannend, geht es doch um ein Lebens- und Arbeitsumfeld, in dem sie sich selbst täglich bewegen. Sie hatten aber auch von den positiven Erfahrungen der Kommilitonen gehört, die an früheren Kooperationsprojekten mit der TU Dresden, der TU Krakau und anderen Universitäten teilgenommen hatten. Außerdem ermöglicht das Format des „Urban Lab“ vor Ort mit Inputs von Akteuren der Universität und der Stadt einen besonders intensiven Projekteinstieg.

Das Semester begann in Prag drei Wochen vor dem ersten Workshop in Freiberg. Die Studenten befassten sich in dieser Zeit zum Einstieg mit verschiedenen Formen der Beziehung zwischen Städten und Universitäten. Hier halfen auch persönliche – bei Eramusaufenthalten gewonnene Erfahrungen – und der Vergleich von Lage und Funktion verschiedener Campusanlagen untereinander. Die TU Bergakademie Freiberg weist dabei eine besondere Situation auf, denn sie nutzt sowohl historische Gebäude in der Innenstadt als auch einen Campus auf der „grünen Wiese“ im nördlichen Teil der Stadt.

Zu den zu bearbeitenden Schlüsselthemen der Projekte gehörten die Verbindung des Campus mit der Stadt, die Bedeutung des Campus für die Stadt und – umgekehrt – die der Stadt für die Studenten des Campus, aber auch die mangelnde Orientierung auf dem Campus. Ein weiteres wichtiges Thema war der Verkehr: Zusätzlich zu der bereits genannten Teilung des Campus durch die Leipziger Straße, wurde der Meißner Ring als ein Punkt identifiziert, der die Verbindung des Campus zum historischen Kern der Stadt erschwert.

Nach dem Aufenthalt in Freiberg kehrten die Studenten an ihre Heimatuniversitäten zurück und entwickelten die Konzepte weiter. In Prag wurden vier Gruppen mit jeweils drei Personen gebildet. In ihren Projekten testeten sie verschiedene Ansätze zur Lösung der hier skizzierten Themen:

Das „Pinky Way“-Projekt schlägt ein starkes gestalterisches Element an der Grenze zwischen Urbanismus und Architektur vor, das den gesamten Campusraum „binden“ und prägen würde. Der „Organism“-Entwurf entwickelt unterschiedliche Typologien von Räumen für die verschiedenen Bewegungshierarchien auf und um den Campus – Gehwege, Radwege, Neben- und Hauptstraßen, wobei jeder der Typologien eine bestimmte Art von Grün zugeordnet wird. Das Projekt „Silver Vein“ schlägt eine Linie vor, die symbolisch im historischen Stadtzentrum beginnt und sich durch den Campus fortsetzt, wo sie wichtige Orte verbindet. Der „Polymorph“-Vorschlag unterstreicht die Schwerpunkte auf dem Campus, fügt aber zusätzlich einen Rundweg durch den gesamten Campus hinzu, der sich sensibel an ihn anpasst, ohne dabei seinen Charakter zu verlieren.

Die Architekturstudenten aus Prag haben ihre Zeit in Freiberg und auf dem Campus genossen. Sie schätzten die Zusammenarbeit mit den Studierenden der anderen Universitäten sowie die Unterstützung der TU Bergakademie sowie aller teilnehmenden Gäste und Dozenten sehr. Wir wünschen uns, dass die Arbeit der Studierenden zur Diskussion über die mögliche Entwicklung und Neugestaltung des Campus der TU Bergakademie in Freiberg beitragen wird.

SilberBoom – 4. sächsische Landesausstellung in Freiberg

Helmut Mischo[1]

Zum 11. Juli 2020 wurde auf dem Forschungs- und Lehrbergwerk (FLB) der TU Bergakademie Freiberg der „Schauplatz Erz“ eröffnet. Trotz der durch die Corona-Pandemie bedingt schwierigen Situation der vorangegangenen Monate und die sich hieraus ableitenden aktuellen Einschränkungen konnte das FLB, zusammen mit seinem Partner Förderverein Himmelfahrt Fundgrube e. V., die Vorbereitungen zum neugesetzten Eröffnungstermin pünktlich abschließen und bietet jetzt mit einem vollständig neu konzipierten Angebot einen einzigartigen Einblick nicht nur in die Historie des Freiberger Silberbergbaus, sondern auch in die aktuelle Nutzung der Anlage in Forschung und Lehre.

Das FLB steht im 101. Jahr seines Bestehens auf vier Säulen. In seiner Funktion als offener europäischer Forschungsstandort – aktuell mit über 50 Partnern in mehr als 30 Untertage-Laboren – und der Verwendung als Lehrgrube, in der jedes Jahr über 1.700 Schichten von Studierenden aus aller Welt verfahren werden, spielt auch die Nutzung als zentraler Zugang zum Rothschönberger Stolln für den Hochwasserschutz der Freiberger Region eine wichtige Rolle. Die 4. Säule ist das Angebot, die 850-jährige Bergbaugeschichte der Silber- und Universitätsstadt Freiberg mit ihren einzigartigen Sachzeugen untertage hautnah zu erleben. Dieses wird unter der Marke „Silberbergwerk“ durch den Förderverein Himmelfahrt Fundgrube e. V. seit vielen Jahren im Grubengebäude des FLB gepflegt und ist fester Bestandteil der touristischen Angebote unserer Stadt.

Mit der Entscheidung der Landesregierung, die 4. Sächsische Landesausstellung unter dem Slogan „Boom. 500 Jahre Industriekultur in Sachsen“ nicht nur an einem Standort zu konzentrieren, sondern die gesamte Region Südwestsachsen mit einzubeziehen, wurde auch Freiberg, und zwar für den Schauplatz Erz unter dem Slogan „SilberBoom“ als Außenstandort ausgewählt. Der Auftrag für den Freiberger Standort lautete, nicht nur die Geschichte des sächsischen Erzbergbaus museal zu präsentieren, sondern vielmehr eine Brücke zu schlagen – hin zur Bedeutung des Erzbergbaus für die Rohstoffversorgung unserer heutigen Gesellschaft. Dabei soll zum einen eine Verbindung zwischen der Entstehung der Lagerstätten, dem Bergbau und der Aufbereitung sowie der Rolle unserer Erze für die regionale Entwicklung und als Grundlage des Reichtums Sachsens dargestellt werden, andererseits aber auch die Brücke von der Geschichte der Nutzung und Gewinnung unserer heimischen Rohstoffe – präsent in der Historie des FLB als Zentralteil der ehemaligen Himmelfahrt-Fundgrube – bis hin zu den Aufgaben und Herausforderungen einer modernen, digitalen Gesellschaft von morgen, die insbesondere auch als Informationsgesellschaft auf natürliche Ressourcen angewiesen sein wird, durch Darstellung der Aktivitäten des Forschungs- und Lehrbergwerks geschlagen werden.

Dieser Bogen wird bereits in dem im Zuge der Landesausstellung vollständig neugestalteten Foyer aufgespannt, in dem der Besucher visuell Eindrücke von den ersten Erzfunden, dem historischen Bergbau und der damit verbundenen Regionalentwicklung bis hin zu neuesten Forschungsansätzen sammeln kann. Auch unter Tage wurde mit den beiden völlig neu konzipierten Angeboten der „Entdeckertour“ und der „Forschertour“ der Ansatz, die Brücke vom Gestern ins Morgen zu schlagen, aufgegriffen. Die Entdeckertour folgt dem ehemaligen Bergbaulehrpfad in Schachtnähe und ist für Besucher von 6 bis über 75 Jahren zugänglich. Bereits auf dem Füllort der 1. Sohle wird dem Besucher die gesamte Bandbreite der aktuellen Nutzung und die enge gegenseitige Verzahnung der vier Säulen durch detaillierte Informationstafeln nahegebracht. Im Rahmen einer ca. einstündigen Grubentour wird auf einer audiovisuellen Reise von der Bildung der Erzlagerstätte über die Arbeit des Bergmanns mit ihren Gefahren und Herausforderungen und die entsprechenden technischen Lösungsansätze ein multimediales Erlebnis angeboten. Diese Entdeckertour endet am Forschertisch, an dem eine Auswahl von insgesamt 23 Forschungsstationen in ihrer inhaltlichen und räumlichen Zuordnung dem Besucher kurz vorgestellt wird. Dieser Forschertisch ist zugleich Startpunkt der zweistündigen Forschertour, auf der unsere Besucher an diversen Stationen den Untertage-Forschungsstandort Freiberg in authentischer Umgebung erleben dürfen. Hier erhalten Sie Einblicke in einen breitgefächerten Themenkanon, wie der Nutzung erneuerbarer Energien, den Werkstoffwissenschaften und der Schaffung neuer Materialien, zu neuartigen Gewinnungsverfahren durch den Einsatz von Bakterien als „Bergleute“, zur Robotik, der Automation und zu autonomen Systemen. Die Forschertour endet an Stationen, die die Sicherheit und Rettung im Bergbau sowie die Problematik der kontinuierlichen Betriebsüberwachung und Datengenese im Sinne eines Bergbaus 4.0 aufgreifen.

Die Forschertour ist für Besucher zwischen zwölf und 75 Jahren buchbar und richtet sich, wie auch die gesamte Landesausstellung und die übertägigen Begleitausstellungen auf der Reichen Zeche („Wissensreise Kohlenstoff“ am IEC, Rohstoffausstellung „Vom Salz des Lebens“[2]) ganz gezielt auch an Schulen und Schülergruppen. Trotz der aktuellen Einschränkungen in den Schulaktivitäten im Freistaat ist die Nachfrage nach den Angeboten am Standort Freiberg ausgesprochen lebhaft. Bis zur erneuten coronabedingten Schließung im November waren die speziell für Schulen konzipierten Führungen ausgebucht, wie auch die gesamte Ausstellung sich seit Ihrer Eröffnung einer sehr hohen Nachfrage erfreut hat. Insgesamt haben fast 6.700 Besucher die Landesausstellung auf dem FLB besucht. Daher freuen wir uns, diese neugestalteten Touren und Angebote auch nach dem Auslaufen der Landesausstellung unseren Gästen in Zukunft anbieten zu können.

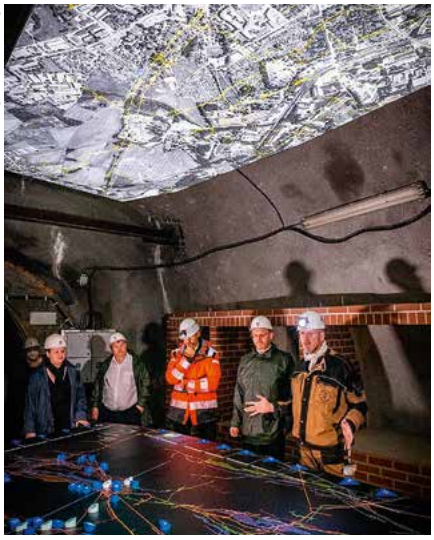
Besonders hervorzuheben ist, dass das Thema Landesausstellung in Freiberg von Beginn an als gemeinsame Aufgabe der Bergakademie, der Stadtverwaltung und des Fördervereins Himmelfahrt Fundgrube verstanden wurde. Dies ermöglichte nicht nur eine sehr effektive Planung und Vorbereitung, sondern auch einen ganzheitlichen Auftritt des Standorts Freiberg im Zuge der Landesausstellung, was sich auch in der aktuellen Sonderausstellung im Stadt- und Bergbaumuseum „Vom Gnadengroschen zur Rentenkasse“, die sich ebenfalls in den Themenkanon von 500 Jahren Industrie- und (Erz-)Bergbaugeschichte einfügt, widerspiegelt.

1 Helmut.Mischo@mabb.tu-freiberg.de

2 Vgl. zu dieser Ausstellung auch auf S. 120–123 den Beitrag Drebenstedt/Kleeberg: Rohstoffbewusstsein stärken – Vom Salz des Lebens

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Das neue Foyer – Startpunkt jeder Tour



© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

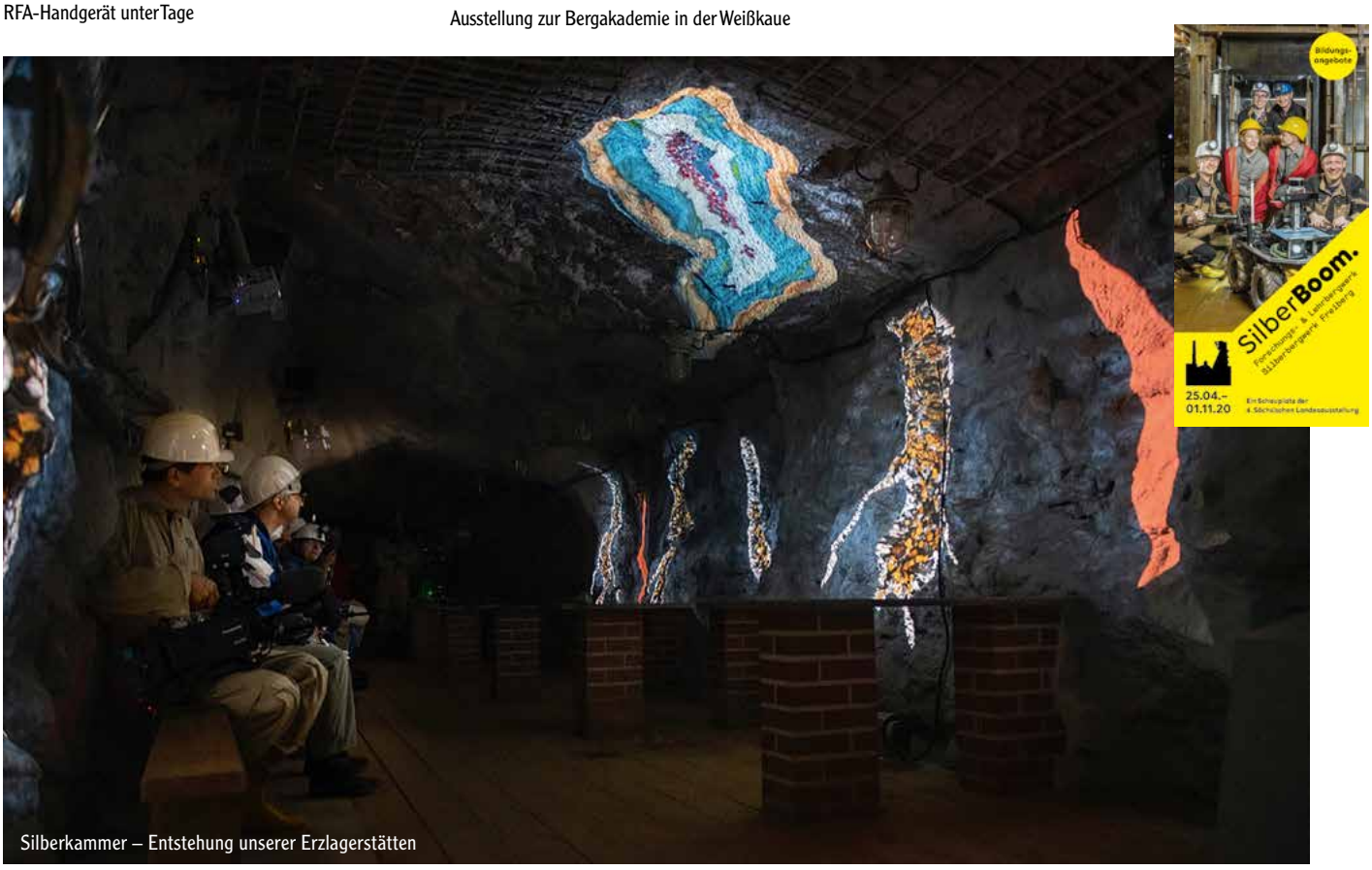
Forschertisch

© TU Bergakademie Freiberg

Bergbauroboter Julius beim einer Messung mit einem RFA-Handgerät unter Tage

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Ausstellung zur Bergakademie in der Weißkaue



© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Silberkammer – Entstehung unserer Erzlagerstätten

Rohstoffbewusstsein stärken – Vom Salz des Lebens

Carsten Drebenstedt, Kirstin Kleeberg

Das Lehr- und Forschungskonzept der Professur Bergbau-Tagebau richtet sich an einem verantwortungsbewussten Abbau von mineralischen Rohstoffen, die für unser gewohntes, tägliches Leben notwendig sind – ob zum Wohnen, Essen, Kommunizieren oder für die Mobilität – aus. Umfragen ergeben, dass der dafür nötige hohe Einsatz von mineralischen Rohstoffen – in Deutschland immerhin durchschnittlich ca. 40 kg pro Tag und Person – weitgehend unbekannt ist und kaum Beachtung findet. Zunehmende Proteste gegen verschiedenste industrielle und infrastrukturelle Projekte, auch gegenüber Vorhaben oder bereits laufenden Aktivitäten des Rohstoffabbaus oder des Umweltschutzes (z. B. gegen die Errichtung von Windkraftanlagen …), lassen im öffentlichen Bewusstsein einen deutlichen Wandel in der Bewertung der gesamtgesellschaftlichen Bedeutung solcher Projekte erkennen, auch hinsichtlich der Verantwortung des Einzelnen als Konsumenten.

Mit der zunehmenden Entwicklung hin zu einer Dienstleistungsgesellschaft und immer weniger Beschäftigten im industriellen und namentlich im rohstoffrelevanten Sektor sind die speziellen Anforderungen und Bedingungen, die mit der Bereitstellung der Rohstoffe verbunden sind, im öffentlichen Bewusstsein kaum mehr präsent. Indizien dafür sind – neben zahlreichen Protesten – z. B. das Fehlen entsprechender Inhalte in den schulischen Lehrplänen und -büchern oder die sinkenden Studienanfängerzahlen im Bereich der Ingenieurwissenschaften generell und im Rohstoffbereich im Speziellen [1].

Der nicht immer offensichtliche Konflikt zwischen der Bereitschaft zum Rohstoffkonsum auf der einen und der Abneigung gegen den dafür erforderlichen Rohstoffabbau auf der anderen Seite ist nicht neu. In seinem 1556 erschienenen Werk *„Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen“*, Buch I (Vom Berg- und Hüttenmännischen Berufe und seinem Nutzen) beschreibt bereits Georgius Agricola diesen Konflikt der Rohstoffindustrie mit Teilen der Gesellschaft. Die Konflikte, die u. a. an Ängste vor Veränderungen, einem Verlust des vertrauten Umfeldes und andere Motive gebunden sind, erfassen seitdem auch alle anderen Bereiche der sich entwickelnden Wirtschaft. Demokratische Strukturen bei der Genehmigung von Vorhaben befördern heute – verstärkt durch die Medien – zunehmend die Interessenbekundungen der Befürworter und Gegner. Proteste gegen Wirtschafts- und Umweltprojekte sind teilweise bestens vorbereitet, eskalieren nicht selten und erwecken großes mediales Interesse. Ursachen für Proteste sind häufig schlechte Erfahrungen, mangelnde Kommunikation und das Fehlen von Wissen. In die öffentliche Diskussion sollten deshalb Sachargumente und wissenschaftlich basierte Fakten wirkungsvoller eingebracht werden, insbesondere an Schulen, in der Politik und in den Medien. Das ist eine der Kernaufgaben von Hochschulen und Universitäten. Leider fand der Vorschlag der Etablierung eines Zentrums für Wirtschafts- und Umweltbewusstsein als zentrale wissenschaftliche Einrichtung an der Universität keine Mehrheit.

Die Professur Bergbau-Tagebau hat deshalb ein Konzept entwickelt – in Reaktion auf die Frage, wie das Rohstoffbewusstsein gestärkt werden könnte. Statt zu versuchen, den scheinbar negativ belegten Begriff „Bergbau“ im Sprachgebrauch zu umgehen, kommt es darauf an, deutlich zu machen, dass die durch den Bergbau bereitgestellten Rohstoffe genauso zur Grundlage unseres täglichen Lebens gehören wie Brot und Wasser. Zu den Bausteinen des Konzepts gehören u. a.:

- Gastvorträge an Schulen und fachgerechte Betreuung von Schülergruppen
- die Homepage „Faszination Rohstoffe“ für Schüler, Lehrer und Geo-Interessierte
- Buchprojekte, u. a. *Auf der Erde Leben* (auch in Englisch *Living on Planet Earth*) für Geo-Interessierte
- die Gründung eines Graduiertenkollegs „Rohstoffakzeptanz“ gemeinsam mit der Montanuniversität Leoben
- eine Promotion zum Thema *Rohstoffe in der schulischen Bildung* sowie die Erarbeitung von Lehrmaterial für Schulen
- eine Industrie-Promotion zum Thema *Kommunikation komplexer Sachverhalte im komplizierten Umfeld – am Beispiel der Rohstoff- und Energiewirtschaft* in Kooperation mit der Fakultät Medien der Hochschule Mittweida
- die Entwicklung und Umsetzung von Social Media-Projekten zum Rohstoffabbau und zum Umweltschutz (z. B. der Qarry-Live-Award)
- die Durchführung und Auswertung von Meinungsumfragen zur Einstellung verschiedener gesellschaftlicher Gruppen gegenüber der Rohstoffwirtschaft und Ableitung von Handlungsfeldern (in Kooperation mit der IHK Chemnitz)
- die Kooperation mit der TU Dresden bei der Ausbildung von Lehramtsstudenten für Geographie und Chemie
- die Kooperation mit dem Verband der Schulgeografen, Lehrerweiterbildung
- die Kooperation mit Museen und Schaubergwerken zur fachlichen Unterstützung des Brückenschlags zwischen Geschichte und Zukunft
- die Kooperation im Netzwerk der relevanten Industrieverbände und Firmen
- die Kooperation mit relevanten Ministerien (Bildung, Wissenschaft, Wirtschaft ...) auf Landes- und Bundesebene
- die Zusammenarbeit mit Medien und Bereitstellung von Pressemitteilungen und Berichten
- Fachvorträge und Publikationen zum Rohstoffbewusstsein für die breite Öffentlichkeit
- die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ mit der Begleitbroschüre als Lehrmaterial.

Sich mit ihren Rohstoffthemen verstärkt in das öffentliche Bewusstsein einzubringen, ist dabei für die TU Bergakademie Freiberg als Ganzes nicht neu. Zahlreiche weitere Aktivitäten, wie etwa das Schülerlabor, das Haus der kleinen Forscher oder die Nacht der Wissenschaft, sind Beispiele dafür. Einzigartig ist auch die Vielfalt der öffentlich zugänglichen, attraktiven Bergbau-Erlebnisorte an der Universität (z. B. terra mineralia, Forschungs- und Lehrbergwerk „Reiche Zeche und Alte Elisabeth“) und im Raum Freiberg, die mit dem UNESCO-Welterbe-Titel „Montanregion Erzgebirge“ eine besondere internationale Aufmerksamkeit erhalten hat. Hier setzt aktuell auch eine von der WISMUT unterstützte Industriepromotion an: Wie kann das historische Erbe, das in den zahlreichen Schauanlagen und Museen demonstriert wird, als Basis für aktuelle Bezüge und die Zukunft der Montan-Themen und -Studienfächer genutzt werden?

Am Beispiel der Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ wird im Folgenden eine Möglichkeit der Vermittlung von wesentlichen Eckpfeilern eines entwickelten Rohstoffbewusstseins vorgestellt.

Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ – Versuch einer Einbettung

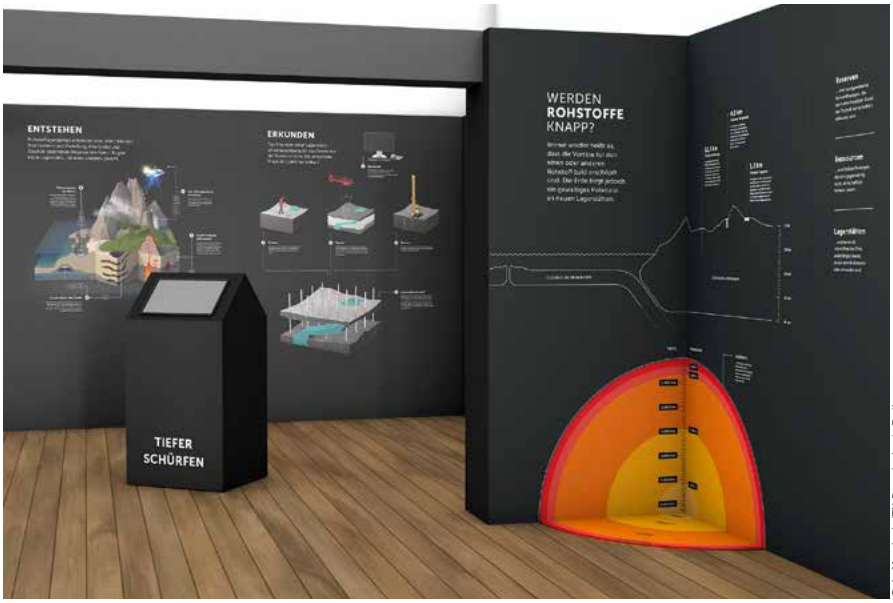
Der Erhalt und der Ausbau eines kritischen Rohstoffbewusstseins, vor allem bei Kindern und Jugendlichen, sind elementare Voraussetzungen für die Zukunftsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland. Auch der Fortbestand des Industriestandorts Sachsen ist auf die Akzeptanz in der Gesellschaft mit besonderem Blick auf die Rohstoffwirtschaft, d. h. auf ein sachlich fundiertes Rohstoffbewusstsein in Politik und Gesellschaft angewiesen. Die Sächsische Rohstoffstrategie von 2012 hat dies in einer ihrer acht Leitlinien klar als wichtige Aufgabe formuliert. Die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ trägt zur Umsetzung zweier zentraler Leitlinien der Sächsischen Rohstoffstrategie bei. Mit der Vermittlung von erlebbarem Rohstoffwissen soll es zur Bewusstseinsbildung beitragen (Leitlinie 8). Zugleich soll das Interesse bei zukünftigen Fachkräften für spannende Ausbildungs- und Studienberufe in der sächsischen Rohstoffwirtschaft geweckt werden (Leitlinie 6).

Die zentrale Zielgruppe sind Jugendliche, für die konkrete Bildungsaktivitäten in der Ausstellung durchgeführt werden. Übergreifend soll mit „Vom Salz des Lebens“ die Verbindung zwischen Bevölkerung, Industrie und Wissenschaft durch eine Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen diesen Bereichen gestärkt werden. Ein wesentliches Ziel ist, das Interesse bei Schülerinnen und Schülern daran zu wecken, ein Studium oder auch eine Ausbildung mit einem Bezug zum Rohstoffbereich zu ergreifen.

Eine Ausstellung entsteht

Die Idee einer Geo-Ausstellung entstand im Sommer 2018 am Rande der Vorbereitung der Sächsischen Landesausstellung „Industriekultur 2020“ am Standort des Freiberger Lehr- und Forschungsbergwerks zwischen Ute Baumgarten und Professor Carsten Drebenstedt. Eine vorausgegangene erfolgreiche Zusammenarbeit war das Buch *„Auf der Erde leben/Living on Planet Earth“*, das u. a. mit dem Red Dot Award für Kommunikationsdesign ausgezeichnet wurde.

Im Zusammenhang mit der Landesausstellung sollte die Gelegenheit genutzt werden, den Besuchern die Bedeutung der Rohstoffe für unser tägliches Leben nahezubringen, zum Nachdenken anzuregen und den Zugang zu Studienmöglichkeiten für derart essentielle Zukunftsthemen zu eröffnen. Eine geeignete Räumlichkeit in unmittelbarer Nähe war mit dem Alten Fördermaschinenhaus schnell gefunden. Mit dem Förderverein Himmelfahrt Fundgrube Freiberg/Sachsen e. V. konnte nicht nur ein Einverständnis zur Nutzung erzielt werden, sondern er unterstützte die Realisierung dieser Idee auf vielfältige Weise. Vielen ist der Raum auch als „Drusenkabinett“ bekannt, wobei auch faszinierende Leihgaben der SAXONIA-FREIBERG-STIFTUNG in die Ausstellung integriert wurden.



© A. Meschede/TU Bergakademie Freiberg

Gehen uns die Rohstoffe aus? Blick in die Ausstellung auf der Reichen Zeche

Der Rat der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau beschloss, einen Teil der für die Öffentlichkeitsarbeit zugewiesenen Mittel für die Erarbeitung der Konzeption dieser „Geo-Ausstellung“ einzusetzen. Das Konzept wurde im Dezember 2018 unter Federführung von Ute Baumgarten mit der Überschrift „Vom Salz des Lebens“ vorgestellt. Mit finanzieller Unterstützung aus dem Titel „Rohstoffstrategie Sachsen“ sowie aus Eigenmitteln konnten im Mai 2019 die Ausarbeitung der Details und die bauliche Umsetzung starten.

Zum „Kreativteam“ gehörte neben Ute Baumgarten von der Agentur „Textwerkstatt“ Frau Meschede von der Agentur „element79“, die Daten, Texte und Ideen in grafische Kostbarkeiten verwandelte. Nicole Kluge vom Niederwiesaer Büro Helmstedt/Kluge/Rom sorgte nicht nur dafür, dass die Zeichnungen baulich umgesetzt werden konnten, sondern rückte diese auch ins „rechte Licht“. Die handwerkliche Umsetzung des Vorhabens übernahmen lokale Firmen, wie die Kreativ Innenausbau GmbH aus Langenau und die Digital Color Service GmbH aus Chemnitz.

Zahlreiche Universitätsmitarbeiter unterstützten die Ausstellung vor allem mit ihrem Fachwissen. Eine unter vielen kleinen Herausforderungen war dabei der Antransport zweier Bohrkerne zu je 160 Kilogramm vom Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau.

Der für April 2020 geplante Eröffnungstermin musste aufgrund der Corona-Pandemie auf den 25. Juni 2020 verlegt werden. Die Eröffnung fand – unter regem Medieninteresse – vor dem Fördermaschinenhaus im Rahmen eines begrenzten Personenkreises statt. Anfang August wurde bereits der 1.000ste Besucher begrüßt. Die erste Führung einer Schülergruppe wurde am 20. August durchgeführt.

Einblicke in die Ausstellung

Was bietet „Vom Salz des Lebens“ inhaltlich? In erster Linie soll erlebbar gemacht werden, dass die Welt, in der wir leben, physisch auf mineralischen Rohstoffen aufgebaut ist und nur so funktioniert, sich entwickelt und verändert. Die Ausstellung liefert Fakten, lässt staunen und provoziert Fragen: Woher stammen die Rohstoffe für Smartphone, Fahrrad & Co? Wie viel Rohstoffabbau verursache ich? Wie knapp sind die Rohstoffe der Erde? Wie groß ist unser Rohstoffhunger? Wie werden Lagerstätten erkundet und Bergwerke darin geplant und aufgebaut?

© A. Meschede/TU Bergakademie Freiberg

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Die Rohstoffküche: Entdecke Rohstoffe im Alltag!

Zahlreiche interaktive Elemente, wie eine große magnetische Weltkarte, Touchpads oder auch ein Baggersimulator unterstützen die Vermittlung von Wissen über das Rohstofffundament unseres Lebens. Der Besucher wird auf acht Stationen, die den Planeten Erde, Deutschland und die eigene Lebenswelt umfassen, in die vielschichtige Welt der Rohstoffe eingeführt.

Was verbrauchen wir?

Den Anfang der Reise markieren zwei Koffer. Sie stehen für den Pro-Kopf-Rohstoffverbrauch eines indischen und eines deutschen Durchschnittslebens. Acht Kilogramm werden 44 Kilogramm – nicht nur dem Gewicht, sondern auch der Größe nach – gegenübergestellt. Das Farbkonzept wird durch die vier Farben – orange, blau, grün und rot – bestimmt. Jede Farbe steht für eine der Rohstoffgruppen: Baurohstoffe/Industrieminerale, Metallrohstoffe, Biologische Rohstoffe und Energierohstoffe.

Was steckt wo drin?

Die Vielfalt der genutzten Rohstoffe wird durch zahlreiche Beispiele aus unserem Alltag deutlich. Ob Küche, Büro, Kleiderschrank oder unsere Mobilität – die als „Rohstoffküche“ bezeichnete Station macht die Rohstoffintensität unseres Lebens begreifbar.

Was braucht die Welt?

An der magnetischen Weltkarte lässt nicht nur Wissen testen, z. B. zu der Frage, welche zehn Länder Bergbau- oder Rohstoffimportweltmeister sind, sondern auch, um zu sehen, welche Länder pro Person wie viel mineralische und energetische Rohstoffe konsumieren. Ein großer Gesteinsblock verdeutlicht, wie viel Material abgebaut und aufbereitet werden muss, um zwei Gramm Gold zu gewinnen.

Wie gewinnt man?

In Form eines Panoramas wird der Weg der Rohstoffe hinein in unseren Alltag aufgezeigt. Ein grafischer Ablauf von ihrer Entstehung, Erkundung, Gewinnung und Aufbereitung bis hin zur Rekultivierung des hinterlassenen Areals bietet mit kurzen Texten einen Gesamtüberblick. Wissensdurstige können an einem Touchscreen in Form eines Pults – mit kurzen Videos und Bildmaterial – „tiefer schürfen“. Unter dem Titel „Moderner Bergbau“ werden stichprobenartig zukünftige Forschungsrichtungen dargestellt - von der sanften Erkundung primärer Lagerstätten über die Nutzung von Abfallstoffen bis hin zur Rohstoffsuche in der Tiefsee und im Weltall. An einem Baggersimulator kann man seine eigenen bergmännischen Fähigkeiten testen.

Alles bleibt anders

Rohstoffbedarfe ändern sich. Es gibt Rohstoffe, die zunächst unersetzbar scheinen, aber später kaum noch Relevanz besitzen. Die Gründe dafür sind unterschiedlich: Der Eiffelturm wäre dank neuer Berechnungsverfahren und Materialien heute drei Mal leichter zu bauen als seinerzeit – oder: Glasfaserkabel haben für die Datenübertragung eine deutlich

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Wie kommen Rohstoffe aus der Erde in den Alltag? Geo-Berufe mit Zukunft!

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Förderband „Seltene Erden“: welche Elemente sind das und wozu werden sie gebraucht?

© Detlev Müller/TU Bergakademie Freiberg

Sonne und Wind stellen keine Rechnung?
Kohle auch nicht! Rohstoffbedarf für die Energiewende!

bessere Funktionalität als Kupfer. An Seltenen Erden und Sand werden die Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften und der Nutzung eines Materials aufgezeigt. Ein drittes Modul in diesem Bereich steht unter dem Titel „Rohstoffe für die Energiewende“ und stellt an Beispielen dar, wie viel Stahl, Beton, Aluminium und Kupfer für konventionelle und regenerative Energieerzeugungsanlagen – über deren gesamten Lebenszyklus gesehen – pro Kilowattstunde eingesetzt werden, analog auch für Energiespeicher.

Rohstoffarmes Deutschland?

In Deutschland wird eine Vielzahl von mineralischen Rohstoffen primär aus Lagerstätten abgebaut. Auf Grundlage der bekannten „Rohstoffschlange“ werden – unter Einbeziehung der biologischen Rohstoffe – die Verbrauchsmengen und sonstige interessante Fakten zu allen diesen Rohstoffen dargestellt. Auf einer Karte und auf einem Touchpad können die Besucher selbst recherchieren, welche Rohstoffe es in ihrer Nähe gibt und gewonnen werden. Dem gegenüber stehen die Rohstoffimporte. Ein Rohstoffreisetagebuch verdeutlicht, dass wir mit unserem Konsum für Luftverschmutzung, Trinkwasserbelastung und anderen Umweltschäden in den zumeist armen Lieferländern mitverantwortlich sind.

Ich packe meinen Koffer …

Getreu dem Spiel „Ich packe meinen Koffer“ können die Besucher selbst auswählen, welche vier Rohstoffe sie aus einem begrenzten Angebot auf ihre Reise mitnehmen würden. Sie erfahren nach ihrer Wahl, welche Alltagsbedarfe sie damit decken könnten.

Was können wir tun?

Ein Kurzfilm mit Aussagen von Professoren, Unternehmern und Schülerinnen und Schülern zur Zukunft der Rohstoffe, ein Spiel und eine Feedbackwand „In welcher Welt wollen wir leben?“ runden die Rohstoffreise ab.

Meinungen

An der Zettelwand „In welcher Welt will ich leben?“ finden sich spontane Kurz-Rückmeldungen der Besucher. Eine davon ist: „Hier kann man auch als 73-Jähriger noch etwas lernen!“ Eine Bestätigung für uns sind auch die Rückfragen, die vor Ort gestellt werden – oder, wenn Besucher spontan doch längere Zeit in der Ausstellung verbringen. Manche kommen gern mit Freunden und Verwandten wieder. Eine systematische Befragung der Besucher hat im August 2020 begonnen. Zum Redaktionsschluss dauerte die Auswertung noch an.

Ausblicke

Die Ausstellung soll zur Positionierung Freibergs als gern besuchtem Ort beitragen und rückt scheinbar Alltägliches im Kontext unseres Lebens für einen Moment in den Vordergrund. Für Schülergruppen werden Führungen von bis zu 90 Minuten sowie Arbeitsmaterialien angeboten. Grundsätzlich ist die Ausstellung so konzipiert, dass sie auch an anderen Orten gezeigt werden könnte. Während der Entwicklung des Ausstellungskonzepts wurde umfangreiches Datenmaterial zusammengetragen und aufbereitet. Daraus entstand zunächst eine informative Begleitbroschüre. In einem nächsten Schritt soll ein unterhaltsames Fachbuch zu all den spannenden Rohstoffthemen veröffentlicht werden.

Informationen zum Besuch

Der Eintritt ist zu den Öffnungszeiten frei. **Öffnungszeiten:** Mittwoch bis Freitag von 10 bis 16 Uhr, Sonnabend und Sonntag 10 bis 15 Uhr

Änderungen und weitere Informationen werden auf der Homepage stets aktuell gehalten:

tu-freiberg.de/vom-salz-des-lebens

Literatur:

[1] Kleeberg, K.; Drebenstedt, C. (2019) Bergbau in der schulischen Bildung – Stand und Entwicklungen. Mining Report Glückauf 155, Nr. 6, S. 577–587.

SACHSEN

Die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ wird mitfinanziert durch für die Realisation der Rohstoffstrategie vorgesehene Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushalts.

Die Sammlung Siegfried Flach in den Geowissenschaftlichen Sammlungen

Andreas Massanek, Christin Kehrer, Birgit Gaitzsch, Michael Gäbelein, Karin Rank, Gerhard Heide[1]

Im Dezember 2011 reiste der Kanzler der TU Bergakademie Freiberg, Dr. Andreas Handschuh, gemeinsam mit dem Chemnitzer Prof. Dr. Friedrich Naumann nach Damme in Norddeutschland. Der Grund der Fahrt war ein Angebot von Siegfried Flach, der TU Bergakademie Freiberg seine umfangreiche und hervorragend dokumentierte Sammlung verkaufen zu wollen.

Der Kanzler war von der Qualität so wie von der Bedeutung der Sammlung für Forschung und Lehre schnell überzeugt. Da die Preisvorstellungen im hohen sechsstelligen Bereich lagen, schlug der Kanzler vor, dass Flach doch die teuersten Stufen verkaufen könnte, so dass für die TU Bergakademie eine erschwingliche Summe übrigbliebe. Das lehnte Flach zunächst ab, da er seine Sammlung nicht zerreißen wollte. Die Beschaffung der notwendigen Finanzen war dann doch sehr schwierig und zog sich lange hin, so dass Siegfried Flach, der nun mittlerweile 85 Jahre alt war, begann, Stufen zu veräußern. Deshalb reiste der Kustos der Mineralogischen Sammlungen, Andreas Massanek, im September 2014 nach Damme, um neu zu verhandeln. Man einigte sich auf den Ankauf von 50 Stufen. Der überwiegende weitere Bestand sollte dann als Schenkung nach Freiberg kommen. Das Rektorat stimmte dieser Einigung zu, so dass von Mai bis August 2015 die Transporte nach Freiberg rollen konnten. *(Abbildung 1).*

Foto: Izabela Massanek

Abb. 1: Siegfried Flach mit Kustos Andreas Massanek beim Verladen der Sammlung zum Transport nach Freiberg im August 2015

1 Alle Autoren: TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen

Foto: Dr. Liselotte von Borstel

Abb. 2: Siegfried Flach im Kreise der Sammlungsmitarbeiter in der Ausstellung der Mineralogischen Sammlung der TU Bergakademie Freiberg im Oktober 2017

Der zwischenzeitliche Verkauf von Stufen, darunter Silberminerale in einer Qualität, die so auch nicht in der Sammlung von Frau Dr. Pohl-Ströher zu finden sind, wurde von den Sammlungsmitarbeitern sehr bedauert.

Die Sammlung umfasste ursprünglich weit über 8.000 Mineralstufen, Erzanschliffe und Gangstufen von erzgebirgischen Lagerstätten und stellte damit eine der wohl umfassendsten und wertvollsten Privatsammlungen auf diesem Gebiet dar, die Siegfried Flach vor allem seit den 1950er Jahren zusammengetragen hatte. Die Schwerpunkte der Sammlung sind die Lagerstättendistrikte von Freiberg, Marienberg, Pöhla, Zschopau, Ehrenfriedersdorf, Schlema-Alberoda-Hartenstein und Schneeberg. Vom Freiberger Revier hatte er mehr als 1.000 Stufen. Dazu gehören die bekannten Silberminerale, wie gediegen Silber, Argentit, Akanthit, Freibergit, Pyrargyrit, Miargyrit und Proustit *(Abbildungen 3, 4).* Von den wichtigen Erzmineralen sind schöne Galenitkristalle und Sphalerit in verschiedenfarbiger Ausbildung zu nennen, die vor allem aus der Grube Beihilfe in Halsbrücke stammen. Dasselbe Bergwerk ist auch durch blauen und gelben Fluorit, weiße Barytkristalle und verschiedene Quarzvarietäten vertreten. Aus der Gegend von Marienberg stammen etwa 500 Stufen. Hier sind ebenfalls Fluorit und Baryt zu erwähnen, aber auch verschiedene Silberminerale. In der Grube Heilige Dreifaltigkeit in Krumhermersdorf bei Zschopau wurde Bleiglanz

Fotos (3): Andreas Massanek

Abb. 3: Akanthit pseudomorph nach Silber mit Silber, Galenit, Siderit, Wiedergefunden Glück Stehender, Grube Himmelsfürst, Brand-Erbisdorf bei Freiberg, Sachsen, 6 × 5 cm

Abb. 4: Siderit pseudomorph nach Calcit, auf Galenit, Grube Himmelsfürst, Brand-Erbisdorf bei Freiberg, Sachsen, 14,5 × 8 cm

Abb. 5: Quarz, Japaner-Zwilling, Prinzler Gangzug, 4. Sohle, Gangstrecke 4400-Ost, Grube Sauberg, Ehrenfriedersdorf, Erzgebirge, Sachsen, 6 × 3,5 cm

abgebaut. Durch Sekundärprozesse sind daraus Minerale wie Cerussit, Anglesit und Pyromorphit entstanden. Letzteres Mineral, das hier vor allem grüne, seltener auch gelblich-grüne und bräunliche hexagonale Kristalle bildet, wurde von dieser Fundstelle weltweit zuerst beschrieben und kommt in der Flachschen Sammlung mehrfach vor. Eine seiner Lieblingsfundstellen war die Grube Sauberg in Ehrenfriedersdorf *(Abbildungen 5, 6.)* Zu den dortigen Bergleuten unterhielt Siegfried Flach enge Beziehungen und war auch Mitglied im ortsansässigen Verein

der Berggrabebrüderschaft. Von dieser Lagerstätte sind in seiner Sammlung 1.450 Belege vorhanden. Cassiteritstufen mit cm-großen Kristallen, die zum Teil verzwillingt sind, verschiedenfarbiger Fluorapatit und Fluorit, Bergkristall, Siderit und Gilbertit sind hier hervorzuheben. Ein nahezu massives Stück Silber von mehr als 3,6 kg Gewicht, das nur wenig Arsen enthält, stammt aus der polymetallischen Skarnlagerstätte Pöhla *(Abbildung 7)*. Unter den mehr als 500 Objekten von dieser Lokalität befinden sich auch Minerale wie honiggelber Baryt, Fluorit, Markasit, Nickelin, gediegen Arsen mit Proustit, aber auch Begleitminerale wie Aktinolith, Hedenbergit und Axinit. Aus dem Osterzgebirge sind vor allem Minerale aus den Zinnlagerstätten um Altenberg und Zinnwald aufzuführen, wie Cassiterit, Wolframit, Rauchquarz *(Abbildung 8)* als auch die Topasvarietät Pyknit. Den Hauptschwerpunkt seiner Sammlung machen jedoch Minerale aus der Gegend um Bad Schlema und Schneeberg aus. Das zeigt sich bereits an der beeindruckenden Zahl von mehr als 4.000 Stufen aus dieser Gegend. Den größten Anteil hat hier das Revier Schlema-Alberoda-Hartenstein mit mehr als 3.500 Stufen. Die größte Stufe aus dieser Sammlung ist fast 50 cm breit und besteht aus hochglänzenden Chalkopyritkristallen, die auf Siderit und Quarz sitzen *(Abbildung 9)*. Weiterhin sind Minerale aus der sogenannten Bismut-Cobalt-Nickel-Assoziation aufzuführen, wie gediegenes Wismut, Skutterudit, Nickelskutterudit, Safflorit, Rammelsbergit und Nickelin. An Gangmineralen sind verschiedene Carbonate wie Calcit, Dolomit und Siderit zu nennen, wobei die beiden letztgenannten Minerale auch als Pseudomorphosen nach Calcit auftreten können. Dazu kommt Baryt in unterschiedlichen Kristallformen, wobei der taflige Habitus überwiegt. Von dieser Lagerstätte sind auch viele Silbermineralе vorhanden. Silber kommt hier typisch lockenförmig, aber auch in dendritischer Ausbildung, dann meist mit Arsen verwachsen, vor. An weiteren Silbermineralen sind Allargentum, Dyskrasit, Stephanit, Pyrargyrit und die rot durchscheinenden Proustite hervorzuheben. Eine Rarität ist das Arsensulfid Realgar *(Abbildung 10)*. Die Lagerstätte Schneeberg ist unter Mineralogen nicht nur für die hier abgebauten reichen Silber- und Cobalterze bekannt, sondern vor allem durch die zahlreichen durch Oxidationsprozesse hervorgebrachten Mineralneubildungen.

Abb. 6: Cassiterit-Zwillinge mit Gilbertit, Fluorapatit, Molybdänit, Unverhofft Glück Gangzug, 5. Sohle, Grube Sauberg, Ehrenfriedersdorf, Erzgebirge, Sachsen, 7 × 4,5 cm

Abb. 7: Silber (fast massiv) mit wenig Arsen (1,6 kg), Erzfeld Tellerhäuser NW, Strecke 922/921, Querschlag 9209 NW, +120m-Sohle, Abbaublock 0985, Trum Schildbach, Pöhla, Erzgebirge, Sachsen, 14 × 7 cm

Fotos (5): Andreas Massanek

Abb. 8: Rauchquarz, Zinnwaldit, Petri-Schacht, Zinnwald, Erzgebirge, Sachsen, 17 × 12 cm

Abb. 9: Chalkopyrit mit Siderit auf Quarz, Gang Gold II, 1305m-Sohle, Strecke 45B, Feldstrecke 1783, Südostflanke, Schacht 366, Aue-Alberoda (aus der sogenannten Fritsch-Druse), Erzgebirge, Sachsen. Fund 1.11.1981, Größe: 49 × 20 cm

Viele davon wurden, weltweit gesehen, zuerst in Schneeberg entdeckt, und die meisten von ihnen finden sich auch in der Sammlung von Siegfried Flach. Dazu zählen zum Beispiel die Cobaltminerale Erythrin und Roselith sowie die Bismutminerale Pucherit, Atelestit, Bismutit, Bismutoferrit und Eulytin.

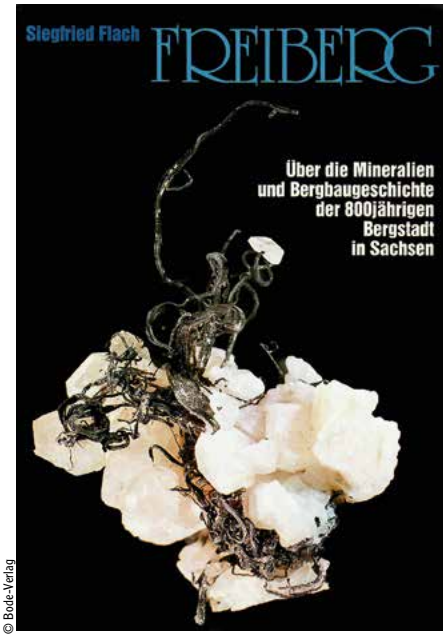
Siegfried Flach legte besonderen Wert auf genaueste Angaben zu den Gangformationen und Fundorten und baute somit eine Dokumentation des sächsischen Erzbergbaus in seiner letzten Blütephase auf. Akribisch forschte er im wissenschaftlichen Altbestand der Universitätsbibliothek in Freiberg und unterhielt wertvolle Kontakte zum Archiv der SDAG Wismut bzw. der Wismut GmbH und zu ehemaligen Grubengeologen und Bergleuten. Sehr hilfreich war dabei seine Mitgliedschaft in der Ehrenfriedersdorfer Berggrabebrüderschaft und seine langjährige Freundschaft mit Wissenschaftlern wie Ulrich Lipp aus Schneeberg oder Friedrich Naumann aus Chemnitz. Seine Erkenntnisse widerspiegeln sich unter anderem auch in Veröffentlichungen, z. B. dem EMSER HEFT über Schneeberg[2], dem Buch über den 800jährigen Silberbergbau in Freiberg[3] *(Abbildung 11)* und einer Bergbaumonographie über Schlema-Alberoda,

2 Flach, 1982
3 Flach, 1986

Abb. 10: Realgar auf Arsen, Gang Nelson I, 720m-Sohle, Strecke 8012, unterhalb Durchschuss zur 675m-Sohle, Schacht 366, Aue-Alberoda, Erzgebirge, Sachsen, 6 × 5 cm

die vom LfUG Sachsen herausgegeben wurde.[4] Im Juni 1996 konnte er Teile seiner Sammlung im Foyer der Geowissenschaftlichen Sammlungen im Wernerbau präsentieren. Das war ein großer Moment für ihn nicht nur, weil sie vom Rektor Prof. Stoyan und dem Dekan Prof. Walde eröffnet wurde, sondern, weil dies auch die erste Sonderausstellung nach der politischen Wende war *(Abbildungen 12, 13)*. Dadurch ist seine Sammlung auf hohes wissenschaftliches Interesse gestoßen – sowohl an der TU Bergakademie als später auch am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologien.

4 Lipp & Flach, 2003



© Bode-Verlag

Abb. 11: Das Titelblatt seines Buches über die Minerale und den Bergbau von Freiberg mit einer prächtigen Silberstufe aus seiner Sammlung

Foto: Karin Rank

Abb. 12: Einer seiner größten Momente – die Eröffnung seiner Sonderausstellung in den Räumen der Geowissenschaftlichen Sammlungen in Freiberg am 14. Juni 1996

Doch damit nicht genug. Im Mai 2016 erwarb er die wissenschaftlich wertvolle Lagerstätten-Sammlung des im Text schon erwähnten Mineralogen Ulrich Lipp aus Schneeberg und schenkte sie den Geowissenschaftlichen Sammlungen. Lipp war als Sachgebietsbeauftragter für Mineralogie im Objekt 09 (Bergbaubetrieb Aue) der SDAG WISMUT eingesetzt und sein Tätigkeitsbereich war unter anderem die Erfassung und Untersuchung der Begleiterzkomponenten (Bismut-, Cobalt-, Nickel- und Silbererze) in der Uranerzlagerstätte Schlema-Alberoda. Von ihm hat Siegfried Flach viele der Minerale aus diesem Bergbaugebiet mit genauesten Fundortangaben erhalten. Lipp fand auch eine Selenidvererzung, von der er einige Proben Siegfried Flach schenkte. In diesem Material wurde durch Förster et al. das neue Selenidmineral Schlemait entdeckt und darüber im Jahr 2003 veröffentlicht *(Abbildung 14)*. Flach sammelte selbstverständlich auch Uranminerale, da diese zu einer vollständigen Lagerstättensammlung dazugehören. Davon sind aber nur wenige Stufen nach Freiberg gekommen, da er in der unklaren Phase der Zukunft seiner Sammlung diese Suite an die Sammlung der Wismut GmbH übergeben hatte. Große Teile dieser Schenkung sind seitdem im Museum auf der Schachtanlage 371 in Hartenstein, die heute zum Welterbe zählt, ausgestellt.

Siegfried Flach bereicherte 2017 die Geowissenschaftlichen Sammlungen ein weiteres Mal: Er kaufte die Sammlung

© TU Bergakademie Freiberg

Abb. 13: Das Plakat zur Sonderausstellung 1996

Hunger aus Zwickau, in der sich der größte bekannte Aquamarinkristall von Edelsteinqualität, der jemals in Deutschland gefunden wurde *(Abbildung 15)*, befand. Dieser Kristall wurde in Irfersgrün im sächsischen Vogtland geborgen. Diese Sammlung enthält unter anderem einen blauen Topas von Wolfersgrün und einige Silberstufen aus Schlema *(Abbildung 16)*.

2018 wurde den Geowissenschaftlichen Sammlungen eine etwa 500 Stufen umfassende Lagerstättensammlung aus dem Mansfelder Kupferschieferrevier angeboten. Das war zwar nicht das Sammelgebiet von Siegfried Flach, doch als er von dem Händler erfuhr, dass uns die Mittel für

Foto: Andreas Massanek

Abb. 14: Schlemait, Bohdanowiczit, Eukairit, Berzelianit, Tiemannit, Umangit, Clausthalit, Löllingit, Dolomit-Ankerit, Gang Tiber, 855m-Sohle, Block 5128, (Fund U. Lipp 1960), Schacht 371, Schlema-Hartenstein, Erzgebirge, Sachsen, 5 × 4 cm

Foto: Andreas Massanek

Abb. 15: Aquamarin, Turmalinschurf Irfersgrün bei Lengenfeld, Vogtland, Sachsen, Kristall 8,5 cm lang. (Der größte Aquamarin in Edelsteinqualität aus Deutschland!)

den Ankauf fehlten, machte er uns kurzerhand eine Überraschung und erwarb die Sammlung für Freiberg. Neben den typischen Kupferschieferproben, die ein sogenanntes Erzlineal enthalten, welches meistens aus Kupfersulfiden besteht, ist hier auch eine ganze Reihe von Raritäten dabei. Gediegenes Silber, sowohl blech- als

Foto: Andreas Massanek

Abb. 16: Silber auf Dolomit, Schacht 38, Niederschlema, Erzgebirge, Sachsen. Ausschnitt, Breite 6 cm

Foto: Susanne Baldauf

Abb. 17: Silber (440 g massiv in Calcit), Wolfschacht, Volkstedt, Eisleben, Mansfeld-Südharz, Sachsen-Anhalt, 11,5 × 9 cm

Foto: Susanne Baldauf

Abb. 18: Chalkopyrit mit Calcit, Thomas-Müntzer-Schacht, Sangerhausen, Mansfeld-Südharz, Sachsen-Anhalt, Kristall 16 mm lang

auch lockenförmig, ist an dieser Stelle hervorzuheben.

Ein besonders massives Silberstück von 440 Gramm *(Abbildung 17)* stammt aus einem Fund im Wolfschacht in Volkstedt. Ein vergleichbares, aber deutlich kleineres Stück ist nur noch aus dem Museum für Naturkunde Berlin bekannt. Aus dem Thomas-Müntzer-Schacht in Sangerhausen sind weitere Seltenheiten zu erwähnen: bis zu 16 mm lange Chalkopyritkristalle *(Abbildung 18)* und 2 cm große Quarze, die als Bergkristall ausgebildet sind.

Siegfried Flach interessierte sich jedoch nicht nur für Minerale und die Bergbaugeschichte seiner alten sächsischen Heimat und ihrer Umgebung. Auch in der Nähe seiner Wahlheimat Damme gab es eine Reihe von interessanten geologischen Aufschlüssen. Durch die Beschäftigung mit diesen erschloss er sich ein weiteres Hobby – die Anfertigung von sogenannten Lackabzügen. Das ist eine Technik, die es ermöglicht, Lockergesteine in situ zu präparieren, zu konservieren und letztlich zu archivieren. Die aus der Saale-Vereisung stammende Dammer Stauchmoräne ergab genügend Motive für Hunderte von Lackabzügen, die heute in vielen Sammlungen und Museen weltweit anzutreffen sind. Den Höhepunkt bildete ein riesiger archäologischer Lackabzug in der Größe von 71 Quadratmetern, der 1996 nach dem Abpräparieren eines sogenanntes Schlüssellochgrabs aus der Bronzezeit für das Museum in Vechta entstand[5] *(Abbildung 19)*. Diese in Jahrzehnten erlernten Fertigkeiten gab er selbstverständlich an jüngere Generationen weiter. Er unterwies Mitarbeiter der Geowissenschaftlichen Sammlungen und des Instituts für Geologie der TU Bergakademie im Gelände, so dass heute auch Studenten in Freiberg diese Techniken erlernen können *(Abbildung 20)*.

5 Bode & Hamann, 2012

Foto: Karin Rank

Abb. 19: Siegfried Flach vor einigen seiner Lackabzüge im Rathaus Damme im April 2010

Foto: Karin Rank

Abb. 20: Siegfried Flach unterweist die Kustodin der Stratigraphischen Sammlung der TU Bergakademie Freiberg in der Herstellung von Lackabzügen, hier im Kiestagebau Frohnsdorf bei Altenburg im Juli 2007.

Foto: Karin Rank

Abb. 21: Siegfried Flach mit seiner Uranglassammlung, die er im August 2013 an die Bergakademie gegeben hat.

Neben seinen Interessen für die Mineralogie und Geologie hatte Siegfried Flach ein drittes Steckenpferd: Er liebte es, auf Flohmärkte zu gehen und nach ganz bestimmten Glas- und Keramikgegenständen Ausschau zu halten. Seine Faszination für Uranminerale führte dazu, dass er sich auch für durch Uranverbindungen gefärbtes Glas bzw. Glasuren interessierte. Eine mehr als 100 Objekte umfassende Sammlung konnten Karin Rank und Dr. Christin Kehrer im August 2013 von ihm in Empfang nehmen *(Abbildung 21)*. Urangläser gibt es schon seit der spätrömischen Zeit, obwohl man sich damals natürlich noch nicht der Farbursache bewusst war.

1789 entdeckte Klaproth das Element Uran und erkannte schnell, dass sich Oxide und andere Verbindungen des Urans zum Färben von Gläsern und Glasuren eignen. Im 19. Jahrhundert erreichte dann die Produktion dieser Objekte

ihren Höhepunkt, vor allem in Böhmen, Frankreich, Belgien, England und in den USA. Während die Gläser meist grüne, grünlich-gelbe oder gelbe Farbtöne aufweisen, ist die Farbpalette bei den Glasuren auf Keramiken viel größer. Hier reichen die Farben von zitronengelb und orange über rot und grün bis braun, blau und schwarz. Grün, Braun und Schwarz ergibt sich unter neutralen bis reduzierenden Brennbedingungen unter Zugabe von Cobalt-, Chrom-, Eisen- oder Manganoxiden. Gelb, Orange und Rot entstehen unter oxidierenden Brennbedingungen. Blau kann durch Zugabe von Cer- und Cobaltoxid erreicht werden.

Besonders attraktiv erscheinen die Glasgegenstände bei Bestrahlung mit sogenanntem Schwarzlicht, einem langwelligen UV-Licht von 390 bis 405 nm. Diese Wellenlängen regen das Uranylion zur Fluoreszenz in gelben und grünen Farben an. Der hohe Blauanteil macht sich in den Fotografien deutlich bemerkbar. *(Abbildungen 22 bis 24).*

Abb. 22: Auswahl von Urangläsern bei Leuchtstofflampenlicht

Fotos (3): Andreas Massanek

Abb. 23: Die gleichen Gläser lumineszieren unter Schwarzlicht.

Abb. 24: Auswahl von Keramiken mit Uranglasuren

Quellen:

Bode, R.; Hamann, S.: Sammler-Porträt: Spezialist fürs Erzgebirge: Siegfried Flach. – In: Mineralienwelt 23 (2012)4, S. 68–75

Flach, S.: Zum 500jährigen Jubiläum der Bergstadt Schneeberg. – In: Emser Hefte, Bode Verlag, Bochum (1982) 80 S.

Flach, S.: Freiberg. Über die Mineralien und Bergbaugeschichte der 800jährigen Bergstadt in Sachsen. Doris Bode Verlag, Haltern (1986) 111 S.

Förster, H.-J.; Cooper, M. A.; Roberts, A. C.; Stanley, C. J.; Criddle, A. J.; Hawthorne, F. C.; Laflamme, J. H. G. & Tischendorf, G.: Schlemaite, $(Cu,\square)_6(Pb,Bi)Se_4$, a new mineral species from Niederschlema-Alberoda, Erzgebirge, Germany: Description and crystal structure. – In: The Canadian Mineralogist, 41 (2003) S. 1433–1444

Lipp, U. mit Ergänzungen durch Flach, S.: Wismut-, Kobalt-, Nickel- und Silbererze im Nordteil des Schneeberger Lagerstättenbezirkes. Schriftenreihe Bergbau in Sachsen/Bergbaumonographie, Band 10, Herausgeber Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Januar 2003, 210 S.

Massanek, A.: Die Ulrich-Lipp-Sammlung jetzt in Freiberg, Sachsen. – In: Mineralienwelt 28 (2017)1, S. 26–29

Massanek, A.; Gäbelein, M.; Heide, G.: Der Ehrenbürger der TU Bergakdemie, Siegfried Flach, wurde 90 Jahre alt. – In: Acamonta, 24 (2017) S. 159

Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg verstorben – Trauer um Siegfried Flach

Am 19. Mai 2020 schloss der bekannte Sammler erzgebirgischer Minerale, Siegfried Flach, nach langer schwerer Krankheit im Alter von 93 Jahren für immer seine Augen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg trauern um einen Menschen, der sich über Jahrzehnte als Partner und Freund zum Wohl der TU Bergakademie eingebracht hat.

Die Kontakte zu ihm reichen weit bis in die 1970er Jahre zurück. Siegfried Flach war einer der wenigen Mineralsammler aus dem westlichen Teil Deutschlands, der intensive Verbindungen zu Sammlern und Museen in der ehemaligen DDR pflegte. Durch ihn konnten auf dem Wege des Tausches viele Lücken in der Systematikabteilung der Mineralogischen Sammlung der Bergakademie geschlossen, aber auch weltweit attraktive Neufunde erworben werden. Nach der politischen Wende wurde die Zusammenarbeit deutlich intensiver. Sie gipfelte vorerst im Jahr 1996 in einer Sonderausstellung, bei der die interessantesten Minerale aus seiner Sammlung in Freiberg präsentiert wurden. In den Folgejahren gastierte er mehrfach in Freiberg, um im sogenannten Urandepot auf dem Gelände des Forschungs- und Lehrbergwerks Reiche Zeche mit seinem umfangreichen Wissen zur Erschließung der Sammlung der SDAG Wismut, die der Bergakademie in den 1950er Jahren übergeben wurde, beizutragen. Aber auch die Studenten und Mitarbeiter im Geologischen Institut profitierten von seinem Wissen und seinen Fertigkeiten. So demonstrierte er mehrfach die Anfertigung von Lackprofilen. In studentischen Praktika wird dieses Wissen auch heute noch weitergegeben. Mehrere großformatige Lackabzüge, die in der Ausstellung im Institut für Geologie im Humboldtbau zu bewundern sind, hat Siegfried Flach als Dauerleihgaben zur Verfügung gestellt. Für diese vielfältigen Aktivitäten zu Gunsten der Lehre und Forschung im Bereich der Geowissenschaften wurde Siegfried Flach im Jahr 2002 der Titel „Ehrenbürger der TU Bergakademie Freiberg“ verliehen. Auch danach blieb er aktiv und hielt engen Kontakt zu den Sammlungsmitarbeitern. Er stiftete eine bemerkenswerte Sammlung von Urangläsern und Urankeramiken sowie seine bedeutende Lagerstättensammlung. Vor drei Jahren weilte Siegfried Flach das letzte Mal im Erzgebirge und besuchte seine alten Sammlerfreunde und natürlich auch die Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie *(Abbildung 2 auf S. 124)*. Hier konnte er sich von der Unterbringung und vom Stand der Inventarisierung seiner umfangreichen Sammlungen überzeugen. Zur Sonderschau „Wer sammelt, schreibt Geschichte“ während der Mineralientage München im letzten Jahr wurde seine Sammlung einem breiten Kreis von Interessenten vorgestellt. Darüber hat er sich sehr gefreut.

Siegfried Flach wurde am 24. März 1927 in Chemnitz geboren, wo er auch seine Schulausbildung erhielt. 1944 beendete er mit Erfolg eine Verwaltungslehre. Danach wurde er zum Segelflugzeugführer ausgebildet und anschließend zur Luftwaffe einberufen. Im Mai 1945 geriet er in englische Gefangenschaft und wurde in Ostfriesland interniert. 1946 kam er in Damme in Oldenburg zu einem Bombensprengkommando. Der Ort wurde seine neue Heimat. Hier absolvierte er eine zweite Lehre als Maurer und arbeitete dann viele Jahre auf dem Bau. 1950 heiratete er seine Frau Edith. Aus der Ehe gingen zwei Söhne und eine Tochter hervor. Am 1. August 1967 wechselte er als Hoch- und Tiefbautechniker in die Stadtverwaltung Damme. Hier arbeitete er bis zu seiner Pensionierung Ende März 1990.

Die Rettung einer Spezialbibliothek

Stefanie Nagel[1]

Am 22. Juli 2020 sind sie angekommen, die letzten der mehr als 4.000 Umzugskartons. Die Überführung einer der ältesten metallurgischen Spezialbibliotheken von Düsseldorf nach Freiberg ist damit abgeschlossen. Es handelt sich um die über 150 Jahre gewachsene Sammlung von Büchern, Zeitschriften und unveröffentlichten Manuskripten mit den Themenschwerpunkten „Eisen und Stahl" des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh). Der Verein wurde 1860[2] in Düsseldorf von deutschen Ingenieuren des Eisenhüttenwesens und Hüttendirektoren mit dem Ziel gegründet, der mit der allgemeinen Weltwirtschaftskrise (1857–1861) einhergehenden Krise der deutschen Eisen- und Stahlindustrie entgegenzuwirken und die Konkurrenzfähigkeit der Branche gegenüber den ausländischen Herstellern zu steigern.[3]

Technisches Fachwissen im Fokus

Neben dem Erfahrungsaustausch und dem wirtschaftspolitischen Engagement stand von Anfang an die Erfassung, Dokumentation und Verbreitung von technischem Fachwissen im Fokus der Vereinsarbeit. Um die zeitnahe fachliche Kommunikation zu fördern und seine Mitglieder über die vielfältigen in- und ausländischen Publikationen zu unterrichten, gab der VDEh ab Juli 1881 die Vereinszeitschrift „Stahl und Eisen" heraus. Über die Buchbesprechungen und den Abdruck von Auszügen (teilw. in Übersetzung) aus anderweitig veröffentlichten Schriften hinaus, konnte der Verein seinen Mitgliedern zunehmend Fachbeiträge von Professoren und Spezialisten aus der betrieblichen Praxis bieten. Die Zeitschrift „Stahl und Eisen" etablierte sich schnell als einschlägiges Fachorgan und informiert noch heute regelmäßig über die neuesten technischen und wissenschaftlichen Forschungsergebnisse sowie über die aktuellen politischen und marktspezifischen Entwicklungen in Bezug auf die Eisen- und Stahlindustrie.

Der VDEh reagierte 1905 zudem auf

Foto: Susanne Kandler

Ankunft der Bücher und Zeitschriften in Freiberg

die stark gestiegene Nachfrage nach technischen Fachbüchern und -zeitschriften mit der Gründung der ersten öffentlichen eisenhüttenmännischen Fachbibliothek. Dem rasanten technischen Fortschritt, der die Ausdifferenzierung der technisch-wissenschaftlichen Disziplinen beförderte, stand im 19. Jahrhundert zunächst ein Mangel an wissenschaftlich qualifizierten Technikern gegenüber. In Folge der Ausweitung der naturwissenschaftlich-technischen Ausbildung an den zahlreichen neu gegründeten Ingenieursschulen, technischen Gewerbeschulen und polytechnischen Hochschulen im deutschsprachigen Raum wuchs auch der Bedarf an entsprechender technischer Fachliteratur. Dieser konnte allerdings weder von den Bibliotheken der noch relativ jungen technischen Einrichtungen selbst noch von jenen der etablierten, stark geistes- oder naturwissenschaftlich ausgerichteten Universitäten gedeckt werden. Angesichts der stetig wachsenden Flut an Veröffentlichungen sahen sich zudem die Unternehmen der Stahlindustrie nicht länger in der Lage, auch nur die wichtigste Literatur für ihre Werksbibliotheken anzuschaffen und sachgerecht zu verwalten.

Von der Handbibliothek eines Vereins zur Spezialbibliothek für alle

Die Lösung dieses Problems lag im Ausbau der etwa 9.000 Monografien und Zeitschriften umfassenden Handbibliothek des VDEh zu einer öffentlich zugänglichen Spezialbibliothek. Anfangs durch den preußischen Staat, später durch Mitgliedsfirmen, Sachstiftungen und Unternehmen finanziert, wurde fortan die Sammlung und Erschließung von Literatur zu den Forschungsgebieten der Eisen- und Stahlherstellung, der Oberflächenbehandlung, der Werkstoff-, Anwendungs-, Umform- und Anlagentechnik sowie für die Forschungsfelder Umwelt, Energie, Statistik und Wirtschaft vorangetrieben. Durch die Nähe zur Industrie gehören auch Informationen zu Unternehmen, Firmenzeitschriften und -profilbücher sowie „graue" Literatur, wie Dissertationen, Forschungsberichte und andere Industrieschriften, die nie publiziert wurden, zum Bestand. Auf diese Weise bildete sich eine weltweit einmalige Spezialsammlung zur Geschichte und Gegenwart eines Technikzweigs heraus, deren Bedeutung vor allem in der inhaltlichen Dichte und Geschlossenheit sowie in ihrem Entstehungszusammenhang liegt.

Heute umfasst sie ca. 70.000 monografische Werke und ca. 90.000 Zeitschriften(bände), von denen die ältesten bis in das 16. Jahrhundert zurückreichen. Darunter befinden sich Raritäten wie die Erstausgabe von Vannoccio Biringuccios (1480–1539) *„De La Pirotechnia Libri X"* von 1540 – ein italienisches Werk, das sich erstmals der Metallurgie als Wissenschaft widmete – oder die zweite deutsche Auflage von Georgius Agricolas (1494–1555) *„Berckwerck-Buch"* von 1580. Ebenfalls sehr selten sind zwei während des Dreißigjährigen Kriegs gedruckte Schriften: die deutsche Erstausgabe von Tommaso Garzonis (1549–1589) *„Piazza universale"* von 1619 – ein Ständebuch, das die Entstehung und Entwicklung von 153 Berufen (u.a. der Bergleute) darstellt – und eine 1620 gedruckte Ausgabe der als „Sarepta" bezeichneten Fastnachtsreden für Bergleute des St. Joachimsthaler Pfarrers Johannes Mathesius (1504–1565). Neben den ältesten deutschen Periodika zum Montanwesen bietet der Altbestand des VDEh auch vollständige Jahrgänge seltener ausländischer Fachjournale aus dem 18. und 19. Jahrhundert. Hinzu kommen zahlreiche historische Fotos und handgezeichnete, großformatige Konstruktionspläne, beispielsweise von Hochofenanlagen, die ihresgleichen suchen.

Die traditionsreiche Sammlung wechselt den Besitzer

Im Januar 2019 sah sich das *Stahlinstitut VDEh* aufgrund von Personalmangel und infolge interner Restrukturierungsmaßnahmen dazu gezwungen, den Betrieb seiner traditionsreichen Bibliothek am Standort Düsseldorf einzustellen. Die aktive Suche nach einem adäquaten Nachfolger, der den bedeutenden Bestand

---

1 **Kontakt:** stefanie.nagel@ub.tu-freiberg.de

2 Zunächst unter der Bezeichnung *Technischer Verein für Eisenhüttenwesen* (TVEh) als Zweigverein dem *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) angegliedert, erfolgte 1880 die Neugründung zum eigenständigen Fachverein als *Verein Deutscher Eisenhüttenleute* (VDEh). Seit 2003 firmiert der Verein unter *Stahlinstitut VDEh*.

3 H. Maier, A. Zilt, M. Rasch, 150 Jahre Stahlinstitut VDEh. Eine Einführung, in: H. Maier, A. Zilt, M. Rasch (Hrsg.), 150 Jahre Stahlinstitut VDEh, 1860–2010 1(Essen 2010) 9–18.

übernimmt, erhält und weiterhin der Wissenschaft und interessierten Öffentlichkeit zugänglich macht, ist dem *Stahlinstitut VDEh* hoch anzurechnen. Insbesondere die wertvollen Altbestände werden im Zuge von Bibliotheksauflösungen leider immer häufiger in Auktionshäuser oder den antiquarischen Buchhandel gegeben.[4] Dass das *Stahlinstitut VDEh* nach Gesprächen mit verschiedenen branchenrelevanten Universitäten und Hochschulen die Universitätsbibliothek „Georgius Agricola" mit der Übernahme der einzigartigen Sammlung betraute, ist auch dem Einsatz von Prof. Dr.-Ing. Olena Volkova und Dr.-Ing. Bernd Lychatz vom Institut für Eisen- und Stahltechnologie der TU Bergakademie Freiberg zu verdanken, die gemeinsam mit der Bibliotheksdirektorin Susanne Kandler für den Standort Freiberg warben.[5] Zum einen konnte die TU Bergakademie Freiberg sowohl durch ihre historische Bedeutung als auch die moderne Forschung auf dem Gebiet der Eisen- und Stahltechnologie überzeugen, zum anderen die Universitätsbibliothek „Georgius Agricola" im Speziellen, da sie seit vielen Jahren die Sondersammelgebiete „Geologie, Mineralogie, Petrologie und Bodenkunde" und „Bergbau, Markscheidekunde, Hüttenwesen" betreut, aus denen 2016 der Fachinformationsdienst „Montanportal" für Bergbau, Hüttenwesen und angrenzende Gebiete hervorgegangen ist. Mit Unterstützung des Vertreters des Kanzlers Jens Then erfolgte der etappenweise Umzug der VDEh-Bibliothek nach Freiberg im Juni und Juli 2020.

Die Eingliederung in den eigenen Bestand und die notwendige Neuerschließung wird nun in den nächsten Jahren und im Zusammenhang mit dem Umzug in den Bibliotheksneubau realisiert werden. Der Umzug des digitalisierten Karteikartenkatalogs auf die Homepage der Universitätsbibliothek ist bereits erfolgt. Über https://stahllit.ub.tu-freiberg.de/ kann die übernommene Literatur für den Zeitraum 1921–1981[6] mittels Schlagwort- oder Autorenindex durchsucht werden. Zukünftig soll auch eine Volltextsuche ermöglicht werden.

Foto: Stefanie Nagel

Wertvolle alte Drucke aus dem Altbestand des VDEh

Die Erschließung der historischen Schätze

Zudem erscheint demnächst eine ausführliche Darstellung der wertvollsten historischen Bücher aus dem Tresor der ehemaligen VDEh-Bibliothek in der Reihe *Veröffentlichungen der Bibliothek „Georgius Agricola"* der TU Bergakademie Freiberg unter dem Titel „Neue Schätze für den Altbestand. Die Übernahme der Bibliothek des Vereins deutscher Eisenhüttenleute". Als kleiner Vorgeschmack sei hier kurz auf zwei außergewöhnliche ostasiatische Druckschriften aufmerksam gemacht, die nach 69 Jahren wieder nach Freiberg zurückgekehrt sind.

Der Verein deutscher Eisenhüttenleute erhielt sie im Sommer 1951 als Geschenk von Katharina Ledebur (1872–1955) – der Tochter des Freiberger Professors für Hüttenkunde und Gießereiwesen Adolf Ledebur (1837–1906), der selbst ein langjähriges Mitglied im VDEh gewesen war. Adolf Ledebur hatte zeit seines Lebens große Freude an der Erforschung der Geschichte seines Wissenschaftsgebiets, was sich in den zahlreichen von ihm verfassten Abhandlungen mit historischem Inhalt widerspiegelt. Ganz besonders faszinierten ihn zwei frühneuzeitliche Schriften aus China und Japan, auf die er dank seiner sehr guten Japankontakte Anfang der 1880er aufmerksam geworden war.[7] Es handelt sich um das dreibändige chinesische Werk *Tiangong kaiwu* von Song Yingxing (1587–1666) und die fünfbändige Druckschrift *Nihon sankai meibutsu zue* von Tessai Hirase (tätig 1748–1780). Das *Tiangong kaiwu*, das 1637 erstmals gedruckt wurde, ist eines der ältesten und wichtigsten Werke über die Wissenschaft und Technik in der Geschichte Chinas. Die 18 reich bebilderten Kapitel veranschaulichen das alte chinesische Handwerk, Chinas technologische Errungenschaften jener Zeit und die in der Landwirtschaft gesammelten Erfahrungen. Für Ledebur waren die Kapitel zur Metallgewinnung und -verarbeitung, v. a. die Darstellungen von Ofenanlagen, von besonderem Interesse. Diese in Japan sehr bekannte altchinesische Schrift gilt auch als Inspiration für das 1797 in Osaka gedruckte Werk *Nihon sankai meibutsu zue* („Illustrierter Führer zu den berühmten Produkten der Berge und Meere Japans"), das eine der wichtigsten Quellen zur Wirtschafts- und Industriegeschichte Japans für die Edo-Zeit (1600–1868) darstellt. Der erste von insgesamt fünf Bänden ist vollständig dem Bergbau und der Metallurgie (u. a. von Gold, Silber, Kupfer, Blei und Eisen) gewidmet. In zahlreichen, doppelseitigen Abbildungen werden die Gewinnung von Rohstoffen und die Herstellung wichtiger regionaler Erzeugnisse vorgestellt, und in den Begleittexten u. a. die Eigenschaften und der historische Ursprung eines Produkts sowie Herstellungsprozesse und regionale Sorten beschrieben.

Beide Werke bekam Adolf Ledebur höchstwahrscheinlich von einem seiner japanischen Studenten überreicht. Darüber, dass es sich bei der japanischen Schrift um die Erstausgabe von 1797 handelt, besteht kein Zweifel. Rätsel gibt hingegen Ledeburs Exemplar des *Tiangong kaiwu* auf, das bislang keiner bekannten Auflage des Werks zugeordnet werden kann. Handelt es sich möglicherweise sogar um einen speziell für Ledebur angefertigten Nachdruck? Die Recherche dazu ist jedenfalls noch nicht abgeschlossen und wir hoffen, Ihnen in der kommenden Publikation neue Erkenntnisse dazu präsentieren zu können.

4 Es sei an dieser Stelle nur an die Verkäufe der historischen Bestände der Hofbibliothek Donaueschingen (1999-2001), der Nordelbischen Kirchenbibliothek in Hamburg (2002) oder der Zisterzienserabtei Himmerod (2015) erinnert.

5 Das ursprünglich zur Bücherei des VDEh gehörende Archiv, das historische Dokumente, Bilder-, Dia- und Filmaufnahmen sowie Devotionalien umfasst, wurde der Stiftung zur Industriegeschichte Thyssen übergeben.

6 Die online verfügbare, ca. 470.000 Abstracts umfassende StahlLit Datenbank des VDEh für die Jahre 1980 bis heute hat das Frankfurter Unternehmen WTI (Wissenschaftlich-Technische Informationen) zum 01.01.2019 übernommen und wird diese auch in Zukunft pflegen.

7 Siehe dazu Ledeburs Aufsätze: Ein altchinesisches Handbuch der Gewerbekunde, Annalen für Gewerbe und Bauwesen 16, H. 190 (1885), 191–193; Über chinesische Gewerbethätigkeit vor 250 Jahren, Annalen für Gewerbe und Bauwesen 21, H. 241 (1887), 1–3; Über den japanischen Eisenhüttenbetrieb, Stahl und Eisen 16 (1901), 841–850.

Änderungen im Hochschulrat

Nach siebenjähriger Amtszeit verließen Professor Biedenkopf zum 15.12.2019 und Herr Behrendt zum 31.08.2019 den Hochschulrat der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Als Nachfolger schlug das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK) Frau Dr. Simone Raatz sowie, dem Vorschlag des Rektors und des Senats der TU Bergakademie Freiberg folgend, Professor Dr. Hans-Michael Eßlinger vor. Nach Berufung durch Sachsens Wissenschaftsministerin, Frau Dr. Stange, gehören Professor Esslinger ab 1. September 2019 und Frau Dr. Raatz ab 16. Dezember 2019 für fünf Jahre diesem wichtigsten Beratungsgremium der TU Bergakademie Freiberg an.

Professor Biedenkopf wurde in der letzten Sitzung des Hochschulrates im November 2019 vom Rektor, Professor Barbknecht, verabschiedet, der ihm für sein Engagement und seine Verdienste um die TU Bergakademie Freiberg dankte. Bereits vor seiner Mitgliedschaft im Hochschulrat hat Prof. Biedenkopf als erster Ministerpräsident des Freistaats Sachsen (1990-2002) maßgeblich dazu beigetragen, dass sich die TU Bergakademie Freiberg seit den 1990er Jahren als Universität erfolgreich weiterentwickeln konnte.

Frau Dr. Simone Raatz, Politikerin (SPD) und Chemikerin ist eine Alumna der TU Bergakademie Freiberg, an der sie 1992 als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Verfahrenstechnik und Aufbereitung promovierte und sich im Jahr 2000 auch habilitierte. Seit 2005 ist Dr. Raatz zudem Privatdozentin an der TU Bergakademie Freiberg. Sie war von 1999 bis 2009 Mitglied des Sächsischen Landtags und von 2013 bis 2017 Abgeordnete im Bundestag. Seit Dezember 2017 forscht sie am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF).

Professor Hans-Michael Eßlinger ist ehemaliger Geschäftsführer des Freiberger Brauhauses. Seit 1994 ist er der Universität als Mitglied und langjähriges Vorstandsmitglied des Vereins „Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V.“ verbunden. Seither unterstützt Professor Eßlinger die Universität mit Rat und Tat. Von 2009 an war er auch als Honorarprofessor an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik tätig.

Alle weiteren Mitglieder des Hochschulrates wurden durch das Sächsische Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus wieder in den Hochschulrat der TU Bergakademie Freiberg für eine fünfjährige Amtszeit berufen.

Auf ihrer konstituierenden Sitzung im Februar 2020 wählten die Hochschulratsmitglieder Professor Dr. Reinhard Schmidt erneut zum Vorsitzenden des Hochschulrates.

Damit setzt sich der Hochschulrat der TU Bergakademie Freiberg aus folgenden ehrenamtlichen Mitgliedern zusammen:

- Prof. Dr. Reinhard Schmidt, Vorsitzender (Oberberghauptmann a. D.)
- Dr. Claudia Dommaschk (TU Bergakademie Freiberg)
- Prof. Dr. Hans Michael Eßlinger (ehemaliger GF Brauhaus Freiberg)
- Wolf-Dieter Jacobi (MDR)
- Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel (ehemaliger Präsident BGR)
- Prof. Dr. Monika Mazik (TU Bergakademie Freiberg)
- Dr. Simone Raatz (Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie)
- Kerstin Salomon (Geschwister-Scholl-Gymnasium Freiberg)
- Prof. Hans-Ferdinand Schramm (Sparkasse Mittelsachsen)
- Prof. Dr. Burkhard Schwenker (Roland Berger Consulting)
- Prof. Dr. Andreas Tünnermann (Friedrich-Schiller-Universität Jena)

Der Hochschulrat ist Beratungs- und Kontrollorgan, er wirkt an der Strategiebildung sowie an der Struktur- und Entwicklungsplanung der Hochschule mit. Die Zuständigkeiten des Hochschulrats sind in § 86 SächsHSFG geregelt.

■ **Ellen Weißmantel**

Sächsischer Verdienstorden für Bergassessor Dr. Achim Middelschulte

Das frühere Ruhrgas-Vorstandsmitglied Bergassessor a. D. Dr. Achim Middelschulte wurde am 16. Oktober 2020 vom Sächsischen Ministerpräsidenten Michael Kretschmer mit dem Verdienstorden des Freistaates, der höchsten Auszeichnung Sachsens, ausgezeichnet.

Nach der Wiedervereinigung hat Middelschulte sich für Wissenschaft, Wirtschaft, Kunst und Gesellschaft des Freistaates engagiert. Als langjähriges Mitglied des ersten Kuratoriums der TU Bergakademie Freiberg setzte er sich für die weitere erfolgreiche Entwicklung unserer traditionsreichen Hochschule ein. Eine Verstärkung der gaswirtschaflichen Lehre lag Herrn Dr. Middelschulte besonders am Herzen. Er beschaffte die finanziellen Mittel für die Gründung der Alfred-Pott-Stiftungsprofessur, die der Ausgangspunkt für eine Ausweitung der gaswirtschaftlichen Forschung und Lehre an der TU Bergakademie Freiberg war. Aus Dankbarkeit verlieh ihm die Hochschule im Jahr 2000 die Würde eines Doktor-Ingenieur E.h. Bei der Gründung der Verbundnetz Gas AG war er die treibende Kraft innerhalb der Ruhrgas AG. Dank seines vertrauenfördernden Wirkens als Personalvorstand der Ruhrgas AG hat es in der Arbeitnehmerschaft und bei den Betriebsräten der VNG AG keinerlei Bedenken und Widerstände gegen die Beteiligung der Ruhrgas AG an der VNG gegeben. Im Gegenteil wurde bedauert, dass die Beteiligungshöhe durch das Kartellamt auf 30 Prozent beschränkt wurde.

© StagiaireMGIMO, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Achim_Middelschulte.jpg

Im Freundeskreis der Dresdener Porzellansammlungen war Herr Dr. Middelschulte 15 Jahre lang Mitglied des Vorstands, davon zehn Jahre Vorsitzender, heute Ehrenvorsitzender. Für die Kunstsammlungen in Chemnitz initiierte er eine bedeutende Munch-Retrospektive. Seine Porzellansammlung von Weltruf „Der Bergbau und das weiße Gold“ konnte in Freiberg und Chemnitz zahlreiche Gäste erfreuen.

Nach dem Elbhochwasser 2002 organisierte der Ausgezeichnete für die Städte Freital und Grimma umfangreiche Hilfsprogramme, unter anderem konnte das Bürgerzentrum Freital mit seiner Unterstützung wiederaufgebaut werden.

Ein herzliches Glückauf dem Laureaten!
Prof. Dr. Reinhard Schmidt

TU Bergakademie Freiberg ist Mitglied der Europäischen Universität „Verantwortungsvoll konsumieren und produzieren“ (Responsible Consumption and Production – EURECA-PRO)

Carsten Drebenstedt

Am 9. Juli 2020 wurde in Wien das Ergebnis der zweiten Ausschreibungsrunde zum Programm „Europäische Universität“ (European University) der Europäischen Union bekannt gegeben. Die TU Bergakademie Freiberg gehört einem der 24 Gewinnerkonsortien an, die aus 62 Bewerbungen ausgewählt wurden.

Die Initiative „Europäische Universität“ hat das Ziel, eine neue Generation kreativer Europäerinnen und Europäer zusammenzubringen, die in der Lage sind, in verschiedenen Sprachen über Länder- und Fachgebietsgrenzen hinweg zusammenzuarbeiten, um die großen gesellschaftlichen Herausforderungen, darunter den Fachkräftemangel, mit denen Europa konfrontiert ist, zu bewältigen. Ein noch engerer Verbund von Universitäten soll den gemeinsamen Bildungsraum in den Mitgliedsstaaten der EU stärken und u. a. gemeinsame Studienabschlüsse ermöglichen, um die Qualität der Ausbildung über Grenzen hinweg zu verbessern und die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Universitäten zu steigern.

Europäische Universitäten sind transnationale Allianzen von Zukunftsuniversitäten, die europäische Werte an die junge Generation vermitteln und die Qualität der Ausbildung und deren weltweite Wettbewerbsfähigkeit revolutionieren. Dazu sollen verschiedene Modelle getestet werden. Die Allianzen sollen:

- Partner aus allen Typen von Hochschulinstitutionen in geografisch breiter Verteilung über ganz Europa untereinander verbinden,
- sich langfristig auf Nachhaltigkeit, Exzellenz und europäische Werte fokussieren,
- eine gemeinsame, campusübergreifende Ausbildung der Studierenden ermöglichen, bei der diese sich bestimmte Inhalte eigenständig erschließen und erste Mobilitätserfahrungen sammeln können sowie
- herausfordernde Ansätze entwickeln, von denen ausgehend Studenten, Lehrende und externe Partner interdisziplinär zusammenarbeiten können, um die für Europa drängendsten Fragen zu lösen.

Das Konsortium, an dem die TU Bergakademie Freiberg beteiligt ist, hat sich zum Ziel gesetzt, Forschung und Ausbildung im Themenfeld „Verantwortungsbewusst konsumieren und produzieren“ (Ziel 12 der Vereinten Nationen zur nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft bis 2030) voranzubringen. Das Konsortium hat am 1. November 2020 die Arbeit aufgenommen.

Dem Konsortium mit dem Akronym EURECA-PRO gehören neben Freiberg Partner-Hochschulen aus Leoben (Österreich), Petrosani (Rumänien), León (Spanien), Kreta (Griechenland), Gliwice (Polen) und die Fachhochschule Mittweida an. Die Partner widmen sich bei ihrer wissenschaftlichen Arbeit verschiedenen fachlichen Schwerpunkten, die eine interdisziplinäre Ausbildung und Forschung sowie den Transfer ihrer Forschungsergebnisse in die Gesellschaft im Kontext von Ingenieur-, Politik-, Sozial-, Umwelt- und Wirtschaftswissenschaften ermöglichen. Die Studenten sollen selbst entscheiden, in welcher Studienform sie welche Fächergruppen an welchem Standort der Europäischen Universität belegen. Langfristig haben sich die Partner vorgenommen, bis 2040 einen virtuellen und integrierten Europäischen Campus mit rechtlich fixiertem Status zu bilden. Mit dem Konsortium assoziiert sind ca. 30 weitere Partner aus einem breiten Spektrum der Gesellschaft, wie etwa Forschungseinrichtungen, Wirtschafts- und Regionalverbände, Studentenorganisationen, Gesundheitskassen oder Medienvertreter und -anstalten (z. B. ARTE).

Das Konsortium stellt sich die Aufgabe, zur Erreichung der CO_2-Minderungsziele durch die Entwicklung von Innovationen und Nachhaltigkeitspraxis im Sinne des *Green Deal* der EU bis 2050 wirksam beizutragen. Damit besitzt das Projekt hohe Aktualität und Bedeutung, da in dessen Mittelpunkt die Lieferung von ganzheitlichen Lösungen in der Ausbildung junger Menschen im breiten Kontext mit den Schicksalsfragen unserer Gesellschaft steht. Die Maßnahmen sehen u. a. neue Technologien und Prozesse für primäre und sekundäre Ressourcenströme sowie zur Effizienzsteigerung bei der Ressourcennutzung (etwa durch Kreislaufwirtschaft und Substitution) unter Beachtung der Grenzen des Planeten Erde und der Klimaneutralität vor. Im Fokus steht in Entsprechung zu den gesellschaftlichen Herausforderungen das verantwortungsbewusste Handeln im Kampf gegen den Klimawandel, den Verlust an Biodiversität und gegen die Degradierung von Land.

Die TU Bergakademie Freiberg ist im Projekt verantwortlich für das Arbeitspaket „Ausbildung und Studium“ *(Education and Studies)*. Ein Ziel ist beispielsweise, einen europäischen Abschluss für Bachelor-, Master- und Promotionsstudenten mit dem Zusatz *„… in European Studies for Responsible Consumption and Production“* zu vergeben.

An der Erstellung des Antrags waren seitens der TU Bergakademie Freiberg Vertreter der Fakultäten für Chemie und Physik, für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik sowie für Wirtschaftswissenschaften und der Graduierten- und Forschungsakademie beteiligt. Die Projektleitung liegt bei Professor Drebenstedt, der das Projekt mit-initiiert hat. Der Projektstart erfolgte am 1. November 2020.

Das Konsortium wird in einer Pilotphase von zunächst drei Jahren mit ca. 5 Millionen Euro aus dem Programm Erasmus+ gefördert. Weitere 2 Millionen Euro stellt das Programm Horizon2020 zur Integration der forschenden Wissenschaft in die Aus- und Weiterbildung zur Verfügung. Der Deutsche Akademische Auslandsdienst unterstützt die erfolgreichen deutschen Hochschulen dann zusätzlich mit bis zu 750.000 Euro.

Nun kommt es darauf an, die Voraussetzungen für die Erreichung dieser Ziele zu schaffen. Dies ist eine große Chance und Herausforderung für unsere Universität, die nur durch gemeinsames Handeln zu bewältigen ist. Wichtige Stützen des Projekts sind neben den Fakultäten u. a. das Internationale Universitätszentrum, das Sprachenzentrum, die Graduierten- und Forschungsakademie, die Universitätsverwaltung, das Universitätsrechen- und das Medienzentrum.

„Eine lebensverändernde Chance“ – Erfahrungen aus zehn Jahren Kooperation mit dem Irak

Manuela Junghans, Torsten Mayer, Abdulkader Kadauw, Henning Zeidler

Am 16. September 2020 ging eine Sommerschule der vom Deutschen Akademischen Austauschdienst geförderten Hochschul-Kooperation „Distance Learning and Additive Manufacturing (DiLAM)“ zu Ende. Die Teilnehmer waren 20 irakische Studierende aus acht Universitäten. In Online-Kursen lernten sie vor allem Verfahren und Werkzeuge für die Additive Fertigung (umgangssprachlich auch „3D-Druck“ genannt) kennen. Ohne die Covid-19-Pandemie hätte die Sommerschule an der Professur für Additive Fertigung der TU Bergakademie in Freiberg stattgefunden. Stattdessen musste sie ins Internet verlegt werden.

Eine der wenigen Ausnahmen von den Online-Kursen war eine Exkursion zur Nichtregierungsorganisation Field Ready in Erbil, an der fünf Sommerschüler in Präsenz teilnehmen durften. Sie wurden von Frau Ravin Rizgar begrüßt, die früher selbst an einer Sommerschule der Irak-Kooperation teilgenommen hatte: *„2016 hatte ich als Studentin der Koya Universität die Möglichkeit, an der Sommerschule in Freiberg teilzunehmen. Ich lernte digitale Fertigungswerkzeuge wie die 3D-Modellierung, den 3D-Druck und 3D-Scanner kennen und konnte alles selbst ausprobieren. Die Möglichkeit, praktisch an Maschinen zu arbeiten, hatte ich als irakische Studentin bis dahin nicht. Die Sommerschule war eine lebensverändernde Chance für mich. Nach meinem Abschluss wollte ich eine Arbeitsstelle in meinem Fachgebiet finden. Dies ist im Irak und besonders für Frauen sehr schwierig. Meine Erfahrungen aus Freiberg haben meine Berufschancen immens verbessert. Ich arbeite heute bei Field Ready, einer Organisation, die mit Hilfe digitaler Fertigung Lösungen für lokale Probleme findet. Ich liebe meine Arbeit und wünsche mir, dass die Jugendlichen und Studierenden, die unsere Projekte mitgestalten, ebensolche Erfahrungen machen werden.“*

Vielfältige Hochschulkooperationen mit irakischen Partnern

Die Rektoren von vier irakischen Universitäten unterzeichneten am 15. Dezember 2009 eine Kooperationsvereinbarung mit der TU Bergakademie Freiberg. Dies war der Beginn einer intensiven Zusammenarbeit in den Fachbereichen Geowissenschaften und Maschinenbau. Dank der Förderung durch den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) konnte die Zusammenarbeit stetig ausgebaut werden, und die Bergakademie blickt nunmehr auf eine mehr als zehnjährige Hochschulpartnerschaft mit Universitäten aus dem Irak zurück. Die University of Technology Bagdad, die Koya University, die Tishk International University Erbil, die Erbil Polytechnic University, die Dohuk Polytechnic University, die Mosul University und vor allem die Salahaddin University in Erbil gehören heute zu den Partnern im Bereich Maschinenbau.

Den Ausgangspunkt der deutsch-irakischen Hochschulkooperation bildete eine Reise des damaligen Bundesaußenministers Dr. Frank-Walter Steinmeier. In seinem Beisein unterzeichneten der ehemalige DAAD-Generalsekretär Dr. Christian Bode und der irakische Bildungsminister Dr. Abid Thyab Al-Ajeeli im Februar 2009 ein Abkommen über eine „Strategische Akademische Partnerschaft“.[1] Ziel war es, den akademischen Wiederaufbau im kriegsversehrten Irak zu unterstützen und die über lange Zeit isolierten irakischen Akademiker wieder besser an ein internationales Netzwerk anzubinden. Das Auswärtige Amt stellte dafür Mittel unter anderem für die Förderung von Hochschulpartnerschaften zur Verfügung.

Zwei der anfangs sechs geförderten Projekte wurden erfolgreich durch Prof. Broder Merkel (Geowissenschaften) und Prof. Jürgen Bast (Institut für Maschinenbau, Professur Hütten-, Gießerei- und Umformmaschinen – HGUM) eingeworben. Nach der Emeritierung von Prof. Bast übernahm Prof. Bertram Hentschel (Professur für Konstruktion und Fertigung) die Projektverantwortung und ab 2018 wurde das Projekt „Mechanical Engineering Germany-Iraq – MEGI“ von Prof. Henning Zeidler, dem Inhaber der Professur für Additive Fertigung, geleitet. Prof. Zeidler richtete die Zusammenarbeit entsprechend seinem Spezialgebiet neu aus. Der inhaltliche Fokus liegt nun auf der Additiven Fertigung in Verbindung mit E-Learning. Seit 2019 läuft unter seiner Leitung das aktuelle Projekt *„Distance Learning and Additive Manufacturing – DiLAM“*.

Eine Konstante über mehr als zehn Jahre Projektdurchführung und Kooperation mit dem Irak ist Dr. Abdulkader Kadauw, der als Absolvent der University of Technology Bagdad sein Studium an der TU Bergakademie Freiberg fortsetzte und bereits während seiner Promotionszeit am Lehrstuhl HGUM im Jahr 2005 Kontakt zu seiner Universität in Bagdad aufnahm. Sein Wunsch und seine Motivation, sein Heimatland Irak zu unterstützen, waren letztlich Ausgangspunkt für die Antragsstellung für das Projekt „MEGI“.

Weiterbildung von akademischem Personal

Die Partnerschaften mit Leben zu erfüllen und zu langfristig stabilen Kooperationen zu führen, forderte von beiden Seiten Entschlossenheit, Offenheit, viel Energie und Geduld. Für den Bereich Maschinenbau bedeutete dies, zu Beginn der Partnerschaft gemeinsam mit den irakischen akademischen Mitarbeitern die zum Teil zerstörte und veraltete Infrastruktur der dortigen Labore wieder aufzubauen. Dank der finanziellen Förderung war es zu Projektbeginn möglich, Messgeräte und Maschinen für eine Basis-Laborausstattung einiger irakischer Partner anzuschaffen.

Ein Schwerpunkt der von Mitarbeitern der TU Bergakademie Freiberg durchgeführten Maßnahmen lag in der Durchführung von Weiterbildungsveranstaltungen beispielsweise zur Nutzung moderner Labortechnik und von Softwareanwendungen. Professor Dr. Idres Azzat Hamakhan von der Salahaddin Universität Erbil erinnert sich: *„2018 nahm ich an einer Schulung am Institut für Wärmetechnik und Technische Thermodynamik teil. Diese Schulung umfasste u.a. die Messwerterfassung und Steuerung für Solarenergiesysteme. Die neuen Kenntnisse habe ich dann direkt in einem Projekt für Bachelor-Studierende umgesetzt. Die Studierenden waren aufgefordert eine Steuerung zur Ausrichtung eines Solarpanels für die spezifischen Bedingungen in Erbil zu bauen.“* Seit 2019 gibt es Schulungen im Bereich E-Learning für das akademische Personal der irakischen Partneruniversitäten.

Die Salahaddin Universität Erbil hat sich im Verlauf des Projekts zum Zentrum der Trainingsmaßnahmen im Irak entwickelt. Gründe dafür sind eine vergleichsweise stabile Sicherheitslage im Nordirak sowie eine gute technische Ausstattung am College of Engineering

1 https://idw-online.de/en/news301820

Foto: Field Ready

Ravin Rizgar nahm im Juni 2016 an einer Sommerschule in Freiberg teil. Heute arbeitet sie mit 3D-Druckern bei Field Ready in Erbil.

dieser Universität. Das „Glück-auf-Labor“ mit einer CNC-Dreh- und Fräsmaschine, zwei 3D-Druckern und einem 3D-Scanner sowie zwölf studentischen Computerarbeitsplätzen wurde zum Teil aus DAAD-Projektmitteln, aber zum Großteil auch durch Eigenmittel finanziert. Heute entsenden alle irakischen Partner Mitarbeiter nach Erbil zu den in diesem Projekt entwickelten Trainingsmaßnahmen.

Eine praxisnahe und moderne Ausbildung im Fokus

Parallel zur Weiterbildung von akademischen Mitarbeitern zielten die Projekte auch immer auf die Unterstützung der praktischen Ausbildung irakischer Studierender und den interkulturellen Austausch zwischen irakischen und deutschen Studierenden. Mit wenigen Ausnahmen wurde einmal jährlich eine Sommerschule für irakische Studierende in Freiberg durchgeführt. Diese dienten vor allem dem Kennenlernen moderner Konstruktionssoftware und der praktischen Arbeit an Maschinen. Wriya Ahmed, Sommerschulteilnehmer im Jahr 2013, war besonders beeindruckt von der Ausstattung der Labore und der Bibliothek.

Seit zwei Jahren studieren jeweils drei Studierende der Tishk International University Erbil für ein Semester in Freiberg.

Die praxisnahe Ausbildung von Studierenden war Thema von vier Symposien, die an der Salahaddin University stattfanden. Das ingenieurwissenschaftliche Studium an der TU Bergakademie Freiberg diente als Richtschnur. Themen waren Ingenieurpraktika in Firmen, Projektarbeiten sowie die Einbindung von studentischen Hilfskräften in Forschungsprojekte. Zu den Vortragenden gehörten fast immer auch Studenten der TU Bergakademie Freiberg. Vincent Stepputat, eingeschrieben im Diplomstudiengang Fahrzeugbau, Werkstoffe und Komponenten, war einer von ihnen. Er erinnert sich: *„Der Grundgedanke des Projekts – die Unterstützung der höheren Bildung im Irak durch den Austausch von Konzepten und die praktische Ausbildung – hat mich sofort überzeugt. Ich selbst konnte während meines bisherigen Studiums von der guten Zusammenarbeit zwischen der Universität und Unternehmen mehrfach profitieren, unter anderem im Rahmen meiner Studienarbeit und meines Ingenieurpraktikums. Meine Erfahrungen teilte ich gern mit den irakischen Studierenden.“*

Die Vertreter von im Irak tätigen Firmen bereicherten die Symposien und flankierten sie mit dem dort neuen Format der Firmenkontaktbörse, die von den Studierenden gut angenommen wurden.

Inzwischen haben sich nicht nur die Partnerschaften gefestigt, sondern es sind neben neuen Fachthemen auch weitere Kooperationsformen entstanden. Gemeinsam mit der Salahaddin University Erbil und der Al-Nahrain University Bagdad wird derzeit ein E-Learning-Modul „Additive Fertigung“ im Projekt DiLAM entwickelt, das zukünftig allen irakischen Partnern zur Verfügung stehen soll. Dank der Förderung durch das Programm „Erasmus+ mit Partnerländern“ konnten auch Partner im kurdischen Teil des Irak bei der Umsetzung des Bologna-Systems an den Colleges of Engineering unterstützt werden. Einen maßgeblichen Beitrag hat hierzu Frau Karin Sichone, ehemalige Bildungsbeauftragte an der Fakultät für Maschinenbau, Energie- und Verfahrenstechnik, geleistet.

Prof. Dr. Nazhad Hussein, Dekan des College of Engineering der Salahaddin Universität Erbil, drückt dafür seine Dankbarkeit aus: *„Die Umstellung unseres bisherigen Studiensystems auf das Bologna-System war ein Meilenstein in der akademischen Entwicklung der kurdischen Universitäten im Irak und eines der wichtigsten Elemente der deutsch-irakischen Hochschulkooperation.“*

Den Erfolg und die positive Bedeutung der Hochschulkooperation fasste Sven Krauspe, der stellvertretende Generalkonsul der Bundesrepublik Deutschland in Erbil, zusammen, als er während des vierten Symposiums in Erbil 2019 sagte: *„Derartig erfolgreiche deutsch-irakische beziehungsweise deutsch-kurdische Vorhaben sind wichtige Leuchttürme für das deutsche Engagement in der Region: Sie wenden sich an die junge Generation, die entscheidend für die Zukunft des Landes sein wird und eröffnet dieser neue Perspektiven und Chancen auf dem Arbeitsmarkt“.*

Das Projekt aus Sicht der drei Projektverantwortlichen

Prof. Bast, Sie haben das MEGI-Projekt mit ins Leben gerufen. Wie war der Projektbeginn?
Von Kollegen, Freunden und Bekannten wurde der Hinweis zu einer Reise in den Irak mit skeptischer Verwunderung aufgenommen, denn die Lebensbedingungen in diesem Land waren noch immer kritisch. Dies traf aber nicht für das Leben in der kurdischen Region zu. Dort hatte sich die Lage stabilisiert und die irakischen Kollegen empfingen uns mit großer Freude in Erbil, brachten wir doch internationale Hilfe in dieses Land.

Prof. Hentschel, was sind prägende Eindrücke und Erfahrungen im Zeitraum Ihrer Projektverantwortung?
Mit der Übernahme der Projektverantwortung lernte ich die wesentlichen Akteure auf der irakischen Seite kennen. Deren Motivationen, Einbindung in die universitäre Organisation und Handlungsfreude war vielfältig und geprägt durch die strikte hierarchische Struktur der staatlichen Universität und deren ministeriellen Führung. Der persönliche Kontakt erschließt das Vertrauen zu den Menschen und das Einschätzungsvermögen des Machbaren in der Zusammenarbeit und ist durch nichts ersetzbar. Dabei kam es darauf an, die Bedürfnisse der Partner zu erkennen und ihnen die Möglichkeiten aufzuzeigen, die eine moderne universitäre Ausbildung im technischen Bereich kennzeichnen.

Prof. Zeidler, wie sehen Sie die zukünftige Zusammenarbeit mit den irakischen Partnern?
Wir planen, die für beide Seiten so erfolgreiche Zusammenarbeit mit den irakischen Universitäten fortzusetzen und zu erweitern. Zu einer solchen größeren internationalen Vernetzung wird unser kürzlich durch den DAAD bewilligtes Projekt im Rahmen des Programms „International Virtual Academic Cooperation“ führen. Gemeinsam mit der Salahaddin University Erbil und der National University of Science and Technology „MISIS“ in Moskau werden wir darin ein digitalisiertes Modul „Production Planning in Additive Manufacturing“ entwickeln. Dieses beinhaltet auch einen praktischen Teil, in dem eine Aufgabe der Fertigungsplanung durch studentische Teams aus Freiberg, aus Erbil und aus Moskau gemeinsam vollständig zu lösen ist. Das Projekt baut auf Erfahrungen aus dem DiLAM-Projekt auf.

Abschluss des „Deutsch-Russischen Themenjahres der Hochschulkooperation und Wissenschaft“

Birgit Seidel-Bachmann

DAAD ehrt zwei deutsch-russische Projekte mit Freiberger Beteiligung

Am 15. September 2020 fand die Abschlussveranstaltung des „Deutsch-Russischen Wissenschaftsjahres“ statt. „Deutsch-Russische Themenjahre“ gibt es seit 2014. Bisher waren sie Themen wie Sprache und Literatur, Jugendaustausch, kommunale und regionale Zusammenarbeit gewidmet. Das diesjährige „Deutsch-Russische Themenjahr der Hochschulkooperation und Wissenschaft“ hatte es sich zur Aufgabe gemacht, die langjährigen und vielfältigen Beziehungen zwischen russischen und deutschen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Bildungsinstitutionen einer breiteren Öffentlichkeit vorzustellen. In diesem Kontext wurde u.a. der Wettbewerb „Brücken für die deutsch-russische Hochschul- und Wissenschaftszusammenarbeit“ ausgeschrieben, für den 124 Bewerbungen eingingen.

Zum Abschluss des vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) organisierten „Deutsch-Russischen Themenjahres der Hochschulkooperation und Wissenschaft“ wurden 25 deutsch-russische Projekte geehrt. Die Preisverleihung fand physisch und virtuell parallel in Berlin und Moskau satt. Die Ehrung der Gewinner übernahmen u.a. Vertreter des Auswärtigen Amts sowie der beiden Botschaften.

Im Rahmen des Wettbewerbs „Brücken für die deutsch-russische Hochschul- und Wissenschaftszusammenarbeit“ wurden auch zwei Projekte mit Freiberger Beteiligung ausgezeichnet:

Programm des Deutsch-Russischen Rohstoff-Forums für Nachwuchswissenschaftler

Beteiligte Organisationen:

- Deutsch-Russisches Rohstoff-Forum
- TU Bergakademie Freiberg, St. Petersburger Bergbauuniversität, VNG AG
- UNESCO-Kompetenzzentrum für bergbautechnische Ausbildung

Das Deutsch-Russische Rohstoff-Forum (DRRF) wurde 2006 durch die TU Bergakademie Freiberg und die St. Petersburger Bergbauuniversität mit Unterstützung der VNG AG und der GAZPROM EXPORT gegründet. Seitdem werden auf Plattformen des Forums aktuelle Fragen der deutsch-russischen Beziehungen auf dem Gebiet der Rohstoffe und der Nachhaltigkeit diskutiert. Ein wichtiges Anliegen ist dabei auch der Austausch zwischen Nachwuchswissenschaftlern. Hierfür hat sich die Deutsch-Russische Rohstoff-Konferenz als Plattform etabliert, bei der Nachwuchswissenschaftler beider Länder ihre innovativen Ideen vorstellen, ihre fachlichen Kenntnisse im Bereich der Rohstoffwirtschaft erweitern und miteinander diskutieren sowie bilaterale Kooperationsprojekte anstoßen können. Die Konferenzen finden im jährlichen Wechsel in Russland und Deutschland statt. Die jeweils mehr als 300 teilnehmenden Studenten und Promovenden kommen von zahlreichen Hochschulen Deutschlands und Russlands. Die Freiberger Studenten, die daran teilnehmen, kehren regelmäßig voller Begeisterung und neuer Ideen zurück.

Die letzte Rohstoff-Konferenz fand im November 2019 in St. Petersburg statt. Coronabedingt musste die für dieses Jahr vorgesehene 13. Deutsch-Russische Rohstoff-Konferenz verschoben werden. Sie soll im April 2021 in Leipzig nachgeholt werden. Die Kernthemen der Veranstaltung umfassen die Bereiche Klimaschutz, neue Energien, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung sowie den Aufbau einer deutsch-russischen Nachhaltigkeitspartnerschaft.

Studentensommer Tscheljabinsk/Freiberg

Beteiligte Organisationen:

- Studentenwerk Freiberg
- Staatliche Universität Südural

Die Sommeraustauschschule wurde 2005 im Rahmen eines Tutorenprogrammes der Robert Bosch Stiftung initiiert. An den bisher 14 Sommerschulen nahmen mehr als 150 deutsche und 200 russische Studenten teil. Während des jährlich stattfindenden Austauschs, der in der Regel ca. vier Wochen dauert, besuchen zuerst russische Studenten aus Tscheljabinsk Freiberg und werden hier u. a. durch Freiberger Studenten betreut. Im Anschluss sind die Tscheljabinsker Gastgeber für die Freiberger Studenten. Die Studenten sind also jeweils Gast und Guide zugleich. Daraus entwickeln sie interkulturelle Kompetenzen, ein Verständnis für den Anderen und ein neues Interesse für die eigene Kultur und Region, die sie den Gästen mit Stolz und Respekt vermitteln.

© Studentenwerk Freiberg/ Archiv

Studenten aus Tscheljabinsk und Freiberg während des Studentenaustauschs im Ural

Wichtigstes Element ist jeweils ein Sprachkurs. Darüber hinaus gibt es jedoch zahlreiche weitere Aktivitäten – neben gemeinsamen Ausflügen fiebern die deutschen und russischen Studenten beispielsweise zusammen für die Tscheljabinsker Hockey-Mannschaft Traktor mit, kochen Gerichte aus ihren Heimatländern, treiben Sport, gehen wandern und vieles mehr. Darüber hinaus entstand u. a. ein Film über die Orgel in Tscheljabinsk, die in Sachsen gebaut wurde, sowie ein Dokumentarfilm über einen deutschen Kriegsgefangenen, der eine Zeitlang in der Nähe von Tscheljabinsk in Gefangenschaft war. Ebenso konnten auf dem sowjetischen Ehrenfriedhof in Freiberg durch Recherchearbeiten einige verstorbene Tscheljabinsker Soldaten, die bisher nur mit ihrer Identifikationsnummer begraben waren, namentlich identifiziert werden. Es war den Verwandten dieser Männer eine unaussprechliche Erleichterung, nach so vielen Jahrzehnten zu erfahren, dass ihre Vorfahren eine würdige letzte Ruhestätte erhalten haben. Russische Architekturstudentinnen und -studenten erstellten wundervolle Zeichnungen von Freiberg, die sowohl in Deutschland als auch in Russland ausgestellt wurden. In diesem Jahr nahmen Studenten beider Länder an einer wissenschaftlichen Studie über die unterschiedlichen Erfahrungen von Studierenden in der Pandemie-Quarantänezeit teil.

Coronabedingt konnten die Sommerschulen in diesem Jahr leider nicht stattfinden – wir hoffen, dass im nächsten Jahr wieder Studenten auf Entdeckungsreise in das jeweils andere Land gehen können!

Gesellschaft von Freunden
der Bergakademie Freiberg.

Freiberg, den 18. November 1921.

Aus dem Vereinsleben

Der Aufruf zur Gründung einer

„Gesellschaft von Freunden der Bergakademie Freiberg“

hat bei vielen alten Freibergern und in weiten Kreisen der Industrie lebhaften Widerhall gefunden.

Für den Grundstock der Gesellschaft sind bisher an einmaligen und laufenden Beiträgen rund 600000 M überwiesen worden; weitere Beiträge sind in sichere Aussicht gestellt.

Bei der fortschreitenden Geldentwertung verschärft sich die Not der Bergakademie immer mehr; ihre Freunde werden daher gebeten, so kräftig wie möglich in ihren Kreisen für die „Gesellschaft“ zu werben.

Die Gründung der Gesellschaft soll am

Sonnabend, den 3. Dezember ds. Js. Nachm. 3 Uhr
in der Aula der Bergakademie

erfolgen. Alle Freunde der Bergakademie werden zur Gründungsversammlung herzlich eingeladen und gebeten, die beabsichtigte Teilnahme dem Sekretariat der Bergakademie mitzuteilen.

Der Arbeitsausschuß.
I. A.
Dr. Fritzsche,
Rektor der Bergakademie.

Ich bitte den beifolgenden vorläufigen Entwurf der Satzungen durchzusehen und mir gegebenenfalls Ihre Wünsche und Vorschläge zu seiner Verbesserung bis zum Mittwoch, den 30. dieses Monats zu übermitteln.

D.O.

Aus dem Protokoll der Jahresmitgliederversammlung 2019

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 fünfzehn 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, 29.11.2020) 1.408 persönliche und 88 juristische Mitglieder hat.

Es gab 76 Eintritte persönlicher Mitglieder. Dem stehen 17 Austritte persönlicher und zwei Austritte juristischer Mitglieder sowie fünfzehn 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 2018 bei 175 T€ und 2019 mit Stand vom 22. November bei 171 T€. Der Plan sah 161 T€ für das Gesamtjahr vor. Die Einnahmen für Zweckprojekte betrugen 185 T€ im Jahr 2018 und 102 T€ bis zum 22. November 2019. Die Ausgaben für 2018 betrugen 176 T€. 2019 beliefen sie sich bis zum Tag der Mitgliederversammlung auf 131 T€; der Jahresplan sah 161 T€ vor. Für Förderprojekte wurden 263 T€ 2018 und 177 T€ bis zum 22. November 2019 ausgegeben. Der Etatentwurf für 2020 sieht Einnahmen und Ausgaben von je 166 T€ vor.

Schwerpunkte der Fördertätigkeit waren studentische Exkursionen, Stipendien, Tagungen und Kolloquien, Publikationen sowie Diplom- und Masterarbeiten.

Der Verein unterstützte die Vergabe des von-Oppel-Preises an Thomas Hanauer (Studiengang Chemie) mit 500 €, der Weisbach-Preise an Prof. Rüdiger Schwarze sowie Anne Haufe und Dr. Manuel Stumpf mit 1.750 €, der von-Cotta-Preise für zwei ausgezeichnete Dissertationen mit je 2.000 € und für zwei Masterarbeiten mit je 1.000 €. Für die Verleihung von sechs Agricola-Preisen wurden 1.500 € zur Verfügung gestellt. Aus dem Barbara-Stipendienfond finanziert, wurden Laptops an studierende Migranten aus Syrien, Ägypten, Ghana und Afghanistan übergeben. Der Verein beteiligte sich an der Förderung von Deutschkursen, gab finanzielle Zuschüsse zu Krankenversicherungen und unterstützte einen interkulturellen Workshop.

Auch die Pflege von Professorengräbern auf dem Donatsfriedhof wurde vom Verein finanziert.

Weitere Aktivitäten

Der Geschäftsführer würdigte die im letzten Jahr von den Alumni-Beauftragten, Frau Dr. Bornkampf und Frau Preißler, insbesondere auf dem Gebiet der Digitalisierung und Vernetzung geleistete Arbeit. Er dankte Frau Wulkow für die reibungslose Übernahme der Chefredaktion der Vereinszeitschrift ACAMONTA und ihre engagierte Tätigkeit. Abschließend stellte Prof. Kretzschmar ein vom VFF-Mitglied Siegfried Werner, Seiffen, geschaffenes Modell zur Wissenschaftskooperation Freiberg/St. Petersburg vor. Des Weiteren informierte er über die auf der Barbara-Feier erfolgende Ernennung von Dr. Achim Middelschulte zum Ehrenmitglied des Vereins, die Verleihung des Ehrenarschleders an Prof. Dr. Helmuth Albrecht und die Ehrung von Frau Marianne Engel und Herrn Prof. Dr. Frank-Michael Engel mit der St. Barbara-Medaille.

Bericht des Rechnungsprüfers

Herr Knull berichtete, dass die Finanzprüfung für das Geschäftsjahr bis zum 31.12.2018 durch den Wirtschaftsprüfer im November 2019 vorgenommen wurde. Die Kontrolle ergab keine Beanstandungen. Die Höhe der Wertanlagen betrug zum Stichtag ca. 400 T€. Der Rechnungsprüfer bestätigte die ordnungsgemäße Rechnungsführung und Rechnungslegung und empfahl die Entlastung des Vorstands.

Diskussion zum Jahresbericht, Entlastung des Vorstands, 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 2018 wurde mit zwei Enthaltungen und ohne Gegenstimme stattgegeben. Der Finanzplan für das Geschäftsjahr 2020 wurde mit zwei Enthaltungen und ohne Gegenstimme verabschiedet.

Auszeichnungen der Cotta-Preisträger

Prof. Brezinski informierte, dass es für die vom Verein gestifteten Bernhard-von-Cotta-Preise in der Kategorie Diplom- und Master-Arbeiten 14 und bei Dissertationen 10 Einreichungen gab. Laut Beschluss der Vergabekommissionen wurden ausgezeichnet:

- Carolin Schneider (Master, Fakultät 3),
- Alexander Schweren (Master, Fakultät 5),
- Dr. rer. nat. Tom Lorenz (Promotion, Fakultät 2),
- Dr.-Ing. Hanka Becker (Promotion, Fakultät 5).

Die Urkunden wurden durch Prof. Brezinski, Prof. Jäckel und Prof. Köckritz übergeben. Die Preisträger stellten ihre Arbeiten in kurzen Vorträgen vor.

Anlässlich des 50. Jahrestags ihrer Promotion wurden die Vereinsmitglieder Prof. Dr. Horst Gerhardt, Prof. Dr. Wolfgang Naundorf, Dr. Dietmar Schab und Dr. Hartmut Wehrsig mit einer „Goldenen Promotionsurkunde“ gewürdigt. Prof. Dr. Heinzjoachim Franeck, Prof. Dr. Peter Seidelmann und Prof. Dr. Wolfgang Lehnert wurden anlässlich des 50-jährigen Jubiläums ihrer Habilitation geehrt.

Vorstandswahl für die Periode 2019 bis 2022

Der Wahlleiter Prof. Häfner informierte über die Modalitäten des Wahlablaufs. Zu der mit der Einladung versendeten Kandidatenliste gab es keine Ergänzungsvorschläge. Die Wahlhandlung erfolgte in geheimer Wahl in der anschließenden Pause. Folgende Vorstandsmitglieder wurden gewählt:

- Prof. Dr. phil. habil. Helmuth Albrecht
- Dipl.-Kfm. Klaus Borrmann
- Prof. Dr. rer. pol. habil. Horst Brezinski (Schatzmeister)
- Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Cramer
- Prof. Dr.-Ing. Hans Michael Eßlinger
- Dipl.-Verwaltungswirt (FH) Erich Fritz
- Dr.-Ing. habil. Manfred Goedecke
- Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Groß
- Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar (Geschäftsführer)

Foto: Detlev Müller

Die Mitglieder des neu gewählten Vereinsvorstandes: Prof. M. Eßlinger, E. Fritz, Prof. H. Brezinski, Prof. S. Rogler, Prof. H. Albrecht, Prof. H.-J. Kretzschmar, Prof. E. Wegert, A. Wulkow Moreira da Silva, Prof. H.-F. Schramm, Prof. K.-D. Barbknecht, K. Borrmann, Prof. M. Schloemann, Prof. U. Groß, Prof. M. Reich, Prof. B. Cramer (v.l.)

- Diplom-Bankbetriebswirt Sven Krüger
- Dipl.-Ing. (FH) Andreas Redlich
- Prof. Dr.-Ing. Matthias Reich
- Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Silvia Rogler
- Prof. Dr. Michael Schlömann
- Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dieter Schneider
- Prof. Hans-Ferdinand Schramm (Vorsitzender)
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Elias Wegert (Schriftführer)
- Magistra Annett Wulkow Moreira da Silva

Gemäß der Vereinssatzung § 7 (2) ist der Rektor *ex officio* Mitglied des Vorstands.

Der Vorstand konstituierte sich im Anschluss mit der Wahl des Vorsitzenden, des Geschäftsführers, des Schatzmeisters und des Schriftführers.

Bericht des Rektors zur Entwicklung der TU Bergakademie Freiberg

Der Rektor, Prof. Klaus-Dieter Barbknecht, dankte dem Verein und seinem bisherigen Vorstand. In seinem inhaltsreichen Bericht über aktuelle Entwicklungen und an der Universität geplante Vorhaben ging er auf folgende Themen ein:

- Struktur der Universität
- Entwicklung des Personals
- Studiengänge und Entwicklung der Studierendenzahlen
- Anzahl der Studierenden nach Fächergruppen und Herkunft
- Absolventenzahlen
- Studierende aus dem Ausland mit regionaler Aufschlüsselung
- Beispiele des Ausbaus internationaler Kooperationen
- Einrichtung dreier neuer und Überarbeitung von 20 Studiengängen
- Preise und Stipendien für Studierende (u. a. 133 Deutschlandstipendien)
- Promotionen (84), Habilitationen (4)
- Sonderforschungsbereiche der DFG: SFB 799 und SFB 920
- Entwicklung Drittmitteleinnahmen
- Entwicklung der Patent- und Erfindungsanmeldungen 2010–2018
- Personalentwicklung, Gleichstellung, Inklusion und Internationalisierung
- Vorstellung von neu berufenen Professorinnen und Professoren
- TU Bergakademie Freiberg unter den zehn beliebtesten Hochschulen im Study-Check-Ranking 2019
- Erhöhung der medialen Sichtbarkeit durch Imagefilm und Studienwerbekampagne
- Teilnahme am Programm „Kleine Fächer“
- Verleihung des UNESCO-Welterbe-Titels an die Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří am 6. Juli 2019
- Höhepunkte des Humboldt-Jahres aus Anlass des 250. Geburtstags von Alexander von Humboldt
- Weitere Höhepunkte und Festveranstaltungen des vergangenen Jahres

Festvortrag

„UNESCO-Welterbe für das sächsisch-böhmische Erzgebirge“

Prof. Dr. Helmuth Albrecht sprach in seinem Vortrag „Die UNESCO-Welterbe-Kulturlandschaft Montanregion Erzgebirge/Krušnohoří“ über die Charakteristik der Montanregion als Kulturlandschaft mit andauernder Entwicklung und stellte die ca. 20-jährige Geschichte der Bewerbung um den Welterbe-Titel vom Graswurzelprojekt bis zur Verleihung des Titels mit ihren Höhen und Tiefen sehr überzeugend vor.

Schlusswort

Der Vorstandsvorsitzende des Vereins dankte dem Festvortragenden, den Mitgliedern des Vorstands, der Geschäftsstelle und der Redaktion der Vereinszeitschrift ACAMONTA und lud die Mitglieder zur Barbarafeier ein.

Als Termin der nächsten Mitgliederversammlung wurde der 27. November 2020 festgelegt.

Abendliche Barbarafeier

Der Vorsitzende begrüßte die Vereinsmitglieder und ihre Begleitung im Festsaal der Alten Mensa zur Feier des Fests der Heiligen Barbara.

Die Höhepunkte des Abends waren die Ernennung von Dr. Achim Middelschulte zum Ehrenmitglied des Vereins (für seine 30-jährigen Verdienste um die Förderung der TU Bergakademie und der Stadt Freiberg), die Verleihung des Ehrenarschleders an Prof. Dr. Helmuth Albrecht (für sein unermüdliches Wirken für den UNESCO-Welterbe-Titel Erzgebirge/Krušnohoři) und die Auszeichnung von Frau Marianne Engel und Herrn Prof. Dr. Frank-Michael Engel mit der St. Barbara-Medaille (für ihre langjährige Unterstützung der TU Bergakademie und der Stadt Freiberg).

Prof. Helmuth Albrecht beim traditionellen Sprung über das Ehrenarschleder

Die kulturelle Umrahmung übernahmen die Seilsportgruppe der „Saxon Kangaroos“ und die „Wood ‚n‘ Brass Big Band“ der TU Bergakademie Freiberg. Das „Berg-Büffet“ wurde wieder sehr gut angenommen. Der Gesang des Steigerliedes rundete den Abend ab.

■ **Hans-Jürgen Kretzschmar**

Netzwerk, News und Events – Jahresrückblick des Freiberger Alumni Netzwerks (FAN)

Stefanie Preißler[1], Constance Bornkampf[1]

Das erste Halbjahr 2020 war auch in der Alumni-Arbeit stark durch die Covid-19-Pandemie geprägt. Ausgeführt wurden, da noch in Vor-Corona-Zeiten liegend, am 31. Januar die feierliche Promovierten- und Habilitiertenverabschiedung in der Alten Mensa mit Beteiligung der zwei Alumni-Beauftragten in Form einer kurzen Ansprache sowie einer Karzerführung und am 6. Februar das der allgemeinen Information dienende „Fachnetzwerketreffen Alumni" mit den Alumni-Verantwortlichen der Fakultäten und Institute. Des Weiteren beteiligte sich das FAN mit einem Gemeinschaftsmessestand des Verbunds „Deine Uni ist mehr" auf der Karrieremesse ORTE am 9. Januar und warb dort für die Alumni-Datenbank. Die bereits 2019 begonnene Präsentation des neuen Datenbanksystems „alumnii" im jeweiligen Fakultätsrat der Fakultäten 1 bis 6 fand Anfang Juni 2020 ihren Abschluss – zum letzten Termin sogar in digitaler Form.

Abgesagt bzw. verschoben wurden eine ALUMNIght, ein Alumni-Stammtisch in Dresden, zahlreiche kleine und große Absolvententreffen sowie die für Juni geplanten Feierlichkeiten „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht" in Freiberg. Auch die vorbereiteten Ehrenkolloquien für Professor Ulrich Groß (70. Geburtstag) und Professor Helmuth Albrecht (65. Geburtstag) fanden nicht statt.

Für die FAN-Mitarbeiterinnen bedeutete dies Homeoffice, diverse Videokonferenzen und nur teilweise Präsenz im Büro – selbstverständlich unter Berücksichtigung der Hygieneregeln. Eine große Herausforderung war, dass es weniger Kommunikation mit den Alumni und weniger tagesaktuelle Aufgaben gab, sich aber gleichzeitig zeigte, wie wichtig digitale Tools (Datenbank etc.) in der Alumni-Arbeit sind. Eigentlich hatte das Jahr 2020 für das FAN-Team gut begonnen, konnte doch mit Dominic Voland ein neuer Minijobber im Kreis der Mitarbeiter begrüßt werden. Dominic studiert aktuell im zweiten Semester Markscheidewesen/Geodäsie und engagiert sich unter anderem aktiv in der AG Grubenwehr. Er wird uns hoffentlich langfristig bei der Netzwerkarbeit unterstützen.

Trotz des Lockdowns blieb das FAN-Team natürlich nicht untätig. Lange schon angedachte Projekte wurden jetzt zeitnah und konzentriert in Angriff genommen. Die Hauptarbeit lag dabei auf einer Alumni-Umfrage zur Evaluierung der eigenen Serviceleistungen, die wir erstmalig durchführten. Ziel war es, die FAN-Angebote künftig noch besser an die Bedürfnisse der Alumni der Bergakademie anzupassen und eventuelle Kommunikationsdefizite aufzuzeigen. Die Online-Umfrage war vom 2. bis 31. Juli 2020 freigeschaltet. Die Beantwortung der 17 Fragen dauerte nicht mehr als zehn Minuten. Die Teilnahme war freiwillig und auf Alumni, die in der FAN-Datenbank mit einer gültigen E-Mailadresse registriert sind, beschränkt. Die Daten wurden selbstverständlich streng vertraulich und anonym behandelt. Erfreulicherweise nahmen 418 Personen an der Umfrage teil, was einer Rückmeldequote von mehr als elf Prozent entspricht. Die statistische Auswertung erfolgt im November 2020. Wir bedanken uns bei allen Alumni für ihre Teilnahme an der Umfrage, die uns äußerst hilfreiche Ergebnisse geliefert hat!

Aktuell sind in der FAN-Datenbank übrigens 4.341 Alumni registriert.[2] Das ist eine erfreuliche Zunahme von mehr als 400 Alumni im Vergleich zu den Angaben in der ACAMONTA 2019. Auch im internationalen Alumni-Bereich hat sich trotz Covid-19 etwas getan. So verstärken seit 2020 Herr Yongliang Zhang (China) und Herr Lukas Manthey (Schweiz) das Alumni-Botschafterprogramm der Bergakademie. Aktuell existieren so 40 direkte Kontakte in 29 Länder der Welt.

Mithilfe der Datenbank erfolgte am 25. Mai auch der Spendenaufruf für den Corona-Nothilfefonds für Studierende der TU Bergakademie Freiberg. Dank fünf Großspendern – so gaben der Rektor Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht, Frau Dr. Erika Krüger, die Sparkasse Mittelsachsen, der VFF und der Rotary Club Freiberg insgesamt 45.000 Euro – und der genauso wichtigen Unterstützung durch zahlreiche weitere Spender war es möglich, die stattliche Summe von über 104.000 Euro[3] einzuwerben. Bei 42 Prozent der Spender handelt es sich um Alumni der Bergakademie. Hier zeigt sich, wie wichtig gute Alumni-Arbeit ist und dass unsere Absolventen sich eng mit ihrer Universität verbunden fühlen. Von 10 Euro bis 5.000 Euro war an Spendengeldern alles dabei. 99 Studierende[4], die durch die Corona-Krise unverschuldet in finanzielle Not geraten waren, erhielten auf diesem Wege unkompliziert schnelle Hilfe. Die Prüfung der studentischen Anträge übernahm dankenswerterweise das Studentenwerk Freiberg. Das Spendenkonto wiederum stellte der VFF zur Verfügung. Pro genehmigten Antrag gab es für jeweils drei Monate eine Fördersumme zwischen 250 und 1.000 Euro. Diese beinhalteten neben finanzieller Förderung auch Freitische, die in der Mensa ein Vierteljahr lang von Montag bis Freitag ein kostenloses Essen ermöglichen und von der Sparkasse Mittelsachsen zur Verfügung gestellte Gutscheine zum Einkauf bei lokalen Händlern.

Auch ein in das Jahr 2020 fallendes bergakademisches Jubiläum wurde von der Corona-Krise überschattet: Es jährte sich der Tag der ersten eigenständigen Verleihung des Doktorgrades an der TU Bergakademie Freiberg zum einhundertsten Mal. Seit 1920 konnte an der Bergakademie insgesamt rund 5.300-mal der Doktortitel verliehen werden. Zunächst war vorgesehen, alle noch lebenden Promovierten und Habilitierten der TU Bergakademie Freiberg sowie deren Doktorväter und -mütter in der ersten Juniwoche 2020 nach Freiberg einzuladen, um dieses Jubiläum gemeinsam zu feiern. Dies ging bedauerlicherweise nun so nicht mehr. Gefeiert wurde und wird trotzdem: Am 5. Juni, dem ursprünglichen Termin der geplanten Festveranstaltung, ging die Webseite „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht an der TU Bergakademie Freiberg" online.[5] Wie ursprünglich auch für die Festveranstaltung geplant, finden sich dort die Grußworte des sächsischen Ministerpräsidenten, Michael Kretschmer, des sächsischen Wissenschaftsministers,

1 **Kontaktadresse:**
Freiberger Alumni Netzwerk
Akademiestraße 6
09599 Freiberg
E-Mail: alumni@zuv.tu-freiberg.de

2 Stand: 15.09.2020

3 Stand: Mitte Juli 2020

4 Stand: 09.07.2020

5 https://blogs.hrz.tufreiberg.de/100-jahre-promotionsrecht/

© privat

Abb. 1: Ein eingereichtes Foto zur Aktion „Promoviertengeschichten – Freiberger Doktorhüte in aller Welt“, hier von Dr. Michael Schüngel

Sebastian Gemkow, des Präsidenten der Hochschulrektorenkonferenz, Prof. Dr. Peter-André Alt, des VFF-Vorsitzenden, Prof. Hans-Ferdinand Schramm und des Rektors der Bergakademie, Prof. Dr. Klaus-Dieter Barbknecht. Interessante Hintergrundinformationen zur Verleihung des eigenständigen Promotionsrechts vor 100 Jahren, eine virtuelle Campustour und vieles mehr machen den Besuch dieser Webseite lohnenswert. Gleichzeitig können sich Promovierte der Bergakademie auch aktiv am Jubiläum beteiligen und einen besonderen Part dabei übernehmen. Bis zum 31. Dezember 2020 besteht die Möglichkeit, dass ehemalige Doktoranden den heutigen und künftigen Studierenden und Promovierenden ihre Geschichte erzählen und sie damit inspirieren. Seit dem Start der Aktion „Promoviertengeschichten – Freiberger Doktorhüte in aller Welt“ sind bereits mehr als 20 anregende Kurz-Interviews sowie tolle Fotos von unseren Promovierten aus aller Welt eingegangen. Die Bilder zeigen die Alumni mit oder ohne Doktorhut an ihrem heutigen Arbeitsplatz, beim Löwenreiten oder direkt im Augenblick der erfolgreichen Promotionsverteidigung. Mithilfe einer Weltkarte sind die Beiträge – verteilt auf mittlerweile drei Kontinente – mit dem heutigen Aufenthaltsort der Alumni verlinkt, was die internationale Vernetzung der Universität sowie die hohe Qualität ihrer Doktorandenausbildung optisch eindrucksvoll verdeutlicht. Dass der Blog innerhalb eines Monats fertig vorlag, war der guten Zusammenarbeit zwischen der Graduierten- und Forschungsakademie (GraFA), dem Dezernat 5/Universitätskommunikation und dem Freiberger Alumni Netzwerk zu verdanken. Aus der Not heraus geboren, entstand so eine persönliche und zugleich öffentlichkeitswirksame Kampagne, die die Alumni- und Doktorandenarbeit sicher noch lange bereichern wird.

Auch bei anderen Absolvententreffen wurden „notgedrungen“ kreative Wege eingeschlagen, wie beispielsweise beim Diamantenen Diplom der Gasfachleute. Mit einer Jubiläumsurkunde und einem historischen Gruppenfoto ehrte die TU Bergakademie Freiberg im Juni 2020 zehn Absolventen und eine Absolventin der Studienrichtung Gasfach des Abschlussjahrgangs 1960. 60 Jahre nach ihrem damaligen Abschluss erhielten die Alumni damit ihr Diamantenes Diplom. Normalerweise hätten Dr. Klaus Zschoke und seine Kommilitonen aus der Seminargruppe, die heute in Krefeld, Berlin oder Rostock leben, wohl den sechszigsten Jahrestag ihres Diplomabschlusses an ihrer Alma mater gefeiert. Dies war aufgrund der geltenden Corona-Beschränkungen jedoch nicht möglich. Um zu zeigen, dass die TU Bergakademie Freiberg trotzdem an ihre Absolventen denkt, verschickten die Mitarbeiterinnen des Freiberger Alumni Netzwerks und Dr. Saskia Wesolowski von der Professur Gas- und Wärmetechnische Anlagen elf Päckchen. Deren Inhalt sollte die Alumni an ihre Studienzeit in Freiberg erinnern und einen kleinen Blick zurückwerfen lassen. So waren beispielsweise eine persönliche Jubiläumsurkunde mit der Unterschrift des Rektors, ein historisches Gruppenfoto aus dem Jahr 1960 in der Gaststätte der Alten Mensa, ein Freiberger Bauerhase sowie eine Tasse mit dem Logo der Professur Bestandteil der Postsendung. Die Kosten für die Verpackung und den Postversand übernahmen dankenswerterweise der Förderkreis Gastechnik sowie der VFF. Allerdings bleibt zu hoffen, dass der Versand der Pakete eine einmalige Aktion bleibt und unsere Absolventen zukünftig ohne „Corona-Sorgen“ wieder direkt mit ihren Kommilitonen an ihrer Alma mater fribergensis feiern können.

Die beiden Alumni-Beauftragten arbeiteten ansonsten noch den 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, LinkedIn und neuerdings auch Instagram[6] präsent. In Ergänzung nahmen die beiden Alumni-Beauftragten am bergakademie-internen Workshop „Social Media und Online-Marketing“ sowie an Online-Weiterbildungen zu den Themen „Member Engagement – Wie steigere ich die Aktivität meiner Mitglieder“ sowie „Storytelling“ teil.

Abschließend sei die Bemerkung gestattet, dass wir uns für das zweite Halbjahr 2020 etwas weniger Aufregung wünschen und uns auf persönliche Zusammentreffen mit unseren Alumni ohne Corona-Beschränkungen freuen.

6 https://www.instagram.com/freibergeralumninetzwerk

© TU Bergakademie Freiberg

Abb. 2: Die Alumni-Beauftragten Dr. Constance Bornkampf und Stefanie Preißler sowie Dr. Saskia Wesolowski von der Professur Gas- und Wärmetechnische Anlagen versenden die Paketgrüße an die Gasfach-Absolventen von 1960 (v. l.).

Bernhard-von-Cotta-Preis 2019:

Die Feststoffchlorierung – Ein neues Verfahren für das Recycling Seltener Erden

Tom Lorenz

Smartphones, LEDs, Windkraftanlagen, Akkumulatoren, Elektrofahrzeuge und Katalysatoren; in all diesen Bereichen spielen Seltene Erden eine entscheidende Rolle. Zu dieser Elementgruppe gehören insgesamt 17 unedle Metalle mit besonderen Eigenschaften. Namentlich sind es Scandium, Yttrium, Lanthan und die 14 Lanthanoiden. Die meisten dieser Metalle lassen sich heute aus unserem Leben nicht mehr wegdenken. Dabei besteht die wichtigste Anwendung dieser Elemente in den Permanentmagneten, in denen insbesondere Neodym, Praseodym, Samarium, Terbium, Gadolinium und Dysprosium eingesetzt werden. Seltenerdhaltige Legierungen gehören zu den stärksten derzeit bekannten Magneten mit den höchsten magnetischen Energiedichten und werden vor allem in Lautsprechern, HDD-Festplatten oder Elektromotoren verwendet.

Das Paradoxon der Seltenerdgewinnung

Bislang wird der weltweite Bedarf an Seltenen Erden beinahe ausschließlich durch den Bergbau gedeckt. Entgegen dem, was der Name suggeriert, sind die meisten Metalle der Gruppe nicht selten. Das Seltenerdmetall Cer kommt so häufig vor wie Kupfer. Dies spiegelt sich auch in der Rohstoffsituation wider. Derzeit werden jedes Jahr etwa 170.000 t an Seltenen Erden abgebaut. Die bekannten Vorkommen enthalten jedoch mehr als 120 Mio. t. Obwohl damit die Versorgung mit diesen wichtigen Elementen für die nächsten Jahrhunderte gesichert erscheint, gelten die Seltenen Erden in den USA, Australien und der Europäischen Union als kritische Wertmetalle. Der Grund liegt darin, dass die Produktionskapazitäten zu 71 Prozent in China liegen und lokale, handelspolitische Entscheidungen dadurch immer wieder zu einer globalen, künstlichen Verknappung führen.[1] Diese Situation sorgt seit Jahren für ein hohes Versorgungsrisiko. Vor diesem Hintergrund wurde in Freiberg, aber auch weltweit, die Forschung, die sich mit dem Recycling der Seltenen Erden beschäftigt, intensiviert. Zum einen soll damit das Versorgungsrisiko verringert werden, zum anderen ergibt sich damit auch für Wissenschaftler die Gelegenheit, mit einem neuartigen Recyclingverfahren zu einem nachhaltigeren Umgang mit den verfügbaren Ressourcen beizutragen.

Ammoniumchlorid statt Salzsäure

Der entscheidende Nachteil bei der Entwicklung eines effizienten, nasschemischen Recyclingverfahrens offenbart sich bei näherer Betrachtung des Ausgangsstoffs. Die Seltenerdmagneten wurden anfangs gefeiert, enthalten sie doch mit bis zu 35 Gew.-% im Vergleich zu den besten Erzen die vier- bis fünffache Menge an Seltenen Erden.[2] Der Vergleich hinkt, denn im Bergbau sind es nicht die Erze, die nasschemisch weiterverarbeitet werden, sondern von Begleitmineralen befreite Erzkonzentrate mit Seltenerdgehalten von über 60 Gew.-%. Zudem bestehen die Magneten meist zu zwei Dritteln aus Eisen ($Fe_{14}Nd_2B$-Magneten) oder Cobalt ($SmCo_5$ oder Sm_2Co_{17}).[3] Werden die Magnetlegierungen zu Beginn des Recyclingverfahrens in Mineralsäuren gelöst, reagieren Eisen und Cobalt mit. Dabei werden bis zu 80 % der eingesetzten Säure durch die beiden Übergangsmetalle verbraucht und entsprechend nur 20 % durch die Seltenen Erden. Eisen und Cobalt müssen im Nachgang von den Seltenen Erden wieder

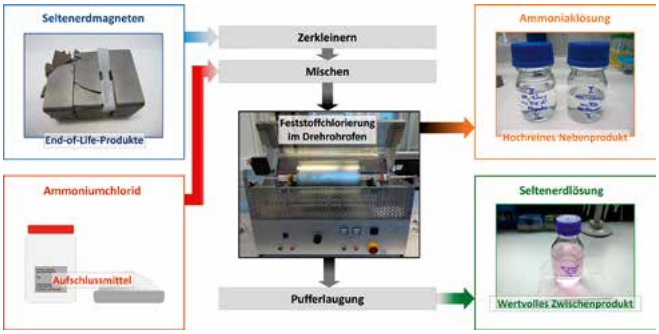


Abb. 1: Aufschluss der Seltenen Erden aus Altmagneten mittels Feststoffchlorierung

abgetrennt werden, wodurch weitere Prozessschritte notwendig sind. Dadurch werden Recyclingverfahren ineffizient und stellen keine ernsthafte Konkurrenz zur Bergbauproduktion dar. Soll ein Recycling möglich werden, müssen die Probleme mit den konventionell eingesetzten Säuren umgangen werden. An der Bergakademie Freiberg wurde dazu seit 2013 an der Feststoffchlorierung geforscht, bei der Magnete statt durch Salzsäure mit Ammoniumchlorid aufgeschlossen werden.

Überführung in wasserfreie Metallchloride

Das Verfahren ist dabei nicht kompliziert. Die Altmagneten werden zunächst zu einem Pulver mit Partikeln ≤100 µm gemahlen. Anschließend wird dieses mit der entsprechenden Menge an festem Ammoniumchlorid vermischt und in einen Drehrohrofen eingebracht *(Abbildung 1)*. Durch das Aufheizen auf 225 bis 325 °C zersetzt sich das Ammoniumchlorid langsam in Ammoniak und Chlorwasserstoff. Ersterer verlässt den Reaktor, ohne zu reagieren, und kann anschließend über einen Gaswäscher in Form einer Ammoniaklösung gewonnen werden. Nur der Chlorwasserstoff reagiert mit dem Magnetpulver und überführt alle enthaltenen Metalle in die entsprechenden wasserlöslichen Metallchloride.[2]

Zersetzung: $NH_4Cl_{(s)} \rightarrow HCl_{(g)} + NH_{3(g)}$

Chlorierung: $SE_{(s)} + 3\ HCl_{(g)} \rightarrow SECl_{3(s)} + 1{,}5\ H_{2(g)}$
$Fe_{(s)} + 2\ HCl_{(g)} \rightarrow FeCl_{2(s)} + H_{2(g)}$

Diese können im nächsten Schritt in einem verdünnten Acetatpuffer aufgelöst und weiterverarbeitet werden. Der Puffer stellt den pH-Wert auf 3 ein und ist notwendig, um das Ausfällen von Akaganeit β-FeO(OH,Cl) zu verhindern. Zudem wird durch den Puffer die Seltenerdausbeute weiter erhöht. Die enthaltene Essigsäure AcOH reagiert mit den Magnetmetallen, die im Chlorierungsschritt nicht vollständig umgesetzt wurden. Außerdem reagieren Fe^{2+}-Ionen aus der Pufferlösung mit metallischen Seltenen Erden in einer Redoxreaktion (o. a. Zementation), wobei diese als SE^{3+}-Ionen in Lösung gehen und sich metallisches Eisen abscheidet.

Laugung: $SE_{(s)} + 3\ AcOH_{(aq)} \rightarrow SE(AcO)_{3(aq)} + 1{,}5\ H_{2(g)}$
$Fe_{(s)} + 2\ AcOH_{(aq)} \rightarrow Fe(AcO)_{2(aq)} + H_{2(g)}$

Zementation: $2\ SE_{(s)} + 3\ Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2\ SE^{3+}_{(aq)} + 3\ Fe_{(s)}$

Am Aufschluss sind demnach eine ganze Reihe verschiedener Reaktionen beteiligt, die schließlich die Seltenen Erden aus den Magneten in die Lösung überführen. Um die Ausbeuten

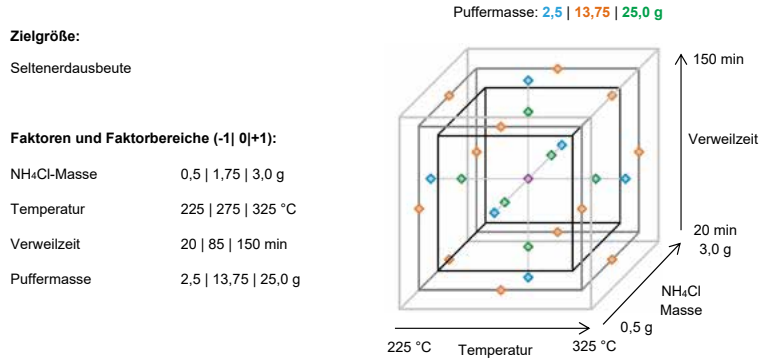


Abb. 2: 3^4-Box-Behnken-Plan für die simultane Optimierung der Feststoffchlorierung und der Pufferlaugung (Versuchspunkte)

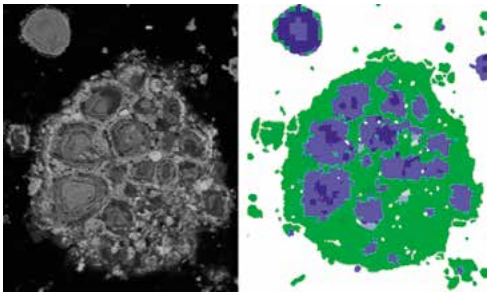


Abb. 3: Unterstöchiometrisch chlorierte $Fe_{14}Nd_2B$-Magnetpartikel bestehend aus stark eisenhaltigen Kernen (blau) und einer Hülle aus Seltenerdchoriden (grün). Das Magnetpulver wurde hierfür mit einem Mineral Liberation Analyzer (FEI, USA) untersucht.

zu maximieren, wurden sowohl der Chlorierungsschritt als auch die Pufferlaugung sehr aufwendig anhand statistischer Versuchspläne (3^3- und 3^4-Box-Behnken-Plan) optimiert. Dabei wird ein mathematisches Modell über einen Algorithmus an die experimentellen Ergebnisse aus einem vorgegebenen Schema an Versuchspunkten angenähert *(Abbildung 2)*, um eine Modellgleichung zu erhalten. Diese beschreibt, wie die Seltenerdausbeute von der Chlorierungstemperatur, der Verweilzeit, der NH_4Cl-Menge und dem eingesetzten Essigsäurepuffer abhängt. Mit der Modellgleichung lassen sich anschließend die Versuchsbedingungen ermitteln, bei denen die Seltenerdausbeute maximal wird. Die höchste Ausbeute mit 84 Prozent wurde bei 285 °C, einer Verweilzeit von 146 min und einem NH_4Cl-Magnet-Verhältnis von 3:1 erreicht. Die eingesetzte 0,5 M Pufferlösung entsprach dabei einem Essigsäure-Magnet-Verhältnis von 0,63:1. Die SmCo-Magneten erreichten unter diesen Bedingungen bereits quantitative Seltenerdausbeuten.

Mit den erstellten mathematischen Modellen aus den Versuchsplänen konnten nicht nur die Ausbeuten verbessert werden, sie erlauben zudem Vorhersagen über das Reaktionsverhalten. Im Falle der Magneten lässt sich anhand der Modelle eine selektive Chlorierung der Seltenen Erden vorhersagen, die nur dann zu beobachten ist, wenn unterstöchiometrische NH_4Cl-Mengen eingesetzt werden. Nach der Untersuchung der Feststoffproben vor und nach der Feststoffchlorierung mit einem Mineral Liberation Analyzer – einer automatisierten Variante der Rasterelektronenmikroskopie – wurde die Ursache für die Selektivität gefunden: Stehen nur unterstöchiometrische Mengen an Chlorwasserstoff zur Verfügung, reagiert dieser bevorzugt mit den Seltenen Erden auf der Oberfläche der Magnetpartikel. Dies führt zur Ausbildung einer Schicht, die beinahe ausschließlich aus Seltenerdchloriden besteht, während im Inneren extrem eisenhaltige Partikelkerne zurückbleiben, deren Eisengehalt bis zu 94 Gew.-% beträgt *(Abbildung 3)*.

Die Möglichkeit, die Selektivität zu nutzen, hat einen großen Einfluss auf die Durchführung der Feststoffchlorierung. Im überstöchiometrischen Bereich werden sowohl Eisen als auch die Seltenen Erden nach maximal drei Kreisläufen vollständig chloriert. Im unterstöchiometrischen Bereich lässt sich der NH_4Cl-Bedarf hingegen um 83 % reduzieren und der Reaktordurchsatz um den Faktor 40 erhöhen.[2] Beides beeinflusst stark die Effektivität und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Allerdings muss dafür auch auf 20 % der enthaltenen Seltenen Erden verzichtet werden. Die erarbeiteten Modelle erlauben eine sehr exakte Schätzung der Ausbeuten sowie einen stufenlosen Wechsel zwischen diesen beiden Betriebsarten. Dadurch lässt sich die Feststoffchlorierung äußerst flexibel an aktuelle Marktbedingungen und die Rohstoffsituation anpassen.

Zusammenfassung

Der direkte Vergleich von Feststoffchlorierung und saurem Aufschluss mit Salzsäure zeigt, dass die Kombination aus Chlorierungsschritt und Pufferlaugung mit weniger als der halben Menge an Chemikalien (-55 %) auskommt und zugleich zu einer Reduzierung der Chemikalienkosten um mindestens 51 % führt. Die Ammoniaklösung, die als Nebenprodukt des Chlorierungsschritts anfällt, ist zu 99,9998 % rein und kann beispielsweise in die Düngemittelproduktion verkauft werden. Abhängig vom erzielbaren Preis lassen sich die Chemikalienkosten noch weiter senken. Da auf den Einsatz von Mineralsäuren verzichtet wird, entstehen zudem keine stark sauren Abwässer, und die sonst obligatorische Neutralisation entfällt ebenso. Der Nachteil in der Entwicklung eines neuen Verfahrens besteht derzeit noch im wissenschaftlichen und finanziellen Aufwand, der in die Überführung aus dem Labor in die tatsächliche Produktion investiert werden muss. So müssen beispielsweise neue Reaktoren entwickelt, getestet und optimiert werden. Das braucht Zeit, aber die nächsten Schritte werden bereits gegangen: Gegenwärtig wird auf einer ersten Demonstrationsanlage bei der Firma FNE Entsorgungsdienste Freiberg GmbH die Feststoffchlorierung von Seltenerdmagneten im Kilogrammmaßstab untersucht. Bei Erfolg wird die Feststoffchlorierung in den nächsten Jahren dazu beitragen, das Seltenerdrecycling wirtschaftlicher und zugleich nachhaltiger zu gestalten.

Danksagung

Der Einstieg in die Feststoffchlorierung war nicht leicht, und umso mehr schätze ich meine Kollegen und Freunde, die mich in den letzten Jahren mit Rat und Tat unterstützt haben. Mein Dank gilt Herrn Prof. Martin Bertau, der mir das Vertrauen schenkte und die Freiheit gab, diese Methode so eingehend untersuchen zu können. Ich danke den vielen Kollegen, vor allem Herrn Sebastian Hippmann, Frau Anja Obst und Frau Sabine Gilbricht, auf deren Erfahrung ich bei zahlreichen Analysen bauen konnte. Vielen Dank auch an die Mitarbeiter des Betriebsbereichs der Fakultät, die mir mit großem Engagement sowohl die Sublimationsreaktoren als auch den Drehrohrofen gebaut haben. Wenn ich mich in den letzten Jahren auf eines verlassen konnte, dann auf die rückhaltlose Unterstützung durch meine Freunde, meine Eltern und meinen „kleinen“ Bruder. Ich danke Euch für alles!

Literaturverzeichnis

1 J. Gambogi, *Mineral Commodity Summaries 2019, Rare Earths*, 2019.
2 T. Lorenz, *Dissertation*, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, 2018.
3 a) T. Lorenz, M. Bertau, *Journal of Cleaner Production* 2019, 118980;
b) T. Lorenz, M. Bertau, *Journal of Cleaner Production* 2019, *215*, 131.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2019:

Intermetallische Phasen und Phasenbildung während der Erstarrung von Fe-haltigen Al–Si-Legierungen mit Mg, Mn und Cr – Ein Beitrag zum Recycling von Al–Si-Legierungen

Hanka Becker

Einleitung

Aluminium(Al)-Gusslegierungen sind enorm vielseitige Werkstoffe. Das ist insbesondere ihrer guten Formbarkeit, Bearbeitbarkeit und Gusseigenschaften bei hohen Festigkeiten und Korrosionsbeständigkeiten sowie ihrer geringen Dichte zuzuschreiben. Diese Legierungen sind von großer Bedeutung z. B. im Verkehrswesen, Maschinen- und Anlagenbau und der Elektrotechnik [Alu]. Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft und der Nachhaltigkeit von Ressourcen ist die Nutzung von sekundären, das heißt recycelten, Al-Gusslegierungen von großem Interesse. Auch die Energieeinsparung für die Herstellung von sekundären Al-Gusslegierungen ist beachtlich und beträgt nur 5 Prozent der Primäraluminiumerzeugung [Tay11].

Beim Recyclingprozess oder durch den Einsatz eisen(Fe)-haltiger Werkzeuge bei der Verarbeitung von Al-Legierungen reichert sich Fe in den Al-Legierungen an [Zha12, Mbu03], so dass sekundäre Al-Legierungen oft mit Fe verunreinigt sind. Dabei wird Fe als eines der wichtigsten metallischen verunreinigenden Elemente eingestuft. In sekundären Al–Si-Legierungen, die im Fokus dieser Forschung standen, gilt ein Fe-Gehalt von über einem Gewichtsprozent als schädlich [Zha12].

Fe kann zur Bildung von Fe-haltigen, intermetallischen Phasen in Form von Partikeln in Al–Si-Legierungen führen *(Abbildung 1).* Eine *intermetallische Phase* liegt vor, wenn eine spezifische Kristallstruktur aus zwei oder mehr Elementen mit metallischem Charakter besteht, welche systematisch und oft sehr komplex angeordnet sind. Oft treten die Fe-haltigen intermetallischen Partikel in einer plattenförmigen Morphologie oder großen kompakten Form auf. Beide Partikelarten haben einen schädlichen Einfluss auf die mechanischen und gießtechnologischen Eigenschaften, da sie Rissauslösung unter Beanspruchung begünstigen, harte Stellen bei der Bearbeitung darstellen und das porenfreie Erstarren nach dem Guss behindern. Diese Partikelarten werden auch als Schlamm, der sogenannten *sludge*, bezeichnet, wenn diese im festen Zustand in sonst flüssiger Al-Schmelze vorliegen und sich wie ein Schlamm an Tiegelboden und -wand sammeln. Mit der steigenden Wichtigkeit eines degradationsfreien bzw. degradationsarmen Recyclings von Al-Legierungen steigt die Notwendigkeit mit den Fe-Verunreinigungen umzugehen. Das kann entweder

(1) durch die Modifizierung der schädlichen Morphologie der Fe-haltigen, intermetallischen Partikel in harmlose Bestandteile des Gefüges erfolgen oder auch

(2) durch die Entfernung des Fe aus den sekundären Al–Si-Legierungen erreicht werden.

Die Voraussetzung zur Nutzung der beiden Ansätze ist das Verständnis der intermetallischen Phasen im Sinne ihrer Kristallographie und damit der methodischen Notwendigkeiten diese intermetallischen Phasen im Material zuverlässig zu identifizieren. Darauf aufbauend kann durch die Charakterisierung der *Gefüge* (Art und Anordnung der Phasen im Material) die Phasenbildung bei der Erstarrung in sekundären Al–Si-Legierungen gezielt unter dem Einfluss von Abkühlgeschwindigkeiten und Legierungselementen untersucht werden, um Rückschlüsse auf (1) und (2) ziehen zu können.

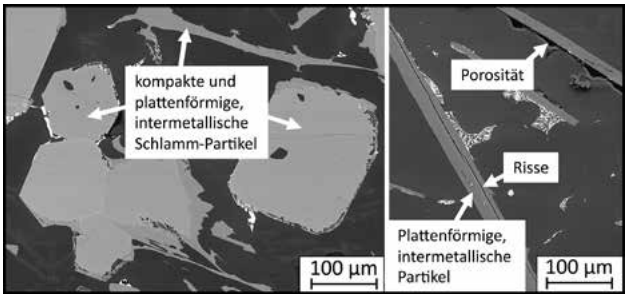


Abb. 1: Fe-haltige intermetallische Partikel in einer sekundären Al-Si Legierung (Rückstreuelektronenkontrast im Rasterelektronenmikroskop). Die Probe wurde vom Gießerei-Institut (TU Bergakademie Freiberg) bereitgestellt.

Die intermetallischen Phasen

Auf die zuverlässige Identifizierung und Charakterisierung der in diesen Untersuchungen von sekundären Al–Si-Legierungen besonders relevanten intermetallischen Phasen β, δ, α_h und α_c *(Tabelle 1)*, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden, wurde ein besonderes Augenmerk gelegt.

Die plattenförmige Morphologie ist charakteristisch für die β-Phase, welche im Phasengleichgewicht für die untersuchten Legierungszusammensetzungen zu erwarten ist. In den plattenförmigen Partikeln in dieser Arbeit waren deutliche Kontrastunterschiede bei der Abbildung im Rückstreuelektronenkontrast aufgefallen, die einen noch nicht berichteten mehrphasigen Charakter der plattenförmigen Partikel angezeigt hat [Bec19a]. Aus Literaturberichten [Kra06] ist bekannt, dass die für deutlich andere Legierungszusammensetzungen im System Al–Fe–Si vorkommende δ-Phase ebenfalls plattenförmige Partikel ausbildet. Die Verwandtschaft der Kristallstrukturen der β-Phase und der δ-Phase konnte aufgezeigt sowie ihr eigenständiger Phasencharakter und das gemeinsame Auftreten in den plattenförmigen Partikeln außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts nachgewiesen werden *(Abbildung 2).* Diese Erkenntnis erlaubt den Erstarrungspfad unter Nicht-Gleichgewichtsbedingungen nachzuvollziehen und Fenster von Prozessparametern zu finden, für welche die Bildung der plattenförmigen Partikel unterdrückt werden kann.

Die großen kompakten Partikel bestehen entweder aus der hexagonalen α_h- oder der kubischen α_c-Phase, welche aufgrund ihrer thermodynamischen und kinetischen Eigenschaften unterschieden werden müssen. Die Bildung der α_h-Phase wird unter Nicht-Gleichgewichtsbedingungen bei der Erstarrung unterdrückt, während die Bildung der α_c-Phase begünstigt wird. Insbesondere kann die α_c-Phase neben den großen kompakten Partikeln auch eine grob dendritische Morphologie oder die sogenannte *Chinese-script*-Morphologie aufweisen *(Abbildung 3).* Damit bildet die α_c-Phase die Grundlage sowohl für die Entfernung von Fe in Form der großen kompakten Partikel als auch für die Modifizierung der schädlichen Platten in eine harmlosere Form, wobei die angestrebte Morphologie die *Chinese-script*-Form ist.

Tabelle 1: Intermetallische Phasen in Fe-haltigen Al–Si-Legierungen

Phase	Formel
α_h	$Al_{7.1}Fe_2Si$
α_c	$Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$
β	$Al_{4.5}FeSi$
δ	Al_3FeSi_2

Einfluss von Mn und Abkühlraten auf die Ausbildung von Art und Morphologie der intermetallischen Partikel

In Kombination einer gezielten Einstellung des Mangan(Mn)-Gehaltes bzw. des Mn/Fe-Verhältnisses mit geeigneten Abkühlraten kann die Art, Größe und Morphologie der Fe-haltigen intermetallischen Partikel stark variiert werden. Ziel ist, dass möglichst keine schädlich wirkenden plattenförmigen oder großen kompakten intermetallischen Partikel vorliegen und stattdessen möglichst rundliche und feine Partikel als harmlose Bestandteile des Gefüges gebildet werden. Insbesondere die Bildung von Partikeln in der feinen *Chinese-script*-Morphologie der α_c-Phase wird angestrebt.

Der Einfluss von Mn mit x_{Mn} = 0, 0,3, 0,375, 0,6, 0,75 at% und Abkühlgeschwindigkeiten von 0,05, 1,4, 11,4 und 200 K/s auf die Bildung intermetallischer Phasen in sekundären Al7,1Si(1,5−x_{Mn})Fe(x_{Mn})Mn Modell-Legierungen wurde untersucht [Beck19b]. Diese Abkühlraten decken viele technisch relevante Abkühlraten ab, z. B. bei den Gießtechnologien Kokillenguss mit 1–10 K/s und Druckguss mit 10–100 K/s [Shi11].

In der Legierung ohne Mangan wird die Bildung der α_h-Phase bei vergleichsweise hohen Abkühlraten unterdrückt und die Bildung der unerwünschten, plattenförmigen Partikel aus der β- und δ-Phase gefördert. In den Legierungen mit Mn wird mit steigendem Mn-Gehalt die Bildung von Partikeln der α_c-Phase in der *Chinese-script*-Morphologie begünstigt, welche die plattenförmigen Partikel aus der β- und δ-Phase ersetzen. Weiterhin wird durch einen steigenden Mn-Gehalt, insbesondere

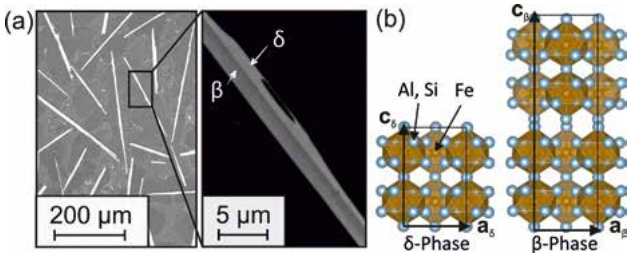


Abb. 2: a) Plattenförmige Partikel in einer Fe-haltigen Al–Si-Legierung. Eine Kontrastverstärkung zeigt die Kontrastunterschiede durch die Präsenz der β- und δ-Phase innerhalb einer Platte. b) Die verwandten Kristallstrukturen der β- und δ-Phase.

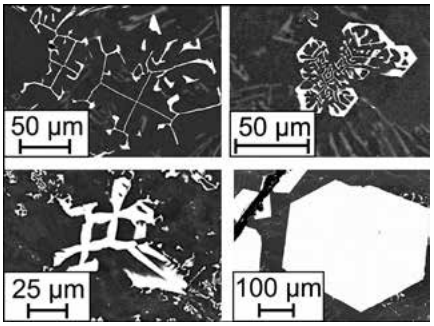


Abb. 3: Unterschiedliche Morphologien der α_c-Phase in einer Fe-haltigen Al–Si-Legierung. Oben: Varianten der *Chinese-script*-Morphologie, Unten links: Grob dendritische Form, Unten rechts: Große kompakte Form.

bei geringen Abkühlgeschwindigkeiten die Bildung primärer Fe-haltiger intermetallischer Phasen in Form von großen Partikeln, dem Schlamm, gefördert. Während die α_c-Phase bei mittleren Abkühlgeschwindigkeiten und einem entsprechenden Mn-Gehalt ausschließlich gebildet werden kann, entstehen bei hohen und niedrigen Abkühlgeschwindigkeiten zusätzlich plattenförmige Partikel. In diesen dominiert bei niedrigen Abkühlgeschwindigkeiten die β-Phase und bei hohen Abkühlgeschwindigkeiten die δ-Phase. Die Phasenanteile in den entsprechenden Morphologien in Abhängigkeit vom Mn-Gehalt und den Abkühlbedingungen sind in *Abbildung 4* zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass kinetische Effekte in Kombination mit der chemischen Zusammensetzung der Al-Si-Legierungen einen wesentlichen Einfluss auf den Erstarrungspfad haben. Diese beeinflussen während der Erstarrung Keimbildung, Wachstum und Phasenumwandlungen und damit das resultierende Gefüge.

Schmelzekonditionierung zur Entfernung des Fe aus sekundären Al–Si-Legierungen

Der Fe-Gehalt in sekundären Al-Si-Legierungen kann im Prinzip durch das Abbinden von Fe in festen Fe-haltigen intermetallischen Partikeln in einer flüssigen Al-Schmelze und deren Separierung gesenkt werden. Dabei bestimmt die Art und Menge der gebildeten intermetallischen Partikel des Schlamms, wie viel Fe potenziell entfernt werden kann. Art und Menge können durch die Hinzugabe von Elementen wie Mn und Cr sowie von Temperatur und Zeit der Schmelzebehandlung beeinflusst werden. Eine gezielte Einstellung dieser Parameter, hier zum Zweck einer maximalen Fe-Entfernung durch eine Metallschmelzefiltration im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 920, wird als *Schmelzekonditionierung* bezeichnet [Zha12, Die17, Bec18].

Die Bildung von Schlamm in der Al-Si-Schmelze wurde anhand von Al7,1Si(1,5−x_M)Fe(x_M)M-Modell-Legierungen mit M = Mg, Mn, Cr und x_M = 0, 0,3, 0,6, 0,9, 1,2, 1,5 at% hinsichtlich der Entfernung von Fe durch die Separation des Fe-haltigen Schlammes von der dann Fe-verarmten Al-Schmelze analysiert. Magnesium (Mg) ist dabei ein typisches, gewünschtes Legierungselement. Mn und Chrom (Cr) sind Zusätze, um die Schlammbildung zu beeinflussen.

Die Differenz-Thermoanalyse wurde genutzt, um die Temperaturen, bei denen die Schlammbildung T_L einsetzt und die Erstarrung des Al-Mischkristalls $T_{S\text{-}Al}$ beginnen kann, zu bestimmen. Die auf dieser Basis gewählte Konditio-

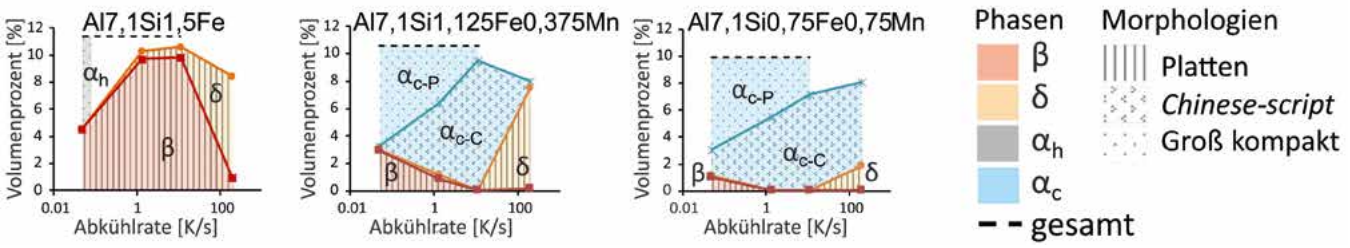


Abb. 4: Phasenanteile in den entsprechenden Morphologien in Abhängigkeit vom Mn-Gehalt und den Abkühlraten.

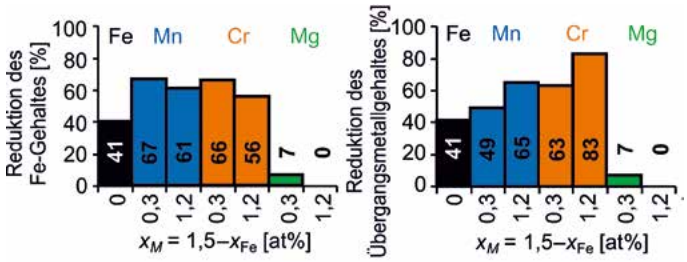


Abb. 5: Reduktion des Fe-Gehaltes bzw. des Übergangsmetallgehaltes in Al7.1Si(1.5–x_M)Fe(x_M)M-Modell-Legierungen mit M = Mg, Mn, Cr mit verschiedenen x_M-Gehalten.

nierungstemperatur von 620 °C liegt für alle Legierungszusammensetzungen etwas über der Temperatur, bei der die Erstarrung des (Al)-Mischkristalls beginnt.

Bei 620 °C hat sich in Legierungen mit x_{Mg}≥0,6 at% im Gegensatz zu allen anderen Zusammensetzungen kein Schlamm gebildet. Die α_h-$Al_{7.1}FeSi$-Phase ist verantwortlich für die Abbindung des Fe in der ternären Al7.1Si1.5Fe-Legierung und in der Legierung mit x_{Mg}=0,3 at%, während das Mg in der Schmelze verbleibt. The α_c-$Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$-Phase ist verantwortlich für das Abbinden von Fe aus den Schmelzen mit Mn und Cr. Die $(Al,Si)_2Cr$- und die $Al_{13}Cr_4Si_4$-Phase binden zusätzlich Cr. So wird für ein steigendes $x_M/(x_M+x_{Fe})$-Verhältnis mit M = Mn, Cr bis zu x_M=1,2 at% eine relative Senkung des Fe-Gehalts auf 67 % erreicht, während der Übergangsmetallgehalt um 65 % bzw. 83 % mit steigendem Mn- und Cr-Gehalt sinkt *(Abbildung 5)*.

Zusammenfassung

Die Untersuchung der intermetallischen Phasen und Phasenbildung während der Erstarrung von Fe-haltigen Al-Si-Legierungen mit Mg, Mn und Cr liefert einen Beitrag zum Recycling von Al-Si-Legierungen. Die Arbeit zeigt Möglichkeiten für den Umgang mit Fe-Verunreinigungen auf. Dies kann durch die Modifizierung der schädlichen Morphologie der Fe-haltigen, intermetallischen Partikel in harmlose Bestandteile des Gefüges oder auch durch die Entfernung des Fe aus den sekundären Al-Si-Legierungen erreicht werden.

Als Voraussetzung dafür wurden die beteiligten, hochrelevanten intermetallischen Phasen untersucht, insbesondere mit Blick auf deren Kristallstruktur, einer zuverlässigen Identifizierung in den Gefügen und den dafür methodischen Notwendigkeiten. So wurde die Verwandtschaft der β- und δ-Phase aufgezeigt und typische Bedingungen für das Auftreten der α_h- und α_c-Phase beschrieben.

Auf diesem Verständnis aufbauend wurde die Phasenbildung bei der Erstarrung in sekundären Al-Si-Legierungen gezielt unter dem Einfluss von Mn und Abkühlgeschwindigkeiten untersucht. Kinetische Effekte in Kombination mit der chemischen Zusammensetzung der Legierung erlauben, den Typ der sich bildenden Phasen und deren Morphologie in einem weiten Bereich zu variieren. Die für die Eigenschaften vorteilhafte α_c-Phase in *Chinese-script*-Morphologie bildet sich dabei nur in einem sehr kleinen Fenster ausschließlich, während gleichzeitig keine plattenförmigen und großen kompakten Partikel auftreten. In den Mn-freien Legierungen ist die Bildung von Partikeln mit *Chinese-script*-Morphologie und Unterdrückung der plattenförmigen Partikel nicht möglich.

Eine Schmelzekonditionierung mit Mn und Cr kurz oberhalb der Erstarrungstemperatur des Al kann gezielt genutzt werden, um den Gehalt des Verunreinigungselements Fe durch die Abbindung des Fe in Fe-haltigen intermetallischen Partikeln und deren Entfernung zu senken. Das gewünschte Legierungselement Mg bleibt dabei in der Schmelze.

Danksagung

Ich bedanke mich recht herzlich bei all denjenigen, die mich während meiner Promotionszeit unterstützt haben. Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Andreas Leineweber am Institut für Werkstoffwissenschaft für die ausgezeichnete Betreuung der Arbeit und Prof. Christos G. Aneziris für die Möglichkeit, die Arbeit im Rahmen des SFB 920 (gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 169148856 – SFB 920, Teilprojektnummer A07) durchzuführen, 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

[Alu] http://www.aluinfo.de/anwendung.html (19.11.2019).
[Bec18] H. Becker, A. Thum, B. Distl, M. J. Kriegel, A. Leineweber, Metall. Mater. Trans. A, 49 (2018) 6375–6389.
[Bec19a] H. Becker, T. Bergh, P. E. Vullum, A. Leineweber, Y. Li, J. Alloy. Compd. 780 (2019) 917–929.
[Bec19b] H. Becker, T. Bergh, P. E. Vullum, A. Leineweber, Y. Li, Materialia 5 (2019) 100198.
[Die17] B. G. Dietrich, H. Becker, M. Smolka, A. Keßler, A. Leineweber, G. Wolf, Adv. Eng. Mater. 19 (2017) 1700161 1–7.
[Kra06] M.V. Kral, P.N.H. Nakashima, D.R.G. Mitchell, Metall. Mater. Trans. A 37 (2006) 1987–1997.
[Mbu03] T. O. Mbuya, B.O. Odera, S. P. Ng´ang´a: Int. J. Cast Metal. Res. 16 (2003) 451–465.
[Shi11] D. Shimosaka, S. Kumai, F. Casarotto, S. Watanabe: Mater. Trans. 52 (2011) 920–927.
[Tay11] J. A. Taylor, Mater. Sci. Forum 689 (2011) 429–432.
[Zha12] L. Zhang, J. Gao, L. Nana, W. Damoah, D. G. Robertson: Mineral Processing & Extractive Metall. Rev. 33 (2012) 99–157.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2019:

Zweidimensionale axialsymmetrische Vorwärtsmodellierung für transient-elektromagnetische Felder mit Finiten Elementen

Carolin Schneider, Ralph-Uwe Börner, Klaus Spitzer, Matthias Hort

Motivation

Geophysikalische Untersuchungen basieren auf physikalischen Messungen, welche meist an der Erdoberfläche ausgeführt werden und Aussagen über die Eigenschaften des Erdkörpers bzw. des Untergrunds zulassen. Wichtige Einsatzfelder sind u. a. die Erdbebenforschung, die Rohstoffexploration, die Umweltforschung oder andere geologische Fragestellungen.

Für die Auswertung geophysikalischer Messdaten ist es notwendig, die erwartete Antwort des Untergrunds auf eine Anregung zu berechnen. Dieser Prozess wird als Vorwärtsrechnung oder Vorwärtsmodellierung bezeichnet. Die Antwort variiert mit der Verteilung jener Parameter, die für die gewählte geophysikalische Methodik relevant sind. Im Falle des transient-elektromagnetischen Verfahrens handelt es sich dabei um die elektrische Leitfähigkeit. Da es keine geschlossenen mathematischen Lösungen für diese Probleme gibt, werden numerische Näherungsverfahren entwickelt, die nur unter Einsatz der Rechenleistung großer Computer lösbar sind. Man nennt diese Verfahren daher auch Computersimulationen.

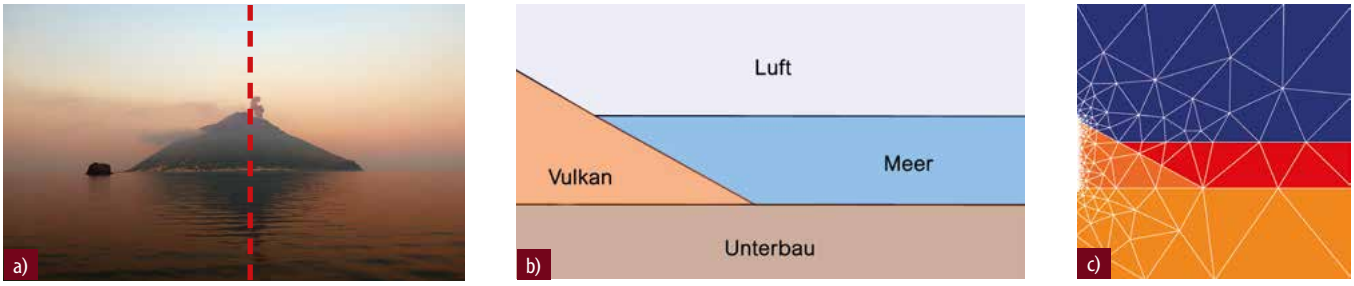


Abb. 1: Übergang vom kegelförmigen Vulkan Stromboli als realem Objekt a) zur axialsymmetrischen Abstraktion mit Gebietszerlegung b) und Triangulierung dieser Gebiete durch Dreiecksgitter c)

Mit der Komplexität des Modells steigen Rechenzeit und Speicherbedarf einer Vorwärtsrechnung, gerade im dreidimensionalen (3D)-Raum. Deshalb werden räumliche Strukturen oft vereinfacht mit zweidimensionalen (2D)-Modellen berechnet. 2D-axial-symmetrische Modelle sind besonders gut geeignet, um rotationssymmetrische Körper wie zylinder- oder kegelförmige Strukturen zu untersuchen. Diese Modelle lassen sich wie die Frontansicht eines Tortenstücks verstehen: Schneidet man ein Stück aus einer geschichteten Torte heraus, so kann man eine vertikale Schichtung beobachten, die Vorder- und Rückansicht des Stückes sind gleich. Da alle Stücke der Torte identisch sind, reicht es die Antwort eines Tortenstückes zu berechnen, um von diesem auf das gesamte Objekt schließen zu können.

Somit ist es möglich, in kurzer Zeit viele Berechnungen durchzuführen. Da der Anwendungsschwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Untersuchung von Vulkanen liegt, ist eine 2D-axialsymmetrische Behandlung des Problems gut geeignet. Die Anwendung am Vulkan in Vorbereitung einer Messkampagne ist aus vulkanologischer Sicht von großem Interesse, um Rückschlüsse auf die Magmenverteilung im Schlot zu ziehen und die Messanordung vor der Messung zu optimieren.

Vorgehen

Das transient-elektromagnetische Verfahren

Das transient-elektromagnetische Verfahren (TEM) ist eine geophysikalische Messmethode, die mithilfe einer großen stromdurchflossenen Spule ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Diese Spule wird kreisförmig oder quadratisch im Gelände ausgelegt. Durch das Abschalten des Stroms kommt es zur Ausbreitung eines induzierten elektromagnetischen Feldes im Untergrund. Das Signal dieses Feldes kann im TEM-Empfänger gemessen werden und lässt Rückschlüsse auf die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeiten im Untergrund zu. So machen sich in der Nähe befindliche metallische Erze, Magma oder versickertes Wasser aufgrund ihrer hohen Leitfähigkeit durch große Amplituden bemerkbar, während trockener Sandstein oder Asche ein schnell abklingendes Signal erzeugen. Dieser Kontrast aus gut und schlecht leitfähigen Materialien liegt an aktiven Vulkanen wie dem Stromboli (Italien) vor, welcher mehrfach stündlich eruptiert und daher ein einzigartiges Untersuchungsobjekt für diese Arbeit darstellt. Die permanente Tätigkeit des Vulkans bezeugt die Existenz von flüssigem Magma, das durch seine hohe elektrische Leitfähigkeit prinzipiell mit TEM detektiert werden kann.

Räumliche Diskretisierung

Um die vulkanologische Fragestellung numerisch zu bearbeiten, sind eine Reihe von Abstraktionen notwendig, die in *Abbildung 1* dargestellt sind. Zunächst wird das Profil des Vulkans durch einen homogenen Kegel approximiert, der auf der Lithosphäre fußt (im Modell als Unterbau bezeichnet) und oberirdisch von Luft und im Meer von Wasser umgeben ist. Allein der Kontrast von sehr gut leitfähigem Meerwasser und hochohmigem Vulkangebäude sowie die ausgeprägte Topographie stellen eine große Herausforderung für elek-tromagnetische Computersimulationen dar. Aus diesem Modell wird nun eine infinitesimal dünne Scheibe geschnitten und in die entsprechenden Gebiete Luft, Wasser, Unterbau, Vulkan und Vulkanschlot eingeteilt. Diese Teilgebiete wiederum werden in Dreiecke zerlegt. Für jedes Dreieck ist die Feldgleichung der Transient-Elektromagnetik unter Nutzung der Methode der finiten Elemente zu lösen, welche sowohl für das elektrische als auch das magnetische Feld ausgewertet wird.

Von großem Interesse ist die axialsymmetrische Abstraktion der Spule, welche bei Feldmessungen kreisförmig ausliegt. Sie kann auf eine Punktquelle reduziert werden. Ebenso wichtig ist das Einbringen der Axialsymmetrie durch die Bedingung, dass der Fluss der Felder über

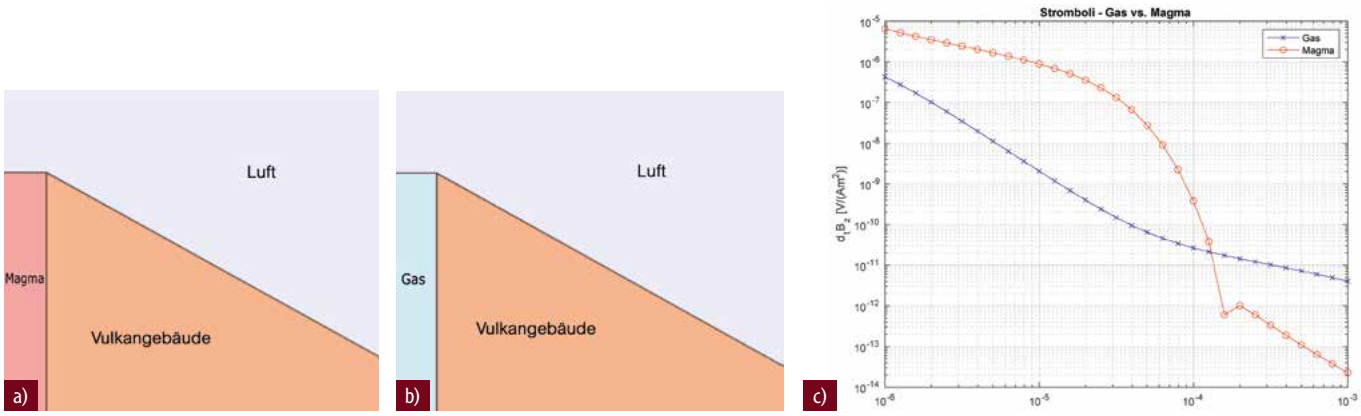


Abb. 2: Schlotgeometrie a) mit Magma und b) mit Gas sowie c) die resultierenden Messkurven für die zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte mit magma- (rot) bzw. gasgefülltem Schlot (blau).

Abb. 3: Messkampagne am Stromboli im Juni 2019: a) TEM-Empfänger am Vulkankegel, b) TEM-Sender und c) aktive Vulkankrater in der Dämmerung

die Symmetrieachse, welche sich mittig im Vulkanschlot befindet, verschwinden muss.

Zeitintegration

Da es sich bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen um einen zeitlichen Prozess handelt, ist es notwendig, die Feldgleichung für jeden beliebigen Zeitpunkt zu lösen. Mathematisch gesehen stellt dies ein Rand-Anfangswertproblem dar. Klassische Lösungsmethoden sind explizite oder implizite Zeitschrittverfahren, deren numerischer Aufwand sehr hoch ist. Daher verwenden wir das rationale Arnoldi-Verfahren, ein Projektionsverfahren, bei welchem das gestellte Problem auf einen niedrigdimensionalen Krylov-Unterraum projiziert wird, in dem es schneller lösbar ist. Die Komplexität des Lösungsvorgangs liegt hier in der Projektion und Rückprojektion der Gleichung und ihrer Lösung. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass im Gegensatz zu den Zeitschrittverfahren die Lösung nicht schrittweise errechnet, sondern für eine beliebige Zeit in einem Schritt ausgewertet wird, so dass das zeitliche Sampling effizient auf die Problemstellung angepasst werden kann.

Ergebnisse

Die zentrale Herausforderung der vorliegenden Arbeit war die Einarbeitung der Axialsymmetrie. Diese erfolgte zum einen mit der richtigen Auswahl der Randbedingungen für die Feldgleichung und zum anderen mit der Diskretisierung des elektrischen Feldes als Vektorfeld sowie durch die Inkorporation der kreisförmigen Spule als Punktquelle. Vor der eigentlichen Anwendung des Programms wurde eine Verifizierung mit Hilfe eines homogenen Halbraums durchgeführt, für den eine analytische Lösung vorliegt. Der relative Fehler lag unter sechs Prozent.

Nachfolgend wurden die Messsignale

für das Vulkanmodell berechnet *(Abbildung 2)*. Dabei wurden zwei Schlotzustände betrachtet: der magmengefüllte Schlot zwischen zwei Eruptionen und ein luftgefüllter Schlot, wie er durch Magmaspiegelschwankungen oder eine Schlotentleerung infolge einer Eruption auftreten kann. Wie *Abbildung 2* zeigt, ergeben sich für eine um den Krater positionierte Spule sehr eindeutig voneinander unterscheidbare Signale. Aus weiteren Berechnungen mit verschiedenen Sender-Empfänger-Konfigurationen kann so ein Messaufbau für ein Feldexperiment am Vulkan ermittelt werden.

Ausblick

Die vorgestellte Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Routine zur Vorwärtsrechnung mit Anwendung auf eine vulkanologische Fragestellung. Diese wurde mittlerweile auf eine 3D-Vorwärtsmodellierung mit natürlicher Topographie erweitert. Zudem wurde eine Testmessung am Vulkan Stromboli geplant und durchgeführt *(Abbildung 3)*. Anhand der örtlichen Schwierigkeiten (Zugänglichkeit, giftige Gase etc.) und aufgenommenen Daten ist eine weitere Messung in der Kraterregion in Planung, welche weitere Erkenntnisse hinsichtlich der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Schlotstruktur liefern soll und durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft in einem dreijährigen Forschungsvorhaben gefördert wird.

Literatur

Schmincke, Hans-Ulrich: Vulkanismus : mit 307 Farbabbildungen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2000.

Afanasjew, M., Börner, R.-U., Eiermann, M., Ernst, O. G., Spitzer, K., 2013. Efficient Three-Dimensional Time Domain TEM Simulation Using Finite Elements, a Nonlocal Boundary Condition, Multigrid, and Rational Krylov Subspace Methods, 5th International Symposium on Three-Dimensional Electromagnetics, May 7 – 9, 2013, Sapporo, Japan, 4p.

Börner, R.-U., Ernst, O. G., Güttel, S., 2015. Three-Dimensional Transient Electromagnetic Modeling Using Rational Krylov Methods, Geophys. J. Int., 202 (3), 1015-2043. doi: 10.1093/gji/ggv224.

Bernhard-von-Cotta-Preis 2019:

Chemiresistoren aus Goldnanopartikeln vernetzt mit linearen und zyklischen Molekülen

Alexander Schweren

Seit den 1990er Jahren ist die Synthese von sphärischen Goldnanopartikeln (AuNP) und deren Verknüpfung zu Netzwerken ebenso Gegenstand der Forschung wie die Abscheidung von selbstassemblierten Monolagen.[1-3]

Die Verwendung von Gold ist besonders interessant, weil die Nanopartikel in Abhängigkeit von ihrer Größe und Form einzigartige elektronische, magnetische und optische Eigenschaften zeigen. Werden diese AuNP durch unterschiedliche organische Moleküle zu einem Netzwerk verknüpft, entstehen sensitive Schichten, deren Eigenschaften sich stark unterscheiden können. Besonders die Form, Größe und chemische Zusammensetzung der sogenannten Linkermoleküle beeinflussen die Eigenschaften der resultierenden Chemiresistoren. Das Verständnis der Struktur-Eigenschaft-Beziehungen ist von höchstem Interesse, um sensitive Dünnschichten mit gewünschten Eigenschaften ausstatten zu können. Praktisch denkbare Anwendungsmöglichkeiten wären beispielsweise Sensoren, welche spezifische Gase nachweisen oder auch die Herstellung einer „elektronischen Nase“. Werden für diese verschiedene Netzwerke mit unterschiedlichen sensitiven Eigenschaften gemeinsam auf einen elektronischen Chip abgeschieden, können unbekannte flüchtige Gasgemische exakt untersucht und deren Bestandteile qualitativ und quantitativ ausgewertet werden. Aufgrund des herausragenden Ansprechverhaltens ist eine Gasanalyse im ppm-Bereich möglich.

Eine vielversprechende Methode zur Herstellung von Nanopartikelnetzwerken ist die Selbstassemblierung der AuNP in einer organischen Matrix. Die Variation ihrer Größe und Form sowie die der Linkermoleküle bestimmen die resultierenden Eigenschaften der hergestellten AuNP-Netzwerke. Ein besonderes Forschungsinteresse besteht darin, monodisperse, sphärische Goldnanopartikel gezielt mit unterschiedlichen organischen Linkermolekülen zu verknüpfen, um funktionsfähige Chemiresistoren mit verschiedenen sensorischen Eigenschaften herzustellen.[4-11] Da die Langzeitbeständigkeit dieser Sensoren stark von der Alterung der Netzwerke abhängt, ist die Untersuchung des Oxidationsprozesses der genannten Netzwerke unter atmosphärischer Umgebung von großer Relevanz. Ursächlich für die Alterung sind die starken Wechselwirkungen der im Netzwerk assemblierten Linkermoleküle mit dem Ozon der Atmosphäre.[10,11] Dabei kann die bestehende Vernetzung zwischen den Linkermolekülen und den AuNP gelöst bzw. freie funktionelle Gruppen oxidiert werden. Dies geht mit dem Einbau von Sauerstoff in das Netzwerk einher. Neben der genannten Langzeitstabilität sind sowohl die Sensitivität als auch die Selektivität gegenüber verschiedenen chemischen Substanzen von großer Bedeutung für die Funktion der Chemiresistoren.[5,10] Unter Bezugnahme auf bereits durchgeführte Arbeiten können sowohl detaillierte Erkenntnisse über die Struktur-Eigenschaft-Beziehungen gewonnen werden als auch eine Verbesserung der Funktionalität und Qualität hergestellter Chemiresistoren erfolgen.

In der Literatur wird beschrieben, dass das Anschwellen der selbstassemblierten Netzwerke aufgrund der Wechselwirkung mit unterschiedlichen Analytgasen und die damit verbundene messbare Widerstandsänderung als das primäre Sensorprinzip gilt.[6]

Ziel der Masterarbeit unter eingangs genanntem Titel war es deshalb, Chemiresistoren sowohl durch die Variation der molekularen Grundkette der Linkermoleküle als auch der Änderung der zur Vernetzung verwendeten funktionellen Gruppen herzustellen. Im Fokus der Untersuchungen stand dabei zum einen ihre Langzeitstabilität und zum anderen ihre Selektivität und Sensitivität gegenüber verschiedenen Analytgasen.

Zwei Vertreter linearer Moleküle, funktionalisiert mit Thiolgruppen, sowie zwei Vertreter zyklischer Moleküle, funktionalisiert mit Dithiocarbamatgruppen, stehen sich in den Versuchsreihen gegenüber *(Abbildung 1)*. Auch die Länge der Grundketten wurde innerhalb der Gruppen angepasst.

Im Netzwerkverbund gehen funktionelle Thiolgruppen kovalente Bindungen mit den AuNP ein. Die zyklischen Moleküle bilden im Netzwerkverbund eine bidentate Bindung zu den AuNP aus und sind deshalb robuster zu Gold einzuschätzen als die kovalenten Bindungen der Thiolgruppen.[12] In Konsequenz dessen können sie einen positiven Einfluss auf die Langzeitstabilität der Netzwerke haben.

Die verwendeten AuNP wurden entsprechend einer Synthese nach S. Peng et al.[13] hergestellt und liefern sphärische Nanopartikel im Größenbereich von 5.5 nm ± 2 nm. Mit Hilfe der lagenweisen Schichtabscheidung unter Verwendung eines mikrofluidischen Systems, wie es schematisch in der *Abbildung 2*[14] dargestellt ist, wurde die Selbstassemblierung der AuNP und der Linkermoleküle durchgeführt. Dabei steuert ein Computer ein 6-Wege-Ventil, welches jeweils eine Chemikalie leitet. Die Peristaltikpumpe erzeugt einen konstanten Volumenstrom und führt auf diese Weise die jeweilige Chemikalie definiert durch die Schwingquarzzelle. In dieser befindet sich ein entsprechendes Substrat, auf dem die Selbstassemblierung der Netzwerke stattfindet.

Um die Funktion der abgeschiedenen Netzwerke als Chemiresistoren zu untersuchen, wurden Experimente an einem Gasmessstand durchgeführt. Das sensitive

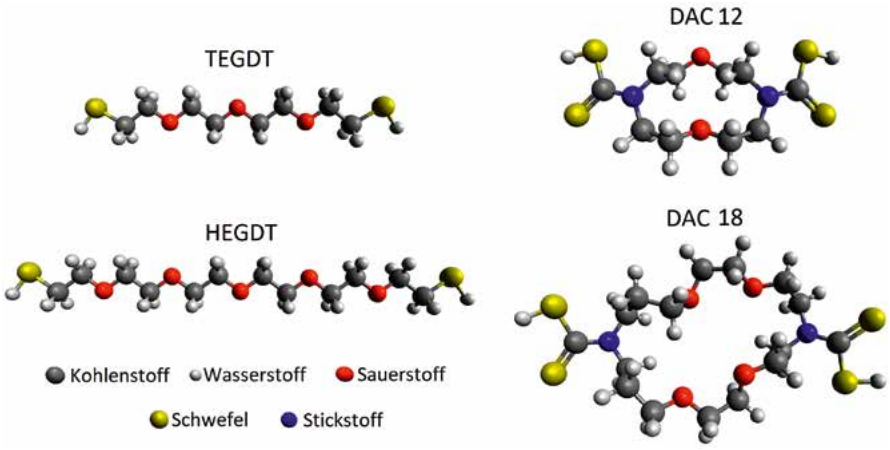


Abb. 1: Schematischer Überblick über die verwendeten Linkermoleküle zur Vernetzung der Goldnanopartikel

Verhalten gegenüber einer polaren, einer amphiphilen, einer hydrophoben und einer gering wasserlöslichen Substanz standen im Fokus der Versuche.[5,6,9] Mit Hilfe von trockener Luft als Trägergas konnte die Konzentration der Analytgase im Bereich von 100 bis zu 5000 ppm variiert werden.

Die Auswertung der erhaltenen Daten zeigt, dass die Netzwerke eine starke Selektivität gegenüber den einzelnen Analytgasen aufweisen *(Abbildung 3 (a))*. Erkennbar ist dies an den klar voneinander zu trennenden Kurvenverläufen. Diese Tatsache spricht für die Eignung der qualitativen und quantitativen Analyse eines Gasgemischs unter Zuhilfenahme der hergestellten Netzwerke.

Der Vergleich der linear vernetzten Proben verdeutlicht, dass die Sensitivität der Netzwerke für alle Analyten stark ansteigt, wenn die Länge der Grundkette der verwendeten Linkermoleküle zunimmt.[5,9] Auf diese Weise können Sensitivitäten im Bereich von zehn bis zu über 30 Prozent erreicht werden. Dem gegenüber stehen die Sensitivitäten der zyklisch vernetzten AuNP im Bereich von gerade einmal ein bis drei Prozent. Ursächlich dafür ist das schlechtere Schwellverhalten im Gegensatz zu linearen Molekülen.

Die Alterung der Proben fand in zwei Stufen statt. Zunächst wurden alle Netzwerke der sie umgebenden Atmosphäre für elf Wochen ausgesetzt. Ihre Aufbewahrung erfolgte in einer halb geöffneten Probenschachtel. Somit war ein stetiger Austausch zwischen dem für die Degradation verantwortlichen Ozon und den Netzwerken gegeben. Eine anschließende Behandlung mit einem Ozonreiniger sollte die Alterung beschleunigen und einen Langzeittest simulieren.

Für die Untersuchung der Netzwerkzusammensetzung wurden die hergestellten Dünnschichten mittels Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) untersucht. Mit Hilfe dieser Analysemethode ist eine Aussage hinsichtlich der Bindungszustände der im Netzwerk enthaltenen Atome im Ausgangszustand und in Abhängigkeit vom Alterungsprozess möglich. Für die Beurteilung der Degradation der Netzwerke sind die Schwefelsignale am repräsentativsten, da sie den direkten Vernetzungsgrad zwischen Linkermolekülen und AuNP widerspiegeln.

Im Ausgangszustand unterscheiden sich die Netzwerke kaum. Gebundene und freie funktionelle Gruppen können jeweils nachgewiesen werden. An Sauerstoff gebundene Schwefelatome sind nicht zu erkennen. Am Ende der Alterungsversuche unterscheiden sich die Netzwerke jedoch gravierend. Gleich ist beiden, dass die freien funktionellen Gruppen mit Sauerstoff reagierten. Dies begründet den Nachweis oxidierter Schwefelatome. Zusätzlich wurden die kovalenten Schwefel-Gold-Bindungen der Thiolgruppen gelöst, wodurch sich der Vernetzungsgrad drastisch verschlechterte.

Die Bestätigung des beschriebenen Effekts kann durch einen, im Anschluss an die elfwöchige Lagerung durchgeführten Sensortest, belegt werden. Die Messergebnisse der gealterten Proben sind in *Abbildung 3 (b)* dargestellt. Der Verlust der messbaren Widerstandsänderung ist für alle Proben erkennbar. Jene Netzwerke, die mittels kovalenter Bindungen vernetzt sind, zeigen jedoch ein gänzlich verändertes Sensorverhalten. Bei den zuletzt genannten nehmen die Widerstandsänderungen bis zu 90 Prozent ab und liegen folglich bei zwei bis 3 Prozent für alle Analyten. Zwar zeigen auch die DAC-Proben erhebliche Sensitivitätsverluste, doch bleibt der Messbereich vergleichbar zum Ausgangszustand. Anhand der bereits in der Literatur beschriebenen Alterungsexperimente mit Thiol vernetzten sensitiven Schichten[9] kann resümiert werden, dass eine weitere Degradation der Bindungen dieser Schichten erfolgt. Dieser Prozess wird letztlich auch dazu führen, dass es zu einer vollständigen Auflösung der Vernetzung kommt und die Funktion

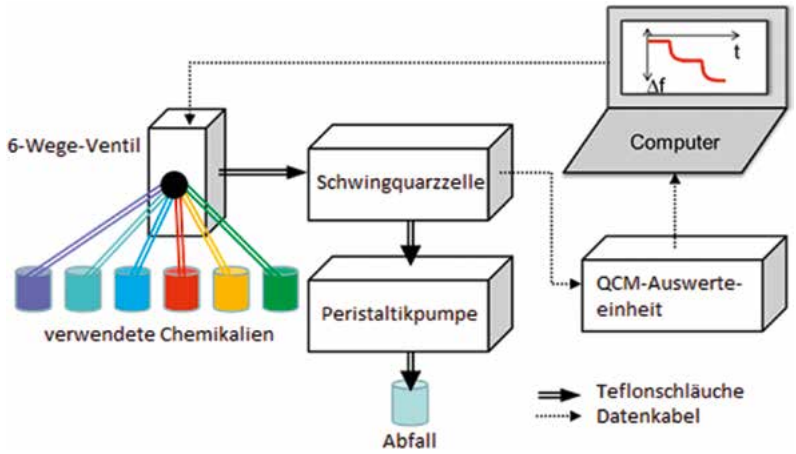


Abb. 2: Vereinfachter Aufbau des zur Netzwerkabscheidung verwendeten mikrofluidischen Systems

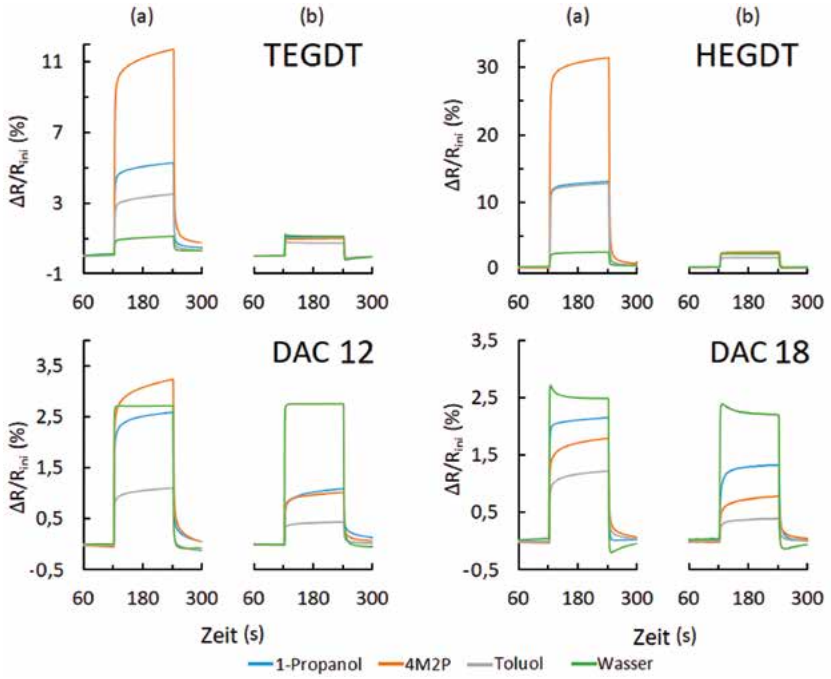


Abb. 3: Sensitives Verhalten nicht gealterter Netzwerke (a) gegenüber gealterten Netzwerken (b).

als Chemiresistor verloren geht. Weitere XPS-Ergebnisse der mit Dithiocarbamat vernetzten Proben zeigen, dass diese auch nach weiterer Ozonbehandlung als funktionsfähig angesehen werden können, da sich die Bindungszustände nicht signifikant verschlechtern.

Zusammengefasst kann man sagen, dass die genannten Einflussfaktoren der Molekülkettenlänge und der funktionellen Gruppen erhebliche Bedeutung für die Funktion und die Langzeitstabilität der Chemiresistoren haben. Für weitere Arbeiten ist deshalb die Verwendung möglichst langkettiger Polyethylenglycole mit funktionellen Dithiocarbamatgruppen erstrebenswert. Auf diese Weise kann das außerordentlich gute sensitive Verhalten mit der Langzeitstabilität gegen oxidative Prozesse vereint werden.

Ein theoretisch mögliches Zielmolekül ist in der nachstehenden *Abbildung 4* gezeigt.

Abb. 4: Zielmolekül für die Herstellung hochsensitiver und langzeitstabiler Goldnanopartikelnetzwerke

Quellen

1 Brust, M.; Bethell, D.; Kiely, C. J.; Schiffrin, D. J. Langmuir, Vol. 14, No. 19, 1998, 5425-5429.
2 Bethell, D.; Brust, M.; Schiffrin, D. J.; Kiely, C. J. Journal of Electroanalytical Chemistry, 409, 1996, 137-143.
3 Leibowitz, F. L.; Zheng, W.; Maye, M. M.; Zhong, C.-J. Analytical Chemistry, Vol. 71, No. 22, 1999, 5076-5083.
4 Haick, H. J. Phys. D: Appl. Phys., 40, 2007, 7173-7186.
5 Vossmeyer, T.; Joseph, Y.; Besnard, I.; Harnack, O.; Krasteva, N.; Guse, B.; Nothofer, H.-G.; Yasuda, A. Proc. of SPIE, Vol. 5513, 2004, 202-212.
6 Joseph, Y.; Peic, A.; Chen, X.; Michl, J.; Vossmeyer, T.; Yasuda, A. J. Phys. Chem. C, 111, 2007, 12855-12859.
7 Krasteva, N.; Guse, B.; Besnard, I.; Yasuda, A.; Vossmeyer, T. Sensors and Actuators B, 92, 2003, 137–143.
8 (8) Joseph, Y.; Guse, B.; Yasuda, A.; Vossmeyer, T. Sensors and Actuators B, 98, 2004, 188–195.
9 Joseph, Y.; Besnard, I.; Rosenberger, M.; Guse, B.; Nothofer, H.-G.; Wessels, J. M.; Wild, U.; Knop-Gericke, A.; Su, D.; Schlögl, R.; Yasuda, A.; Vossmeyer, T. J. Phys. Chem. B, Vol. 107, No. 30, 2003, 7406-7413.
10 Joseph, Y.; Guse, B.; Nelles, G. Chem. Mater., Vol. 21, No. 8, 2009, 1670-1676.
11 Willey, T.M.; Vance, A. L.; van Burren, T.; Bostedt, C.; Ter-minello, L. J.; Fadley, C. S. Surface Science, 576, 2005, 188–196.
12 Zhao, Y.; Perez-Segarra, W.; Shi, Q.; Wei, A. J. Am. Chem. Soc., 127, 2005, 7328-7329.
13 Peng, S.; Lee, Y.; Wang, C.; Yin, H.; Dai, S.; Sun, S. Nano Research, 1, 2008, 229-234.
14 Daskal, Y.; Tauchnitz, T.; Güth, F.; Dittrich, R.; Joseph, Y. Langmuir, 33, 2017, 11869-11877.

Erfahrungen eines Barbarbastipendiaten

Bis ich endlich an der TU Bergakademie in Freiberg angekommen war, musste ich einen langen Weg zurücklegen und allerhand erledigen. Zunächst hatte ich ein 5-Jähriges Studium im September 2014 in Syrien/Homs im Bereich Erdöl- und Erdgastechnik abgeschlossen. Kurz danach kam ich im November 2014 nach Deutschland, nach Braunschweig, und musste dort auch ein Englisch-Zertifikat (IELTS) erwerben, damit ich das Studium „Groundwater Management“ in Freiberg antreten konnte. Ich wollte keine Zeit verlieren, deshalb fing ich direkt nach meiner Ankunft in Deutschland an, mir Englisch und Deutsch im Selbststudium anzueignen – Englisch für das Studium und Deutsch für den Alltag und für die Arbeit. Obwohl ich von meinem Onkel nach Deutschland eingeladen worden war, musste ich selbstverständlich arbeiten, um Geld zu verdienen und mein Leben auch vor Aufnahme meines Studiums zu finanzieren. Natürlich war das sehr schwierig mit den noch sehr spärlichen Deutschkenntnissen; aber dennoch hatte ich Glück und konnte diverse Jobs in Hotels und Restaurants finden.

Sechs Monate später bestand ich dann die Englisch-Prüfung und durfte im Oktober 2015 mit meinem Studium in Freiberg anfangen. Da ich weiterhin intensiv auch Deutsch gelernt hatte, konnte ich neben meinem Studium einen Deutschkurs mit dem Niveau-Ziel B1 an der Uni besuchen.

Die Entscheidung ist auf das genannte Studienfach gefallen, da das Wasser bzw. Grundwasser und die Umwelt in unserer Zeit ein wichtiges Thema geworden sind. Bei der Recherche nach einer erstklassigen Universität im Bereich Geowissenschaften und Umwelt stieß ich auf die TU Bergakademie Freiberg. Die TU Freiberg ist ja international für die Bereiche Geo- und Ressourcen-Wissenschaften bekannt. Das Studium „Groundwater Managmenet“ erweist sich als eine sehr gute Kombination aus hydrogeologischen und betriebswirtschaftlichen Fächern. Es wurde von Herrn Prof. Broder Merkel ins Leben gerufen, der für seine internationalen Projekte und seine Kompetenz in diesem Bereich bekannt ist.

Mit Unterstützung durch ein BAFöG-Stipendium konnte ich mein Studium finanzieren. Kurz nach dem Anfang meines Studiums bekam ich vom Studierendenbüro die Nachricht, dass der VFF der TU Bergakademie Freiberg mir einen Laptop schenken möchte. Darüber habe ich mich sehr gefreut. Den Laptop habe ich während meines ganzen Studiums benutzt. Zusätzlich hat mich der VFF auch während meiner Masterarbeitszeit finanziell unterstützt.

Diese finanzielle Hilfe hat es mir ermöglicht, mich auf mein Studium zu konzentrieren und sogar auch meine Familie und meine Frau in Syrien zu unterstützen, mit denen ich ab und zu per Video oder auch konventionell telefoniert habe.

Um meine Kenntnisse zu den in den Vorlesungen behandelten Theorien zu verbessern, wollte ich diese direkt auch in die Praxis umsetzen. Deshalb habe ich 2016 ein Praktikum bei der Landestalsperrenverwaltung und 2017 eines bei der esri GmbH absolviert. Dort konnte ich gut brauchbare Kenntnisse für meine zukünftige Karriere erwerben. Anschließend schrieb ich meine Masterarbeit bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zum Thema „Bewertung der Vulnerabilität von Grundwasservorkommen gegenüber dem Klimawandel in der Region Salamt in Tschad“ (auf Deutsch). Bei der Verteidigung der Masterarbeit war es mir ein Vergnügen, dass Frau Dr. Bornkampf unter den Besuchern war.

Nach meinem Abschluss im März 2018 begann ich, unverzüglich nach einem Job zu suchen. Zum Glück konnte ich einen solchen beim DVGW-Technologiezentrum Wasser finden, und meinem Studium in Freiberg habe ich diesen Job wohl auch zu verdanken. Da mir Bildung sehr wichtig ist, versuche ich, zusätzliche Kenntnisse zu erwerben, beispielsweise Programmierkenntnisse. In Zukunft möchte ich den Bereich Hydrogeologie und das einschlägige Management richtig beherrschen und auf diesem Gebiet ein Experte sein.

Während meines Lebens in Freiberg haben sich für mich viele schöne Erinnerungen und Erfahrungen angesammelt und ich habe sehr interessante Leute, Studenten, Doktoranden und Professoren (z. B. Professor Reich vom Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau) kennengelernt, die ich bis jetzt ab und zu kontaktiere.

■ **Rabea Muhrez**

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.

Für ein Jahr an der Sankt Petersburger Bergbauuniversität

Foto: Christoph Faist

Die Kasaner Kathedrale in Sankt Petersburg

Sankt Petersburg – die kulturelle Hauptstadt Russlands, ein Freilichtmuseum, eine wunderschöne Stadt zu jeder Jahreszeit: Im Winter auf dem gefrorenen Fluss und Meer spazieren, im Frühling durch die Blumenmeere der zahlreichen Parkanlagen flanieren, sommers die weißen Nächte bestaunen und im Herbst … nun ja, im Herbst gibt es eine Menge Regen. Doch immer pulsiert das Leben.

An der Bergbauuniversität „Gornyi" hingegen lief die Bürokratie sehr schleppend an, bedingt durch einerseits die sehr strenge Hierarchie, ausgehend vom Rektor, zum anderen durch die schlechte Kommunikation. In den ersten Wochen waren wir fünf Freiberger Studenten aufgrund fehlender Ansprechpartner meist auf uns allein gestellt, was bei höchstens Grundlagenkenntnissen der russischen Sprache besonders in den zahlreichen Ämtern der Stadt fatal ist. Details zum Auslandsaufenthalt, wie beispielsweise die Beschaffung von Studentenausweis, Uniform und elektronischer Zutrittskarte zu Universität und Wohnheim: Das nahm sechs Wochen in Anspruch, das Stipendium kam drei Monate nach Ankunft und erst nach eigenständiger Beschaffung der Bankkarten.

Der Stundenplan war sehr voll, daher gab es wenig Zeit für außeruniversitäre Dinge wie die Erkundung der Stadt bzw. Reisen in nahegelegene andere Städte und Orte. Stattdessen viel Leerlauf durch Bürokratie oder schlechte Organisation. Die Professoren und Dozenten der Universität waren stets sehr aufgeschlossen, freundlich und zuvorkommend, die Studenten hingegen bis auf wenige Ausnahmen sehr verschlossen. Spricht man jedoch auf Russisch mit ihnen, blühen sie nach wenigen Sätzen regelrecht auf. Aufgrund der sprachlichen Schwierigkeiten auf beiden Seiten waren die englischen Vorlesungen meist sehr einfach gehalten, die russischen Vorlesungen als Teil des regulären Curriculums am Gornyi sind deutlich komplexer und insbesondere in der Lagerstättenlehre von hoher Qualität.

Der Sommer war ein persönlicher Höhepunkt für mich: Zur Sommersonnenwende besuchte ich Murmansk im hohen Norden, den Juli verbrachte ich größtenteils in Südrussland und in Moskau. Für August plante ich eine große Sibirienreise: Von Wladiwostok ausgehend Richtung Westen über Chabarovsk, Irkutsk am Baikal-See, Krasnojarsk, Novosibirsk, Omsk und schließlich Ekaterinburg, wo ich mich mit im Vorjahr während der Sommerschule in Chelyabinsk gewonnenen Freunden traf. Die gesamte Reise dauerte knapp vier Wochen und wird immer einen besonderen Platz in meinem Leben einnehmen. Die Landschaft, die Seen, die Dimensionen – einfach alles war schlichtweg atemberaubend. Und die teils sehr langen Zugfahrten (bis zu 72 Stunden) konnte ich für interkulturellen Austausch mit den Einheimischen sowie zur Verbesserung meiner Sprachkenntnisse nutzen.

Pünktlich Anfang September wurde ich von meinen Reisen zurückbeordert – nur, um dann einen Monat im Wohnheim herumzusitzen. Niemand war erreichbar oder wusste etwas, der Büro-Marathon des ersten Semesters wiederholte sich, die Frustration stieg. Am Ende hatte ich immerhin genügend Quellen zusammen, um mir den Plan selbst zusammenzustellen, sodass ich Anfang Oktober endlich zu studieren beginnen konnte. Eine zentrale Rolle sollte auch das versprochene Stipendium in Höhe von 220 € pro Monat einnehmen: Nachdem bei Ankunft für mehrere Monate überhaupt keine Informationen darüber vorlagen, wurde es ohne nachvollziehbare Gründe auf 150 € reduziert. Im zweiten Semester dasselbe Spiel, bis Dezember keine Information, danach wurden immerhin die Wohnheimkosten übernommen. Diese Änderungen führten zu großen Lücken im Budget.

An meinem Wunsch, nach Beendigung des Studiums nach Russland zurückzukehren, hat dies alles jedoch nichts geändert. Im Gegenteil: Es gibt noch so viel zu sehen … An dieser Stelle möchte ich ein großes Dankeschön an den VFF aussprechen für die finanzielle Unterstützung im vergangenen Jahr!

■ **Christoph Faist**

Kurzbericht zum Field Trip nach Südafrika

Wenn es um die Herstellung von Stahl geht, sind zwei Metalle unverzichtbar: Eisen und Mangan. Bei der Sättigung des globalen Rohstoffhungers nach Eisen- und Manganerzen zur Stahlherstellung spielt Südafrika eine entscheidende Rolle. BIF (Banded Iron Formation)-assoziierte Lagerstätten, die in der nördlichen Kapprovinz auftreten, zählen zu den wichtigsten Lagerstättentypen für die Gewinnung von Eisen und Mangan in Südafrika.

Anfang Dezember 2019 nahm ich am „17th Freiberg Short Course in Economic Geology: Iron- and Manganese deposits“ am Helmholtz Institut Freiberg (HIF) teil. Nach spannenden Vorträgen konnte ich mit Dr. Jens Gutzmer (Helmholtz-Institut Freiberg) und Prof. Albertus Smith (Universität Johannesburg) ein Thema für meine Masterarbeit vereinbaren: *„Effects of hydrothermal fluid-rock interaction on hematite conglomerates of the Paleoproterozoic Gamagara/Mapedi Unconformity, Northern Cape Province, South Africa“*. Die Hämatit-Konglomerate der Gamagara/Mapedi-Diskordanz markieren dabei eine prominente Erosionsfläche, die auch die Fe- und Mn-Lagerstätten schneidet und für die lokale Anreicherung der Erze von besonderer Bedeutung ist.

Vom 17. Februar bis zum 18. März 2020 fand dafür der Aufenthalt in Südafrika statt. Primäres Ziel war die Sichtung und Beprobung von Bohrkernen im Rahmen einer Exkursion in die nördliche Kapprovinz. Dabei wurden Proben an verschiedenen Standorten genommen, um eine umfassende Beschreibung der Doornfontein-Konglomerate zu ermöglichen. Die Proben stammen aus Bohrkernen verschiedener Explorationsprojekte großer Bergbauunternehmen, darunter Anglo American, Assmang, PMG Mining und South32. Das Probenmaterial wird nun in Freiberg untersucht. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt dabei auf der mineralogischen und geochemischen Zusammensetzung der Matrix des Konglomerats. Hierbei sollen mögliche Effekte hydrothermaler Alteration erfasst werden.

Geologischer Geländeexkurs zum Doornfontein-Konglomerat

Foto: M. Poralla

An dieser Stelle möchte ich mich noch einmal ausdrücklich beim Helmholtz-Institut Freiberg für die Ermöglichung einer solchen Reise sowie auch beim Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg für die großzügige finanzielle Unterstützung bedanken.

■ **Matthias Poralla, Master Geowissenschaften (Economic Geology)**

Praktikum in Busan, Südkorea

Sehr geehrte Damen und Herren, mein Name ist Lisa Lange und ich bin Diplomstudentin der Verfahrenstechnik an der TU Bergakademie Freiberg.

Kurz vor Inangriffnahme meiner Diplomarbeit plante ich, noch einmal ins Ausland zu gehen und im Rahmen eines Praktikums einige Erfahrungen zu sammeln. Dafür wollte ich das Sommersemester 2020 nutzen und Anfang April meine Reise starten. Nun kam diesem Plan aber leider die Corona-Pandemie dazwischen und ich musste ihn erst einmal auf Eis legen, gab ihn aber nie auf. Im Juli 2020 gab es dann endlich wieder Direktflüge der Lufthansa nach Korea, und so begann das Abenteuer! Auf dem Langstreckenflug wurde jeweils ein Sitz zwischen den Passagieren freigelassen, und bei Ankunft in Korea wurde jeder auf Fieber getestet. Zum Glück hatte ich weniger als 37,5 °C und musste nicht ins Krankenhaus, sondern „durfte“ für zwei Wochen in private Quarantäne. Versorgt wurde ich dabei von meinem gastgebenden Chef, der immer mal vorbeikam und Lebensmittel brachte.

Meine Mikroalgen im LSTME Busan

Foto: Gamze Er

Allgemein waren der Ablauf und die Kontrolle der Quarantäne sehr gut geregelt und wurden mittels einer App überwacht, in die ich auch täglich meine Gesundheitsparameter eintragen musste.

Mitte Juli startete ich dann mein Praktikum und die Arbeit am German Engineering Research and Development Center (LSTME) Busan. Das Institut ist eine Ausgründung des Lehrstuhls für Strömungsmechanik (LSTM) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Hier arbeite ich nun seit über drei Monaten im Bereich Biotechnologie/Bioverfahrenstechnik, züchte Algen in einem Bioreaktor und führe verschiedene Experimente durch. Ich beschäftige mich vor allem mit der Produktion von extrazellularen polymeren Substanzen (EPS), welche von Mikroalgen während des Wachstums ausgeschieden werden. Es geht darum, wie viel EPS die Algen während ihres Wachstums produzieren, wie man das EPS von den Zellen trennen kann und wie man analysiert, wie viel EPS im Medium vorhanden ist bzw. noch an den Zellen haftet. Ich habe hierbei bisher schon viel über wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben dazugelernt, aber auch allgemein einen Einblick in eine Thematik bekommen, mit der ich mich in meinem Studium bisher eher weniger beschäftigt hatte.

Nach einem Monat wurde die Corona-Situation im Land auf Level 2 eingestuft, und damit begann für einige Kollegen das Homeoffice und für mich das ständige Tragen einer Maske, woran man sich dann doch recht schnell gewöhnt. Generell

werden in Korea immer und überall Masken getragen und man muss eigentlich überall die Telefonnummer hinterlegen und die Temperatur checken lassen. Jetzt bin ich aber froh, dass wir nach zwei Monaten wieder bei Level 1 angekommen sind und ich somit bei der Hochzeit einer Kollegin dabei sein konnte.

In meiner Zeit bis Ende Dezember 2020 hierzulande möchte ich meine bisher erzielten Ergebnisse noch präzisieren und in einem Paper zusammenfassen. Ich hoffe, dass dieses dann auch veröffentlicht werden kann. In Korea führt der Weg zum Master größtenteils über die Forschung und das Schreiben und Veröffentlichen von Papern. Deshalb wird man hier auch oft nach dem Forschungsgebiet gefragt.

Dem Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg e. V. möchte ich herzlich für die Unterstützung meines Auslandsaufenthalts danken. Damit hatte ich die Möglichkeit, meinen Horizont kulturell zu erweitern, mir gleichzeitig aber auch mehr Fachwissen anzueignen und weitere praktische Erfahrungen zu sammeln. Ich freue mich aber auch schon darauf, bald wieder an der TU Bergakademie Freiberg an meiner Diplomarbeit zu arbeiten und dort dann auch das neu erworbene Wissen anwenden zu können. Bei Fragen können Sie sich gern an mich wenden: lisa.marie.lange96@gmail.com

Viele Grüße aus dem sonnig warmen Busan,
Lisa Lange

Foto: Katrin Bock

Der kleine Prinz und ich in Busans Culture Village

Auf Zinnerkundung im polnischen Isergebirge

Von Ende Juni bis Anfang August 2020 wurde eine vom VFF unterstützte Kartierung im polnisch-tschechischen Isergebirge durchgeführt. Das kartierte Gebiet umfasste den Stara Kamienica-Glimmerschiefer-Gürtel, der zahlreiche untypische Zinnvorkommen beherbergt, sowie dessen benachbarte Gesteinseinheiten. Es wurden über 40 Proben genommen, die nun untersucht und Gegenstand meiner Masterarbeit sein werden.

Diese lokalen Vorkommen wurden ab dem 13. Jahrhundert abgebaut, nachdem Bergleute aus Joachimsthal das Erz entdeckt hatten. Zentren des Bergbaus waren vor allem die Dörfer Gierczyn (Giehren) und Przecznica (Querbach), wo auch Kobalt gefördert wurde. Im tschechischen Teil des Gürtels war vor allem das Gebiet südlich von Nove Mesto pod Smrkem (Neustadt a. d. Tafelfichte) Ziel intensiven Bergbaus geworden. Etwa ab dem frühen 19. Jahrhundert kam der Zinnabbau zum Erliegen. Erkundungsprojekte während des Zweiten Weltkriegs, in den 50er Jahren und in den späten 1970er/frühen 1980er Jahren mit über 300 Bohrungen führten zu keiner Wiederaufnahme des Abbaus, lieferten aber zahlreiche neue Informationen zur Lagerstätte.

Berechnungen des letzten Erkundungsprogramms ergaben, dass sich insgesamt rund 100.000 t Zinn mit einem Durchschnittsgehalt von 0,5 % Sn im vererzten Bereich befinden [1]. Die komplexe Natur des Erzes und der niedrige Zinngehalt sind jedoch starke Argumente gegen einen wirtschaftlichen Abbau, was sich in Zukunft jedoch ändern kann.

Abb. 1: Eine unscheinbare Rarität: Weißer Kassiterit im Biotit-Glimmerschiefer. Schon die mittelalterlichen Bergleute bemerkten die Verwechslungsgefahr von Kassiterit und Quarz.

Ungeklärt ist nach wie vor die Entstehung der Lagerstätte. Während praktisch alle Zinnvorkommen an geochemisch hochentwickelte Granite (S- oder I-Typ, stark fraktioniert, Ilmenit-Serie [2]) gebunden sind, befinden sich die Vorkommen des Stara Kamienica-Gürtels in einem Glimmerschiefer ohne offensichtlichen Bezug zu einem der beiden Granitkörper in der Umgebung (cadomischer Izera-Granit/Gneis, ~500 Mio. Jahre [3] und variskischer Karkonosze-Granit, ~320 Mio. Jahre [4]).

Zwei weitere Besonderheiten sind die Form der Vererzung und ihr Mineralbestand: Die Erzkörper sind Zentimeter bis wenige Meter mächtige „Schichten", konkordant zur Foliation des Glimmerschiefers, die mit weißem Kassiterit (SnO_2) vererzt sind. Es handelt sich also nicht um Gänge, die aus dem Granit kommend den Glimmerschiefer durchschlagen haben, sondern um eine untypische Form von Zinnvererzungen.

Die weiße bzw. farblose Gestalt des Kassiterits *(Abbildung 1)* lässt sich auf das Fehlen von Eisen und Wolfram zurückführen, da diese Elemente oft in Spuren im Kassiterit eingebaut werden und ihn braun bis schwarz färben. Hier ist dies nicht der Fall, was nach Kenntnisstand des Autors weltweit einzigartig ist.

Die Arbeit im Gelände erwies sich als schwierig, da Aufschlüsse selten sind und eine allgemein dichte Vegetation die Arbeit erschwert. Als Folge dessen wurden

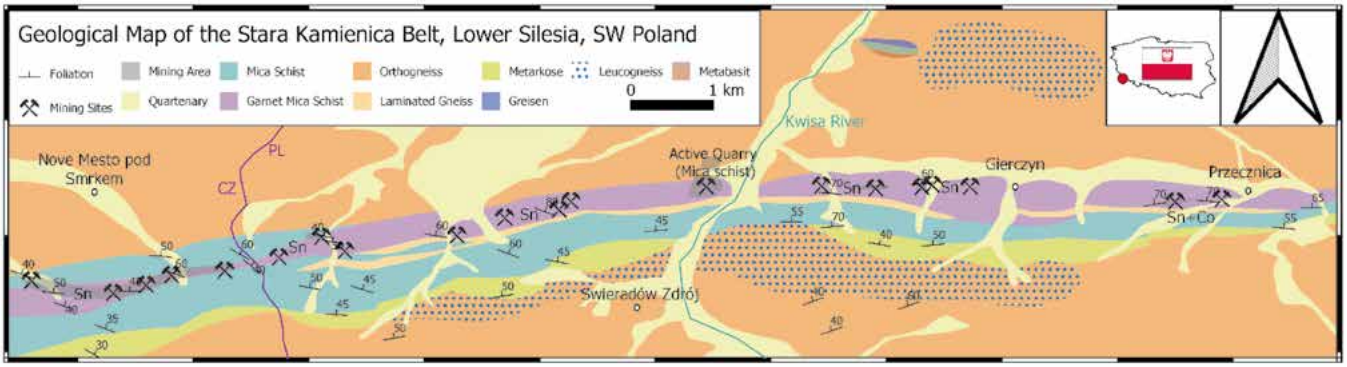


Abb. 2: Mit den Daten der Kartierung erstellte Karte. Man beachte die an den Granatglimmerschiefer gebundenen Bergwerke.

hauptsächlich Lesesteine kartiert. Dies sind übliche Steine, die etwa auf Feldern oder im Boden zu finden sind. Geologische Grenzen können so etwa festgelegt werden, indem das letzte bzw. erste Auftreten einer Lithologie notiert wird. Eine andere, nützliche Methode war es, Flussläufe abzusuchen, da sich dort häufig Aufschlüsse befinden und man sich außerdem einen guten Überblick über die Gesteine im Einzugsgebiet verschaffen kann. Dabei konnten auch Proben sowohl von repräsentativen Stücken als auch von Besonderheiten genommen werden.

Zu letzteren zählen Quarz-Turmalin-Knollen, die vor allem im hydrothermal überprägten Leucogneis (siehe Karte) anzutreffen waren. Diese deuten auf eine entmischte Borosilikatschmelze hin, die anzeigt, dass der Granit bereits sehr fraktioniert war [5]. Häufig sammeln sich solche Schmelzen im Dachbereich einer Magmenkammer, wo ein Fluidüberdruck oft dazu führt, dass sich außerhalb des Granits Gänge bilden, in denen u. a. Kassiterit abgeschieden wird [2]. Im anderen Fall verbleiben die Fluide im Granit und führen zu einer Vergreisung, einer Form der hydrothermalen Umwandlung. Anzeichen für beide Situationen konnten im Gelände gefunden werden. Da sowohl Greisen als auch hydrothermale Gänge häufig mit Zinn verbunden sind, liegt die Vermutung nahe, dass auch hier eine Verbindung zur Zinnvererzung besteht. Dies muss allerdings noch durch Laborarbeit bestätigt werden.

Neben dem fachlichen Wissen konnten auch die Polnisch-Kenntnisse des Autors verbessert werden, was hilfreich war, um neugierige Fragen des einen oder anderen Einheimischen zu beantworten.

Literatur

1 A. Pietrzela, "Reassessment of Sn-Co mineralization in mica schists of the Krobica-Gierczyn area (SW Poland)," in *15th SGA Biennial Meeting 2019*, 2019, pp. 1–4.

2 I. R. Plimer, "Fundamental parameters for the formation of granite-related tin deposits," *Geol. Rundschau*, vol. 76, no. 1, pp. 23–40, 1987.

3 A. Żelaźniewicz, C. Fanning, and S. Achramowicz, "Refining the granite, gneiss and schist interrelationships within the Lusatian-Izera Massif, West Sudetes, using SHRIMP U-Pb zircon analyses and new geologic data," *Geol. Sudetica*, vol. 41, pp. 67–84, 2009.

4 S. Mazur, P. Aleksandrowski, K. Turniak, and M. Awdankiewicz, "Geology, tectonic evolution and Late Palaeozoic magmatism of Sudetes–an overview," *Granitoids Pol. AM Monogr.*, vol. 1, no. 1, pp. 59–87, 2007.

5 K. Drivenes, R. B. Larsen, A. Müller, B. E. Sørensen, M. Wiedenbeck, and M. P. Raanes, "Late-magmatic immiscibility during batholith formation: assessment of B isotopes and trace elements in tourmaline from the Land's End granite, SW England," *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 169, no. 6, 2015.

■ **Hannes Lippke**

Information zur Günter Heinisch-Stiftung

Das Kuratorium der vom VFF verwalteten Günter Heinisch-Stiftung tagte gemeinsam mit dem Vorstand der Stiftung am 19. Juni 2020, um den Jahresbericht 2019 und den Jahresplan 2020 festzustellen.

Der Vorstandsvorsitzende, Prof. Brezinski, erstattete den Bericht zum Jahr 2019 und wies eine vollständige Umsetzung des geplanten Budgets nach: Ausgewählte Mineralstufen wurden angekauft und den Geowissenschaftlichen Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg als Dauerleihgaben übergeben; die geplanten wissenschaftlichen Projekte sind abgearbeitet worden. Aus der Vermögensverwaltung konnte ein Jahresergebnis von 115 T€ erzielt werden, das den Rücklagen zugeführt wird. Das Kuratorium dankte dem Vorstand für seine Tätigkeit im Jahr 2019 und genehmigte den Jahresbericht und die Jahresrechnung nebst Rücklagenauflösung und -bildung. Der Vorstand wurde vom Kuratorium für das Geschäftsjahr 2019 entlastet.

Der Jahresplan 2020 sieht den Ankauf einer weiteren Silberstufe aus dem Schneeberger Revier vor. Zu den gemeinsam von der TU Bergakademie Freiberg und der Stiftung finanzierten wissenschaftlichen Projekten gehören die Anfertigung hochwertiger Fotografien für Publikationen und die Konservierung historischer Sammlungsetiketten. Insgesamt werden Jahresausgaben von 35 T€ getätigt. Das Kuratorium stimmte der Mittelvergabe zu und beschloss den Jahresplan 2020. Die Günter Heinisch-Stiftung arbeitet weiterhin stabil und satzungsgerecht; sie steigerte ihr Stiftungsvermögen zum Stichtag 31.12.2019 und erzielte Überschüsse.

Mithilfe der Heinisch-Stiftung erworben: Calcit, Kalkwerk Fürstenberg bei Schwarzenberg, Erzgebirge, Sachsen, Deutschland, 27 × 22 cm

Foto: Michael Gäbelein

■ **Hans-Jürgen Kretzschmar**

Interdisziplinäre Ausbildung angehender Ingenieure – Das Racetech Racing Team

Lara Windler

© FSG klein

Mitglieder des Racetech Racing Teams

Das Racetech Racing Team ist ein Verein mit 60 studentischen Mitgliedern an der TU Bergakademie Freiberg. Im Rahmen der Formula Student (FS) stellen sie sich der Herausforderung, interdisziplinär und selbstständig einen Formelrennwagen von der ersten Idee bis zum finalen Wettkampf zu verwirklichen. Um dieses Projekt realisieren zu können, müssen die Mitglieder aus verschiedenen Studiengängen, wie Maschinenbau und Werkstoffwissenschaft, Wirtschafts- und Geowissenschaften, fachübergreifend zusammenarbeiten.

Die Formula Student ist der größte internationale Konstruktionswettbewerb und hat seinen Ursprung in den USA. Da die Mehrzahl der deutschen Hochschulen und Universitäten an diesem Wettbewerb teilnimmt, ist die Formula Student auch hierzulande zur bedeutendsten Nachwuchsplattform der Automobil- und Zuliefererindustrie geworden. Als Wettkampfstätten fungieren dabei berühmte Rennstrecken, wie beispielsweise der Hockenheimring oder der Circuit de Barcelona-Catalunya. Die FS ermöglicht es, dass Studenten sich an einem interdisziplinären Projekt weiterbilden, ihre in den Hörsälen erworbenen theoretischen Kenntnisse praktisch anwenden sowie wichtige Soft Skills entwickeln.

Jedes Team muss ein funktionierendes Vermarktungskonzept, eine Kostenanalyse und die Verteidigung des Fahrzeugkonzepts ausarbeiten und auf den Events vor einer Fachjury aus dem Motorsport und der Automobilindustrie vorstellen. Dies ist der statische Teil der Wettbewerbe. In den dynamischen Disziplinen wird gezeigt, wie gut die Längs- und die Querbeschleunigung, das Handling sowie die Zuverlässigkeit des Prototypen sind. Es gewinnt das Team mit dem besten Gesamtkonzept aus Konstruktion und Rennperformance, Finanzplanung und Verkaufsargumenten.

Gegründet wurde das Racetech Racing Team 2005. Nach zweijähriger Entwicklungszeit nahm der Verein 2007 erstmals mit dem RT01 an der Formula Student Germany (FSG) teil. In den folgenden Jahren stellte das stetig wachsende Team jedes Jahr einen neuen Rennwagen auf die Räder. Mit dem RT06 wagte man den großen Schritt vom Verbrennungsmotor zum elektrischen Antrieb. Dabei wurde innerhalb eines Jahres ein komplett neues Antriebskonzept mit zwei unabhängig angesteuerten E-Motoren umgesetzt. Der RTo8 wurde 2014 erstmals mit Heck- und Frontflügel ausgestattet. Ein weiterer großer Entwicklungsschritt stand 2016 an. Anstelle eines klassischen Stahlgitterrohrrahmens bekam der RT10 ein Monocoque, bestehend aus Magnesiumblechen und einem Aluminiumwabenkern. Mit dem aktuell in Fertigung befindlichen RT14 wagen sie den nächsten großen Entwicklungssprung: Nach zweijähriger Entwicklungszeit verwirklichen die Studenten nun einen Allradantrieb.

Der Fokus beim aktuellen Prototypen liegt auf der Implementierung des Allradsystems, der Weiterentwicklung der Aerodynamik und einer weiteren Zuverlässigkeitssteigerung bei allen Komponenten. In der Vergangenheit war neben der Performance vor allem die Zuverlässigkeit der wichtigste Faktor für die erfolgreiche Teilnahme an den internationalen Wettbewerben. Aufgrund der sensationellen Ergebnisse der letzten zwei Jahre befinden sich unsere Studenten nun auf dem vierten von 201 Plätzen der Formula Student Electric Weltrangliste. Damit sind sie nach dem Team der TU München das beste Elektroteam in Europa.

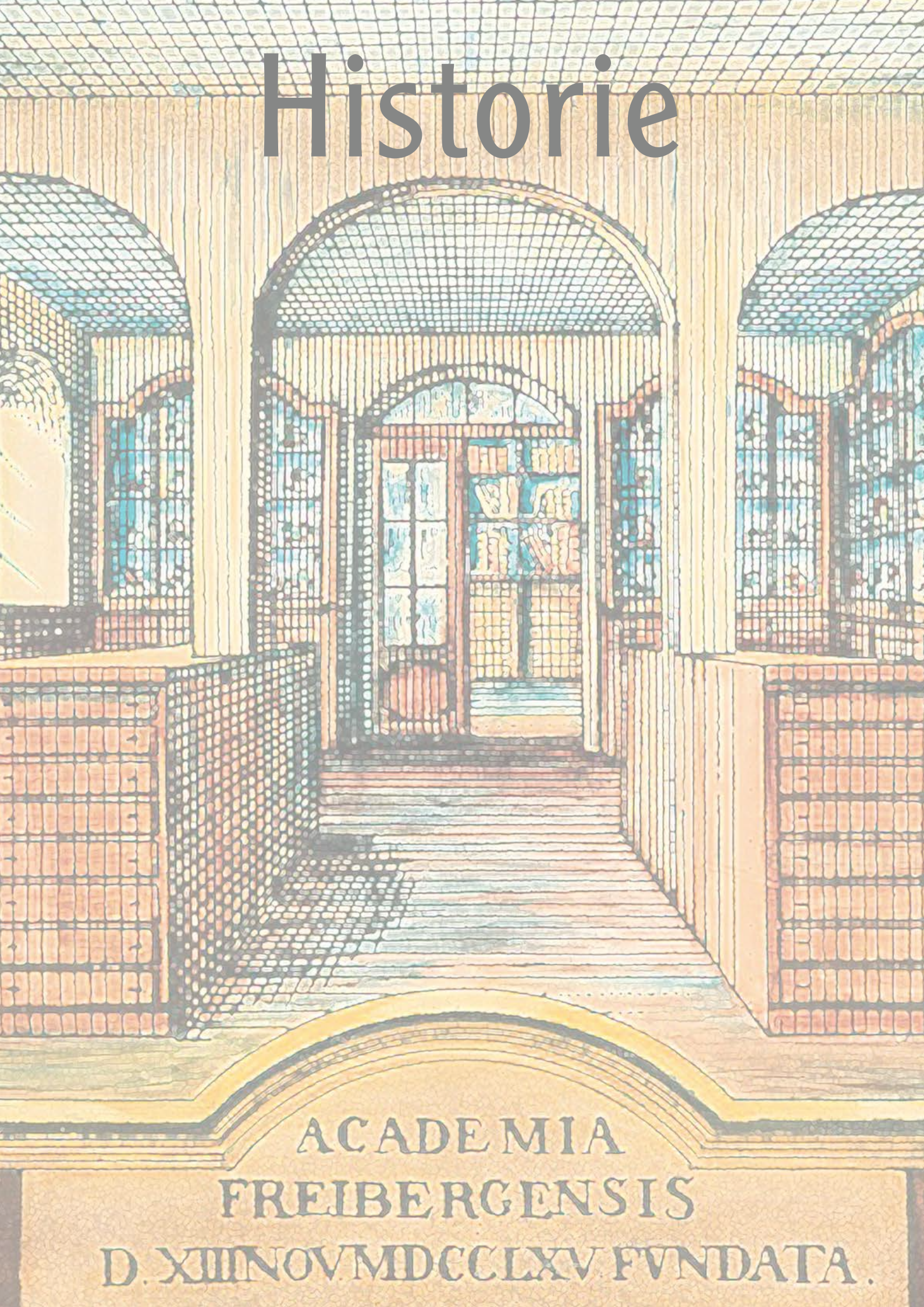
Der Umstieg auf eine andere Antriebsform ermöglicht dem Team auch große Veränderungen an weiteren Teilen ihres Prototypen. So musste z. B. der Akkumulator auf die neue Systemspannung angepasst werden. Dieser wird außerhalb des Fahrzeugs mithilfe eines Ladegeräts mit eigenentwickelten Steuerplatinen geladen, mit Hilfe derer u. a. der Ladezustand und die Temperaturen verfolgt werden können. Durch die Veränderung des Hochvoltsystems musste ein neues Ladegerät und dessen Gehäuse angeschafft werden. Hierbei unterstützte uns der VFF der TU Bergakademie Freiberg e. V. mit einer Geldspende. Wir möchten uns hiermit noch einmal herzlich dafür bedanken sowie auch für die Zusammenarbeit in den letzten Jahren!

© FSG haertl

Der RT13 (2018/2019) bei der FSG 2019

1 Lara Windler, lara.windler@racetech.tu-freiberg.de

Historie



300. Geburtstag von Friedrich Wilhelm von Oppel

Der „heimliche Gründer“ der Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg

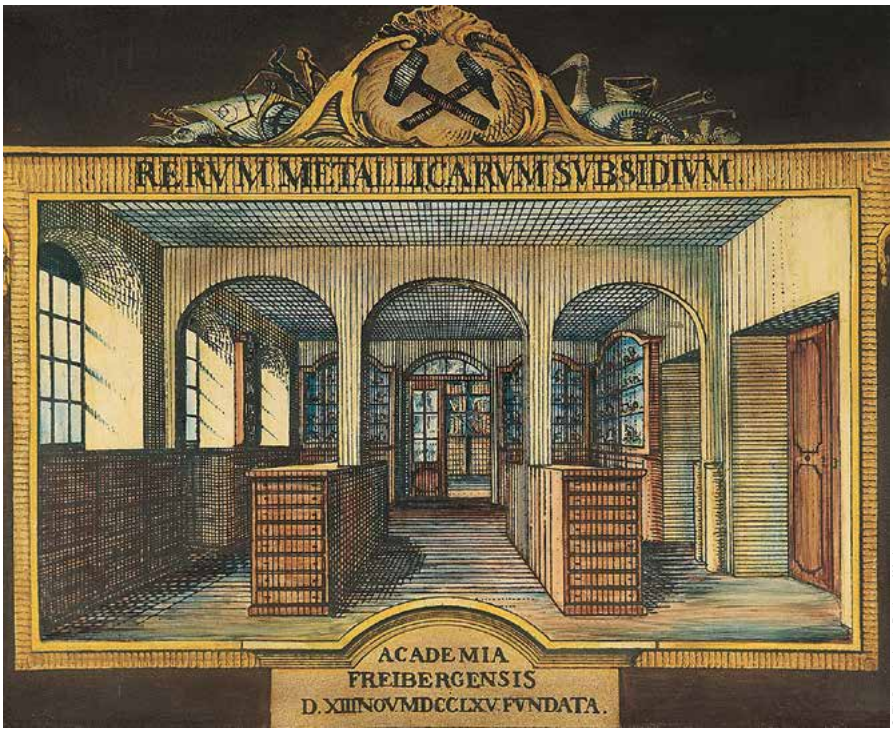
Andreas Benz

Über den Gründervater der Bergakademie Freiberg, Friedrich Wilhelm von Oppel, dessen Geburtstag sich heuer am 4. Mai zum dreihundertsten Mal jährte, gibt es erstaunlicherweise wenig biografisches Material.[1] V. Oppel stellte der neu gegründeten Institution nicht nur seine Wohnstätte zur Verfügung, sondern vermachte ihr auch einige bedeutende Stücke aus seinem Privatbesitz. Hierbei handelte sich um nicht weniger als den Grundstock der bedeutenden Freiberger Sammlungsbestände. Auch wenn sich die Quellenlage dazu als ähnlich spärlich erwies wie zu seiner Person, scheint es doch lohnend, sich mit dieser Frage etwas näher zu befassen.

Der wichtigste Hinweis ist zunächst, dass Friedrich Wilhelm von Oppel in seinem Wohnhaus neben einem Hörsaal und einem Bibliotheksraum auch ein Stufenkabinett mit Mineralien sowie einer kleinen Auswahl von Bergbaumodellen einrichtete.[2] Mit dieser Entscheidung wurde die Grundlage für die Struktur der wissenschaftlichen Sammlungen gelegt. So bilden bis heute die Geowissenschaftlichen Hauptsammlungen und die bergbaulichen Gerätschaften und Modelle der Kustodie, ergänzt um eine Vielzahl an Spezialsammlungen einzelner Institute, das Herzstück unserer Universitätssammlungen.[3]

Versuchen wir nun, die Objekte zu identifizieren, die direkt auf Friedrich Wilhelm von Oppel zurückzuführen sind, so lässt sich hinsichtlich des Stufenkabinetts leider kein Bezug zu den heutigen Mineralogischen Sammlungen herstellen. Den Kollegen dort ist weder ein Verzeichnis bekannt, noch fanden sie auf alten Etiketten entsprechende Hinweise.

Was das Schriftgut betrifft, so gibt es nach Auskunft der Leiterin des Wissenschaftlichen Altbestands der Universitätsbibliothek kein Exlibris oder sonstigen Vermerk in den Beständen, der eine eindeutige Zuordnung zu v. Oppel ermöglicht. Allerdings sind einige Objekte vorhanden, die höchstwahrscheinlich von ihm stammen, unter anderem der „Bericht vom Bergbau“ als Handschrift und Erstausgabe.[4]



© TU Bergakademie Freiberg / Medienzentrum

Abb. 1: Stufenkabinett im Eingangsbereich des Oppelschen Wohnhauses

In einer ähnlich misslichen Situation befinden wir uns seitens der Kustodie in Bezug auf die Historische Modellsammlung. Zwar stammen einige Stücke aus dem 18. Jahrhundert, doch sind vermutlich keine aus dem Oppelschen Bestand der Gründerzeit erhalten.[5] Es gibt jedoch die Vermutung, dass ein Modell eines Blasebalgs eines dieser Objekte sein könnte.[6]

Ein Sammlungsobjekt mit unzweifelhaftem Bezug zu Friedrich Wilhelm von Oppel ist das Porträt des Gründers, das sich heute im Senatssaal der Universität befindet. Allerdings wirft auch dieses um 1765 entstandene Ölgemälde eine Reihe von Fragen auf. So ist insbesondere der ausführende Künstler unbekannt.[7]

© TU Bergakademie Freiberg / Waltraud Rabich

Abb. 2: Oppel-Porträt aus dem Senatsaal

1 Vgl. Wegert, Elias: Wie gut kennen wir Friedrich Wilhelm von Oppel?, in: ACAMONTA – Zeitschrift der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg, 20. Jg. (2013), S. 152–154.

2 Zaun, Jörg: Bergakademische Schätze, in: Derselbe (Hrsg.): Bergakademische Schätze – Die Sammlungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Chemnitz 2015, S. 10f.

3 Zur aktuellen Zusammensetzung der Sammlungen siehe: Andreas Benz (Hrsg.): Die Sammlungen der TU Bergakademie Freiberg – Ein Überblick. Freiberg 2019 (unveröffentlichte Publikation der AG Sammlungen).

4 Kern, Johann Gottlieb; Oppel, Friedrich Wilhelm von: Bericht vom Bergbau, Freyberg 1769.

5 Zaun, Jörg: Die Sammlung historischer Modelle des Bergbaus und der Hüttenkunde, in: Derselbe (Hrsg.): Bergakademische Schätze – Die Sammlungen der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Chemnitz 2015, S. 20.

6 Jentsch, Frieder; Ladwig, Roland: Die Bereitstellung von technischem Lehrmaterial für die Bergakademie Freiberg durch den Fiskus an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert, in: Freiberger Forschungsheft D 207 Montan- und Technikgeschichte, 2002.

7 Vgl. Anmerkung von Frieder Jentsch, in: TU Bergakademie Freiberg: Wissenschaft vor Ort – Bilder zu Geschichte und Gegenwart der TU Bergakademie Freiberg, Freiberg 2007, S. 48.

Umso höher ist daher das Ensemble historischer Wandspiegel zu bewerten, das Friedrich Wilhelm von Oppel nachweislich im Jahr 1755 vom späteren Oberberghauptmann Peter Nikolaus von Gartenberg erwarb.[8] Von ursprünglich vier Spiegeln sind drei erhalten geblieben und bis heute im Besitz der Bergakademie.[9]

Zwei der Spiegel erhielten in den 1980er Jahren einen stark deckenden Überzug aus Goldbronze und befanden sich lange Zeit im Senatssaal. Im Jahr 2014 wechselte dann ein Spiegel in das neu eröffnete Lomonossow-Haus, wo er auch heute besichtigt werden kann.

Der zweite Spiegel verblieb vorläufig im Senatssaal, doch seine Wirkung als Solitär war fortan nur noch recht begrenzt. Anfang dieses Jahres kam er im Zuge der Neugestaltung der Bildergalerie in die Kustodie und wartet nun auf eine Neupositionierung an prominenter Stelle.

Ebenfalls in der Kustodie befindet sich der dritte Spiegel, zugleich das spannendste Teil des Ensembles. Im Gegensatz zu den beiden anderen wurde er in der jüngeren Vergangenheit nicht mehr gezeigt. Zugleich blieb aber durch seine Nichtnutzung deutlich mehr von der Originalsubstanz erhalten, so dass es sich bei ihm um das authentischste Stück handelt. Zwar fehlt auch hier das ursprüngliche Spiegelglas, doch besitzt der Rahmen eine Vergoldung, die laut Aufschrift im Jahr 1897 durch einen Robert Mäcke angebracht wurde. Mittels gezielter restauratorischer Maßnahmen könnte der Spiegel wieder in neuem Glanz erstrahlen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Friedrich Wilhelm von Oppel in der Tat als der „heimliche Gründer" der Sammlungen der Bergakademie gelten kann. Bedauerlicherweise sind jedoch weder die geowissenschaftlichen Stufen noch die bergbautechnischen Modelle im Original überliefert. Um sein Erbe in Ehren zu halten, ist es daher umso wichtiger, die wenigen noch vorhandenen Vermächtnisstücke zu pflegen. Insbesondere die drei historischen Spiegel repräsentieren – wie nur wenige andere Objekte – die Gründerzeit der Bergakademie. Es sollten sich Orte und Gelegenheiten finden, die Spiegel in neuer, alter Pracht der Hochschulöffentlichkeit zu präsentieren.

© TU Bergakademie Freiberg / Kustodie

Abb. 3: Diskussion über die beiden historischen Spiegel in der Kustodie mit Professor Helmuth Albrecht (r.)

8 Universitätsarchiv, Akte OBA 48, Bd. 1, Bl. 65.

9 In Übereinstimmung mit einem Inventarverzeichnis aus dem Jahr 1862, in: Universitätsarchiv, Akte OBA 50, Bl. 142f.

Zum 375. Geburtstag von Hans Carl von Carlowitz, dem Schöpfer des Begriffs der „Nachhaltigkeit"

Gerd Grabow

Hans Carl von Carlowitz, eigentlich Johann „Hannß" Carl von Carlowitz, war ein deutscher Kameralist, königlich-polnischer und kurfürstlich-sächsischer Kammer- und Bergrat sowie Oberberghauptmann des Erzgebirges. Er schrieb 1713 das erste geschlossene Werk über die Forstwirtschaft und gilt als Schöpfer des forstlichen Nachhaltigkeitsbegriffs. Es ist das große Verdienst von Carl von Carlowitz, dass er schon frühzeitig auf die Fragen der Nachhaltigkeit eingegangen ist, die von hoher Aktualität in Bezug auf die Klimaentwicklung für die gesamte Menschheit sind. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Problemstellungen auf den Gebieten der Wirtschaft, Wissenschaft und Politik – und überhaupt der gesamten Entwicklung der menschlichen Gesellschaft wird deutlich, dass Carl von Carlowitz entscheidende Gedanken und Anregungen zur Nachhaltigkeit für die Ökonomie entwickelt hat.

Hans Carl von Carlowitz wurde am 14. Dezember 1645 als zweitältester Sohn in die vierte Generation der auf Burg Rabenstein lebenden Carlowitzens hineingeboren. Sein Vater war der kursächsische Oberforstmeister Georg Carl von Carlowitz. Die Familie von Carlowitz war Teil des sächsischen Uradels und bereits seit mehreren Generationen im Management von Wäldern im sächsischen Erzgebirge tätig.

Von Carlowitz studierte 1664/1665 Rechts- und Staatswissenschaften an der Universität Jena, erlernte Fremdsprachen und widmete sich naturwissenschaftlichen und bergbaukundlichen Studien. Er reiste dann durch ganz Europa; er besuchte u. a. Frankreich, die Niederlande, Dänemark, Schweden, Italien und Malta. Auf seiner Reise lernte von Carlowitz, dass Holz im Europa des 17. Jahrhunderts ein knapper Rohstoff war. 1677 wurde er zum sächsischen Vize-Berghauptmann ernannt und wirkte seitdem in Freiberg. Im Jahr 1711 wurde er zum Oberberghauptmann ernannt. Als Leiter des Oberbergamtes Freiberg lag unter anderem die Holzversorgung des kursächsischen Berg- und Hüttenwesens in seiner Zuständigkeit.

Bedeutung erlangte von Carlowitz als Verfasser der „Sylvicultura oeconomica oder haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung zur wilden Baum-Zucht" (1713). Darin fasste er das forstliche Wissen seiner Zeit zusammen und formulierte – basierend auf eigenen Erfahrungen – erstmals das Prinzip der Nachhaltigkeit. Von Carlowitz schrieb sein Buch in einer Zeit der Energiekrise. Die Erzgruben und Schmelzhütten des Erzgebirges (damals eines der größten Montanreviere Europas) mussten mit großen Mengen von Holz als Energiequelle versorgt werden. Zudem trugen das Bevölkerungs- und Städtewachstum stark zur „Holznot" bei. Ein geregelter Waldbau sowie Gesetze, Ökostandards oder Zertifizierungen zur Aufforstung existierten nicht. Von Carlowitz forderte, respektvoll und „pfleglich" mit der Natur und ihren Rohstoffen umzugehen, und kritisierte den auf kurzfristigen Gewinn ausgelegten Raubbau an den Wäldern. Obwohl das Wort „nachhaltend" in seinem 432-seitigen Buch nur einmal vorkommt, gilt von Carlowitz als Schöpfer des Begriffs „Nachhaltigkeit".

Die geologischen Karten Leopold von Buchs

Peter Kühn

Leopold von Buch (1774–1853), der bedeutendste preußische Geologe, Absolvent der Bergakademie Freiberg, berühmter Schüler Abraham Gottlob Werners: Zunächst Neptunist, bekannte er sich erst nach Werners Tod 1817 öffentlich zum Vulkanismus. Dieser Freund Alexander von Humboldts und erste Vorsitzende der Deutschen Geologischen Gesellschaft, dessen Namen unser geohistorischer Verein seit seiner Gründung im Jahr 1998 trägt, hat im Laufe seines Lebens eine Reihe geologischer Karten, zahlreiche geologische Profile, Landschaftsskizzen etc. erstellt, was hier gezeigt werden soll.

Zur Biografie

Bezüglich der Biografie Leopold von Buchs sei verwiesen auf die ausführlichen Arbeiten von:

- **O. Wagenbreth:** Leopold von Buch (1774-1853) und die Entwicklung der Geologie im 19. Jahrhundert. In: Geologen der Goethezeit, Verlag Glückauf GmbH, (Essen) 1981, S. 41–57.
- **R. Schmidt:** Leopold von Buch, der bedeutendste Geologe seiner Zeit. In: Geschichte des Geschlechts derer von Buch. Erster Band (Eberswalde) 1939, S. 14–32.
- **S. Günther:** . v. Humboldt, L. v. Buch, (Berlin) 1900, Sammlung Geisteshelden.
- **L. v. Buchs Gesammelte Schriften:** Mit einer Einleitung von Bernhard Fritscher; neu herausgegeben vom Olms-Verlag, (Hildesheim u.a.) 2008, Bände I-IV, 102 Tafeln – als Nachdruck auf einer DVD zusammengefasst und durch ein Gesamtverzeichnis des Herausgebers erschlossen.

Leopold von Buch lebte im Zeitalter der industriellen Revolution: Bergbau und Metallindustrie entwickelten sich rasant. Die Rohstoffe Eisen und Kohle bildeten die Grundlage für die industrielle Entwicklung des Ruhrgebiets und Schlesiens. Nach seinem mehr als fünfjährigen Studium in Freiberg, Halle und Göttingen wandte sich Leopold von Buch 1796 an den preußischen Bergbauminister F. A. von Heynitz mit der Bitte um eine Anstellung im Bergfach. Von 1796 bis 1797 arbeitete er im schlesischen Oberbergamt als Bergreferendar und erstellte die erste geologische Karte Schlesiens nach der von seinem Lehrer Werner entwickelten Methodik. Nach kurzer Tätigkeit im Staatsdienst arbeitete Leopold von Buch als Privatgelehrter, ermöglicht durch die Einkünfte aus den Gütern seiner Familie. Seine geologischen Arbeiten nach 1796 erfolgten nunmehr in vollkommener Eigenregie, zuweilen auf Bitten seines ehemaligen Dienstherren. 1804 wurde ihm beispielsweise von F. W. Graf von Reden dem Nachfolger von R. A. Heynitz, die Überwachung der geologischen Spezialkartierung von Schlesien übertragen, die eine „montangeologische Enquete“ (Begutachtung) der neu angeeigneten Landesteile des preußischen Staates ermöglichte.

Umfangreiches Gesamtwerk wird digital erschlossen

Die geologischen Karten, Profile, Landschaftsskizzen, Diagramme etc., die Leopold von Buch in seinen Gesammelten Schriften veröffentlichte (99 Tafeln in Form gefalteter Anlagen) liegen als Nachdruck (2008) und auf einer DVD zusammengefasst vor.

Auf Initiative der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde 1985 zunächst gemeinsam mit den drei größten Kartensammlungen in deutschen Bibliotheken (Bayerische Staatsbibliothek München, Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Staatsbibliothek zu Berlin), ab 2001 unter Beteiligung weiterer Bibliotheken, mit dem überregionalen Katalogisierungsprojekt „Erschließung historisch wertvoller Kartenbestände bis 1850“ begonnen. Ab 1991 wurden die Daten online im Katalogisierungssystem des Deutschen Bibliotheksinstituts als IKAR (Informationssystem Karten) verwaltet. Für Recherchen im IKAR-Pool wird über das Internet ein gemeinsamer OPAC angeboten, der über die Staatsbibliothek zu Berlin zu erreichen ist:

→ http://ikar.staatsbibliothek-berlin.de

Die IKAR-Recherche vom 6. Februar 2015 zu den geologischen Karten Leopold von Buchs ergab mehr als 100 Positionen, die verschiedenen Auflagen eingerechnet. Als Beispiele seien hier genannt:

- Atlas Zur Physicalischen Beschreibung der Canarischen Inseln, Berlin 1825 (erschienen nach 1844).
- Carte Physicqe de L'lle de Teneriffe, Berlin 1831 (erschienen nach 1844).
- Carte Physique de L'lle Gran Canaria, Potsdam (erschienen Berlin): School of geographical Art 1845.
- Carte Physique de L´lle de Palma, Berlin 1824 (erschienen nach 1844).
- Lanzarote, Berlin 1820 (erschienen nach 1844).

Die bedeutendste Arbeit Leopold von Buchs ist die regionalgeologische Karte von Deutschland in einem Maßstab ca. 1 : 1.100.000, die 1826 unter dem Titel *Geognostische Karte von Deutschland und den umliegenden Staaten* in 42 Blättern erschien (Berlin: Simon Schropp & Comp., 1826). Die Einzelblätter beschreiben die folgenden Regionen:

Nr.	Gebiet	Nr.	Gebiet
3	Nordsee	23	Krakau
4	Odensee	25	Paris
5	Kopenhagen	26	Metz
6	Insel Oeland	27	Mannheim
7	Memel	28	Regensburg
8	Lincoln	29	Brünn
9	Schleswig	30	Eperies
10	Stralsund	31	Bourges
11	Danzig	32	Basel
12	Königsberg	33	München
13	London	34	Salzburg
14	Amsterdam	35	Wien
15	Magdeburg	36	Gr. Wardein C. Mare Sc.
16	Berlin	37	Clermont
17	Posen	38	Turin
18	Warschau	39	Mailand
19	Boulogne	40	Triest
20	Brüssel	41	Carlstatt
21	Cassel	42	Peterwardein

Die geognostische Karte von Deutschland aus dem Jahr 1826 repräsentiert den Kenntnisstand der Geologie dieser Zeit und ist eine ausgesprochen bewundernswerte Fleißarbeit Leopold von Buchs. Die Karte erschien in fünf Auflagen, zuletzt 1853.

1824 veröffentlichte Leopold von Buch eine „Regionaltektonische Gliederung von Deutschland“ (ein für die damalige Zeit progressiver Begriff). Unter Nutzung der Erfahrungen zur Geognostischen Karte von 1826 veröffentlichte Leopold von Buch 1839 in Berlin die *Geognostische Übersichts-Karte von Deutschland, Frankreich, England und den angrenzenden Laendern* gemeinsam mit Jean B. de Beaumont, Pierre A. Dufrénoy und Georg B. Greenough in einem Maßstab von ca. 1:2.500.000.

Insgesamt waren die geologischen Arbeiten Leopold von Buchs richtungsweisend für die folgenden Generationen von Geowissenschaftlern.

Freiberger Studententage – 1 plus 1 macht 48

Thomas Schmalz

Vom 8. bis 18. Juni 2020 sollten sie stattfinden, die diesjährigen Freiberger Studententage. Corona hat ihnen, wie so vielen anderen liebgewordenen und vermeintlichen Alltäglichkeiten, den Garaus gemacht. Es wären die 27. Studententage gewesen, so zumindest sollte es propagiert werden. Aber das wäre nur die halbe Wahrheit gewesen, denn es hätte ein Zusatz dabeistehen müssen: „neuer Zeitrechnung“. Studententage gab es nämlich an der Bergakademie bereits zu DDR-Zeiten.

Die ersten dieser Tage wurden 1969 durchgeführt. Die Vorbereitung des 20. Jahrestages der jungen Republik war wohl der Auslöser, eine jährlich neu zu gestaltende solche Mischung aus Vorträgen, Diskussionsrunden, Konferenzen, Leistungsschau sowie Kulturveranstaltungen ins Leben zu rufen. Im Gegensatz zum Berg- und Hüttenmännischen Tag, der im selben Jahr bereits zum 20. Mal stattfand, waren die Studententage (wie der Name bereits vermuten lässt) darauf ausgerichtet, den Studentinnen und Studenten eine Plattform zu bieten. Organisator war die FDJ. Integriert in diese zwei Wochen voller Veranstaltungen wurde die „Leistungsschau der Studenten und jungen Wissenschaftler“, die bereits 1968 zum ersten Mal stattfand.

Bis in die achtziger Jahre hinein wurde dieses Prinzip der Mischung unterschiedlichster Angebote aufrechterhalten. Das Programmheft 1987 verhieß den Gästen: „Wir denken, dass die zahlreichen Veranstaltungen Spiegelbild unseres Studentenlebens – Studienprozess wie auch Freizeitgestaltung – sein werden.“

Zumindest in jenem Jahrzehnt wurden die Studententage gemeinsam mit der Ingenieurschule des Forschungsinstituts für Leder und Kunstledertechnologie (FILK) und der Agraringenieurschule Zug durchgeführt. Wann genau diese Zusammenarbeit begann, konnte nicht ermittelt werden, aber dies war keine Ausnahme. Berühmtes Beispiel des Zusammenwirkens verschiedener Organisationen war „BSB total“, ein Kulturspektakel, das von der Bergakademie, dem VEB Spurenmetalle und dem Freiberger Bergbau- und Hüttenkombinat organisiert wurde.

Die Angebote der Freiberger Studententage, besonders die kulturellen, änderten sich mit dem jeweiligen Zeitgeschmack.

Foto Bartzsch, TU Bergakademie Freiberg/Medienzentrum

1. Freiberger Studententage 1969: Band im Saal der Alten Mensa

1. Freiberger Studententage 1969: Vortrag

Die grundsätzlichen „Bausteine“ der Studententage aber blieben erhalten. Bis 1989 war das beispielsweise der wissenschaftliche Studentenwettstreit, bei dem die besten Beiträge mit dem Bernhard-von-Cotta-Preis ausgezeichnet wurden. Da klingelt was bei Ihnen? Richtig! Dieser Preis wird seit mittlerweile vielen Jahren vom „Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg“ vergeben – für herausragende wissenschaftliche Leistungen von Studierenden und jungen Wissenschaftlern.

1990 war, wie nicht anders zu erwarten, erst einmal Schluss mit den Studententagen. Ende 1993 kam Frau Dr. Friederici, die damalige Dezernentin für Studienangelegenheiten, auf Studentenrat und Studentenwerk zu – mit dem Vorschlag, die Studententage wiederzubeleben. Wir waren uns schnell einig, dass es Kulturtage sein sollten, die einerseits einen breiten Einblick in die Möglichkeiten kultureller Betätigung für Studenten zeigen, andererseits aber auch ein Verbindungsglied zwischen der Stadt und der Bergakademie sein können. Zwei Tage sollten es werden, einer auf dem Campus und einer in der Stadt. Und so wurde es dann auch. 1994 fanden die ersten Studententage neuer Zeitrechnung statt. Auch der Rektor und der Oberbürgermeister wurden „eingespannt“, denn sie waren nicht nur Schirmherren der beiden Tage, sondern bestritten einen Wettlauf um den Obermarkt. Erster war, wer am weitesten gelaufen war, solange das (live gespielte) Steigerlied vom Rathausturm erklang. Wer gewonnen hat, ist nicht überliefert.

Organisator war bis 2015 der Studentenrat. Umfang und Angebot der

Studententage richteten sich dabei oft nach dem Geschmack derjenigen, die die Organisation übernahmen. Wie nicht anders zu erwarten, gab es dabei Jahre mit großartigen Programmen und auch Jahre, bei denen die Planung etwas vorsichtiger betrieben wurde. Die Grundidee, Stadt und Universität näher zueinander zubringen, stand dabei nicht immer im Mittelpunkt.

Es waren mittlerweile meist drei Tage, die unter dem Label „Freiberger Studententage“ zusammenkamen. Langsam kristallisierten sich dabei die neuen festen Programmpunkte heraus: Einer davon ist das Montagskino. Oftmals gab es Doublefeatures mit Filmen, die sich großer Beliebtheit erfreuten. Aber als Eröffnung sollte es etwas Außergewöhnlicheres geben, fanden die Organisatoren.

2007 beispielsweise stand der erste Studententag ganz im Zeichen der Vampire: Vormittags konnte man sich zur Blutspende melden, in der Mensa gab es Grützwurst und abends wurde der Stummfilm „Nosferatu“ im Audimax gezeigt. Der Livemusiker wurde von einem Diener durch den abgedunkelten Saal mit einem Leuchter brennender Kerzen (das wäre heute unmöglich) an den Flügel geleitet und passte mit seiner Verkleidung perfekt in die Szenerie. Die Gruseleffekte dieses Filmklassikers wurden noch gesteigert, als sich während des Films ein Gewitter entlud und durch einen Kurzschluss die Verdunklungen des Saales automatisch hochfuhren, um den Blick auf das schauerliche Spektakel außerhalb des Hörsaals freizugeben. Seit diesem Jahr werden die Studententage mit einen musikalisch begleiteten Stummfilm eröffnet.

Die zeitlichen, organisatorischen und finanziellen Möglichkeiten des StuRa waren immer begrenzt, sodass an eine Expansion der Studententage nicht zu denken war. Deshalb unterbreitete das Studentenwerk Ende 2015 den Mitorganisatoren den Vorschlag, die Abwicklung der Finanzen zu übernehmen, um mehr Freiraum für die eigentliche Organisation durch die unterschiedlichsten kulturellen Akteure unserer Universität zu schaffen. Damit war es möglich, aus drei Studententagen fast zwei Wochen verschiedenartigster Kulturveranstaltungen unter einem gemeinsamen Dach werden zu lassen.

Und im kommenden Jahr wird es sie in diesem Umfang hoffentlich wieder geben, die 27. Freiberger, Verzeihung: die eigentlich 48. Freiberger Studententage.

Studententage 1995 – Auftritt des AKA-Faschings als „Boney M.“ auf der Petersstraße

Studententage 2007 – Stummfilm mit Musik: „Nosferatu“, am Flügel: Kay Kuntze; im Vorführraum: Uwe Schellbach und Ronald Otto

Foto: Studentenwerk Freiberg/M. Schlenkrich

Chemiehörsaal ausverkauft! Der Poetryslam ist in jedem Jahr – wie hier 2016 – einer der Höhepunkte der Studententage.

Zum 100. Geburtstag von Professor Hans Jürgen Rösler

Werner Pälchen

Im Mai 2000 hatten drei ehemalige Schüler von Professor Rösler, die Professoren Dieter Wolf (Mineralogie) und Peter Beuge (Geochemie) als seine Nachfolger im Fachgebiet und der Autor als damaliger Vorsitzender der Gesellschaft für Geowissenschaften (GGW) ein Ehrenkolloquium zu seinem 80. Geburtstag organisiert. Mit Vorträgen von inzwischen in der Fachwelt etablierten Ehemaligen, die er zum Diplom, zur Promotion oder zur Habilitation geführt hatte, sowie mit Beiträgen von Mitarbeitern und Partnern aus anderen Institutionen war eine ausgezeichnet besuchte Veranstaltung von hoher fachlicher Qualität gelungen. Die Mehrzahl der Beiträge ist in einem Sonderheft der „Zeitschrift für Geologische Wissenschaften“ (Bd. 27, H. 1/2, 2000) publiziert.

Die Laudatio für den Jubilar hielt der damalige Rektor der TU Bergakademie Freiberg, Prof. Georg Unland, von Herkunft Münsterländer. Obwohl seiner fachlichen Qualifikation nach promovierter Maschinenbauingenieur, hat er niemals sein Faible für die Geowissenschaften, insbesondere für die Mineralogie, verleugnet. Als er zum Rednerpult schritt, hatte er außer seinem Redemanuskript ein dickes Buch in der Hand, das deutliche Spuren einer oftmaligen intensiven Benutzung erkennen ließ. Es war das „Lehrbuch der Mineralogie“ von Hans Jürgen Rösler. Mehr als jedes geschliffene verbale Lob war dadurch offensichtlich, dass ein Fachbuch durch seine ausgezeichnete Qualität den Weg über die damals nicht so leicht zu überwindende Grenze nach Westen geschafft und dort Akzeptanz und Anerkennung gefunden hatte – nicht nur bei Studierenden, sondern eben auch bei gestandenen Fachleuten. Und inzwischen hat dieses Werk, „der Rösler“, fünf Auflagen erlebt, was in unserer kurzlebigen Zeit auch besonders hervorgehoben zu werden verdient. Dies ist aber nur eine Facette der mannigfachen, exzellenten Leistungen unseres Jubilars als Forscher und Hochschullehrer, die ihm zu verdanken sind.

Hans Jürgen Rösler wurde am 14. Mai 1920 in dem niederschlesischen Dorf Braschen, Kreis Crossen an der Oder (jetzt Krosno Odrzanskie), geboren. Nach dem

© TU Bergakademie Freiberg/Medienzentrum

Hans Jürgen Rösler (* 14. Mai 1920, † 12. Januar 2009)

Abitur absolvierte er als Vorbereitung auf ein Bergbaustudium unter Aufsicht des Oberbergamts Breslau ein Praktikum als Bergbaubeflissener im schlesischen Steinkohlen-, Braunkohlen- und schließlich Zinkerzbergbau. Eingezogen zur Infanterie, durchlebte er in den Folgejahren als Funksprecher eine Odyssee durch verschiedene Kriegsgebiete von Südwestfrankreich, Westrussland und wieder Südfrankreich, wo er schließlich 1944 in Gefangenschaft geriet und bis 1947 in Marokko im Bleierzbergbau arbeitete.

Nach seiner Rückkehr nach Deutschland nahm er bereits im September des gleichen Jahres ein Bergbaustudium an der Bergakademie Freiberg auf, von dem er zur Geologie und dann zur Mineralogie wechselte. Das Studium schloss er 1951 mit einer petrographisch-geochemischen Arbeit über den Granit von Niederbobritzsch als erster Diplommineraloge der DDR ab. Sein akademischer Lehrer war Prof. Friedrich Leutwein, der auch seine Dissertation über die Geochemie der Steinkohlen Mittel- und Ostdeutschlands angeregt und betreut hat. Nach erfolgreicher Promotion trat H. J. Rösler Ende 1954 eine Stelle als Laborleiter im Geologischen Dienst Jena an. Leutwein hat ihn auch auf das Thema seiner späteren Habilitationsschrift gelenkt: die Initialmagmatite und die mit diesen verbundenen Eisenerzmineralisationen im ostthüringischen Devon. Um so einschneidender war deshalb der überraschende Weggang Leutweins nach Westdeutschland im Jahr 1958, wodurch die weitere wissenschaftliche Laufbahn Röslers gravierend beeinflusst wurde. Statt einer ursprünglich beabsichtigten Professur in Leipzig, Halle oder Greifswald wurden die Weichen nun auf die vakante Stelle in Freiberg gestellt. So erhielt er 1959 zunächst eine Dozentur für Mineralogie an dem von Prof. Oscar Oelsner geleiteten Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre, wurde 1961 Professor mit Lehrauftrag für Mineralogie, 1962 erweitert auf Petrographie, die 1964 in eine ordentliche Professur für diese Fächer umgewandelt wurde. Schließlich erfolgte 1968 die Umberufung zum ordentlichen Professor für Mineralogie und Geochemie. Nach dem unerwartet frühen Tod von Prof. Oelsner oblag ihm ab 1963 auch die Leitung des Instituts und der Fachrichtung.

Nach einer kurzzeitigen Stagnation seit dem Weggang von Leutwein setzte H. J. Rösler sowohl in der Lehre als auch in der Forschung sowie für die instrumentelle Entwicklung des Instituts neue Impulse, die vom wissenschaftlichen Personal, von den Fachkräften in den Laboren und von der Studentenschaft Bereitschaft zu Veränderung und Mitwirkung erforderten, aber bereitwillig aufgenommen wurden. Bemerkenswert war auch die enorme Außenwirkung, die das Institut unter seiner Führung erreichte. Wissenschaftliche Tagungen, wie etwa das Breithauptkolloquium zu Problemen der Paragenese 1966 und das Symposium zum 150. Todestag von A. G. Werner 1967 zogen auch viele international renommierte Fachkollegen aus Westeuropa und Übersee an, was zu dieser Zeit eher die Ausnahme war. Leider fand diese positive Entwicklung mit der Hochschulreform im Jahr 1968 einen deutlichen Abbruch, der sich u. a. in der Auflösung der gewachsenen Institutsstruktur und der Einstellung der Mineralogie als eigenständige Fachrichtung äußerte und ihn persönlich sehr schmerzte.

Hans Jürgen Rösler fühlte sich den Traditionen der Freiberger Schule verpflichtet, stets jedoch mit dem progressiven Blick für Aktualität und Zukunft. Ausdruck dafür sind nicht nur die o. g. Veranstaltungen, sondern z. B. auch die Forschungen zur Geochemie der „Freiberger“ Elemente Germanium und Indium. Frühzeitig erkannte er die Bedeutung der Umweltgeochemie, was besonders in der vielschichtigen Kooperation mit Forstwissenschaftlern in Tharandt, Biowissenschaftlern der Universität Jena und vielen weiteren Spezialisten aus anderen Fachbereichen und Institutionen seinen

Niederschlag fand und deren Ergebnisse in wesentlichen Teilen in der 1987 gemeinsam mit Hans Joachim Fiedler (Tharandt) herausgegebenen Monografie *Spurenelemente in der Umwelt* dokumentiert sind.

Die Liste der wissenschaftlichen Publikationen, bei denen er alleiniger oder Co-Autor war, umfasst etwa 260 Titel aus einem breiten Spektrum der von ihm in Forschung und Lehre vertretenen Fachgebiete, wie Geochemie inklusive Isotopen- und Umweltgeochemie, Petrologie, insbesondere basischer Magmatite – bis hin zu Monographien über mineralische Rohstoffe. Darunter verdienen neben den bereits genannten Buchveröffentlichungen insbesondere die zusammen mit H. Lange verfassten „Geochemischen Tabellen" besondere Erwähnung, da hier ein in seiner fachlichen Tiefe und Komplexität völlig neuartiges Werk auf den Markt gebracht wurde, das nach seiner Erstveröffentlichung 1965 auch 1975 in stark erweiterter Auflage erneut in Deutsch sowie bei Elsevier in Englisch erschienen ist und breite Anerkennung und Anwendung in der internationalen Fachwelt gefunden hat.

© W. Pälchen

Gedenktafel für Hans Jürgen Rösler für den Abraham-Gottlob-Werner-Bau des Instituts für Mineralogie

Die außergewöhnliche fachliche Kompetenz und die organisatorischen Fähigkeiten von Hans Jürgen Rösler wurden in zahlreichen Gremien – sowohl innerhalb der Bergakademie als auch darüber hinaus im In- und Ausland – sehr geschätzt. Aus der Vielzahl der Funktionen und Ehrenämter seien hier nur erwähnt: Dekan der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften von 1971 bis 1983, Vorsitzender der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften (GGW), Leiter des Fachverbands Mineralogie in der GGW, Leiter der Paragenetic Commission der International Association of the Genesis of Ore Deposits (IAGOD). Lang ist auch die Liste seiner Ehrungen und Auszeichnungen: die Ehrenmitgliedschaft der GGW, die Serge-von-Bubnoff-Medaille der GGW, Ordentliches Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Ehrensenator der Bergakademie Freiberg, Auswärtiges Mitglied der Russischen Akademie der Naturwissenschaften zu St. Petersburg und der Kurt-Schwabe-Preis der Sächsischen Akademie der Wissenschaften seien nur beispielhaft dafür genannt.

Hans Jürgen Rösler ist am 12. Januar 2009 verstorben; seine Grabstätte befindet sich auf dem Donatsfriedhof in Freiberg. Zur Erinnerung an sein außergewöhnliches und nachhaltig wirkendes Lebenswerk ist aus Spenden von 28 seiner ehemaligen Schüler und Schülerinnen eine Gedenktafel angefertigt worden, die am Abraham-Gottlob-Werner-Bau des Instituts für Mineralogie angebracht werden wird.

Quellen:

Rösler, H. J. (1999 bis 2003): Aus dem Werdegang eines ostdeutschen Mineralogen, Teil 1 bis 6. – Geohistorische Blätter 2–6, Berlin.

Wolf, D. & Pälchen, W. (2010): Prof. Dr. Hans Jürgen Rösler, Z. Freunde u. Förderer TU Bergakademie Freiberg, 17, S. 188–190.

Kleine Laudatio für einen Archivar mit Leib und Seele: Roland Volkmer

Kurzbiografie

Roland Volkmer, Dipl.-Archivar (FH), geb. 1955; 1981–1984 Studium an der Fachschule für Archivwesen Potsdam; 1981–1984 Mitarbeiter im Universitätsarchiv der Universität Leipzig; 1984–2020 Mitarbeiter im Universitätsarchiv der TU Bergakademie Freiberg

Glücklich durfte sich schätzen, wen Roland Volkmer bei der Arbeit im Archiv verwöhnte.

Der Mann, der offenbar alle Schriftstücke gelesen, sich den Inhalt behalten und einen souveränen Überblick über die angelegten Findmittel hatte, hob nicht nur die angeforderten Akten aus, sondern zeigte bei jedem neuen Thema ein Einfühlungsvermögen, das es ihm ermöglichte, wichtige weitere, die jeweilige Fragestellung im Kern berührenden „Schätze" vorzulegen, von deren bloßer Existenz sich der Nutzer in der Regel keine Vorstellung machte. Dies betraf nicht nur den „kleinen Vortrag", wie etwa jüngst im Rahmen des Kolloquiums 100 Jahre selbständiges Promotionsrecht der TU Bergakademie Freiberg, als sich Roland Volkmers letzter Arbeitstag so gestaltete, dass dessen besonderer Charakter von der Menge der auszuhebenden Akten gleichsam überlagert war. Roland Volkmer verlor auch seine Ruhe nicht, wenn ihm mehrere Nutzer gleichzeitig ihre Wünsche vortrugen. Und für das Erstaunen auswärtiger Gäste – etwa aus Japan – sorgte stets, dass deren frühere Anfragen, etwa zur Tätigkeit einer Person wie Carl Gottlieb Gottschalk, zu den jeweiligen Akten genommen wurden und im Falle ihres tatsächlichen Erscheinens ihnen sozusagen auf dem Silbertablett präsentiert werden konnten. Hilfreich waren dabei die in Form eines umfangreichen Karteikartenbestandes zusammengetragenen Informationen als ein Ergebnis jahrzehntelanger vorangegangener Arbeit aller im Archiv Tätigen. Ergebnis für Roland Volkmer war seine sichtbare Beteiligung an der zweiten und dritten Auflage des von Otfried Wagenbreth begründeten Nachschlagewerkes *Die Geschichte der Technischen Universität Bergakademie Freiberg dargestellt in Tabellen und Bildern* sowie am *Catalogus Professorum Fribergensis*. Unvergessen bleibt mir ansonsten der Abend, an dem die universitätsöffentliche 250-Jahr-Feier der Bergakademie in der Neuen Mensa ablief. Das Zwei-Personen-Empfangskomitee der etwas anderen Art bot allen Vorbeieilenden die Möglichkeit zum ruhigen Gespräch. Manche blieben länger und verabschiedeten sich schließlich unter Bedauern, andere bevorzugten es, den Geist der Bergakademie in den weiten Hallen zu jagen oder begaben sich auf die Suche nach der DNA der Universität. Trophäen wurden bislang nicht präsentiert, was wahrscheinlich darin begründet ist, dass Ergebnisse des historischen Arbeitens in der Form verstehenden Interpretierens nicht nach einem kurzen Rausch zu erhalten sind, sondern in der Regel erst nach einer langwierigeren Tätigkeit. Hierfür war Roland Volkmer ein verlässlicher Partner.

ad multos annos!

■ **Norman Pohl**

Zum 31. Oktober 2020 ist Herr Roland Volkmer in den (Un)Ruhestand eingetreten. Das Redaktionskollegium der ACAMONTA gratuliert ihm und bedankt sich für die über Jahre erfolgten vielen Zusammenstellungen der geschichtlichen Jubiläen aus seiner Feder. Wir würden uns sehr freuen, wenn er uns weiterhin mit der Erstellung der Chronik verbunden bliebe.

■ **Annett Wulkow**

Adolph Mezger – Ein Botschafter Freibergs im Land der aufgehenden Sonne

Peter Hauschild

Mit der erzwungenen Öffnung Japans gen Westen im Jahr 1853 durch die amerikanische Flotte unter Admiral Matthew Perry endete eine jahrhundertelange Abschottung. Der japanische Feudalstaat musste sich stark wandeln, um rasch Anschluss an die westliche Konkurrenz finden zu können. Dazu wurde ab 1868 nicht nur das Staatssystem reformiert (die sogenannte Meiji-Restoration), sondern auch in den Bereichen von Wissenschaft und Wirtschaft große Anstrengungen unternommen, Zugang zu modernem Wissen zu erhalten. Oftmals halfen dabei ausländische Experten, darunter viele Deutsche. Im Bereich des Bergbaus und Hüttenwesens spielten auch Absolventen der Freiberger Bergakademie eine wichtige Rolle. Der bekannteste unter ihnen ist wahrscheinlich Curt Adolph Netto (1847–1909), der als Professor an der Universität Tokio wirkte und dem an seinem Geburtshaus in der Freiberger Petersstraße 42 eine Tafel gewidmet ist.

In Deutschland weniger bekannt, aber nicht weniger wichtig ist Adolph Mezgers Wirken in Japan. Der am 16. Februar 1836 in Lahr in Baden geborene Adolph Mezger studierte zunächst von 1854 bis 1855 an der Universität Heidelberg Philosophie. 1856 schrieb er sich an der Bergakademie in Freiberg ein (Matrikelnummer 1953) und absolvierte hier den zeitgenössischen Lehrkanon. So hörte er Allgemeine Hüttenkunde, Angewandte Mathematik, Bergbaukunde, Bergmaschinenlehre, Lötrohrprobierkunde, Markscheidekunde, Maschinenkunde und Probierkunde. Seine Lehrer waren dabei unter anderem Franz Wilhelm Fritzsche, Moritz Ferdinand Gätzschmann, Theodor Richter sowie Julius Weisbach. Zudem erprobte er seine praktischen Fähigkeiten in den Erzgruben des Freiberger Reviers und in den Hüttenbetrieben von Halsbrücke und Muldenhütten. Mit seinem Zeugnis vom 18. August 1858 schloss Adolph Mezger erfolgreich sein Studium ab. Seiner Alma Mater blieb er auch später noch durch eine Ehrenmitgliedschaft im akademischen Verein Glückauf verbunden. In der Zeit nach seinem Abschluss folgten verschiedene berufliche Tätigkeiten im Ausland, so als Bergbeamter in Russland und Griechenland. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland arbeitete er in der sächsischen Bergverwaltung. Hier wirkte er insbesondere an der Vollendung des Rothschönberger Stollns für das Freiberger Revier mit. Er beschleunigte die finalen Arbeiten dieses Projekts, indem er den Einsatz von pneumatischen Bohrmaschinen und Dynamit durchsetzte. Der zuvor praktizierte Handbohrbetrieb und Schwarzpulvereinsatz erwiesen sich als zu zeitraubend. Für seinen Beitrag ehrte ihn 1877 der sächsische König Albert mit dem Ritterkreuz II. Klasse des Albrechtsordens. Wenige Jahre später ging Mezger dann beruflich nach Japan. Er folgte dabei einer Einladung des japanischen Industrieministeriums, das ihn und andere ausländische Experten zur Modernisierung der Berg- und Hüttenwerke benötigte. Im März 1879 kam Mezger in Japan an und reiste von Tokio aus in die Akita-Provinz nach Ani im nördlichen Teil der Hauptinsel Honshu. Bereits auf seinem Weg dorthin besuchte er Bergwerke und Hüttenbetriebe, wie die wichtige Silbermine von Innai, um die dort eingesetzten Technologien und Arbeitsabläufe zu analysieren. Im Mai 1879 erreichte er schließlich Ani. Das Gebiet hatte bereits eine sehr lange Bergbautradition. Spielte zuerst die Silber- und Goldgewinnung eine Rolle, so war später Kupfer das wichtigste Produkt. Hier sollte für längere Zeit sein Tätigkeitsschwerpunkt als Ingenieur für die örtlichen Gruben und Hütten liegen, um westliche Technologien zu implementieren und so deren Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Dementsprechend führte er zum Beispiel zur Erzverarbeitung moderne Öfen nach Freiberger Vorbild ein. Für die ausländischen Neuankömmlinge errichtete man eigens zwischen 1879 und 1882 zwei Unterkunftsgebäude, wobei Mezger wohl selbst eines dieser als Ausländerwohnhaus bezeichneten Gebäude als Ziegelbauwerk im westlichen Stil entwarf. Als im Frühjahr 1882 seine dreijährige Tätigkeit in Ani beendet war, arbeitete er darauf noch kurz im Silberbergwerk von Kosaka, das zuvor von Curt Adolph Netto geleitet worden war.

Carte de Visite, Urheber: J. F. Kolby/Firma Hugo Bähr, vor 1899, Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg, Fotothek, Inv.-Nr. A41-9

Porträtaufnahme von Adolph Mezger im sogenannten Freiberger Gedenkbuch

Als Netto für einen längeren Aufenthalt wieder nach Deutschland reiste, vertrat Mezger ihn fast ein Jahr lang an der Kaiserlichen Universität Tokio als Lehrkraft für Bergbaukunde. Nach seiner Rückkehr aus Japan, die vermutlich Ende 1883 oder Anfang 1884 erfolgte, lebte er unter anderem in Zwickau und in Neckargemünd. In den 1890er Jahren hielt sich Mezger für mehrere Jahre in den USA auf, zuerst in New York, dann in Charlotte (North Carolina). Etwa 1897 kehrte er allein nach Freiberg zurück. Zu diesem Zeitpunkt war die Ehe mit seiner Frau, mit der er drei Kinder hatte, zerrüttet. Seinen letzten Wohnsitz fand er in einem kleinen Haus auf dem Gelände der Bergwerksanlage der Roten Grube, wo Adolph Mezger am 11. März 1899 verstarb.[1]

1 Vgl. zu biografischen Angaben u. a. Ordner A. Mezger, zusammengestellt v. Angela Kugler-Kießling, Wissenschaftlicher Altbestand, Universitätsbibliothek Freiberg; Schreiben von Emil Treptow, 24.10.1930, Akte o. Sign., Neuordnung und Aufbau Naturwissenschaftlicher Verein, Stadtarchiv Freiberg; Mappe Zc 185 Adolph Mezger, Akte OBA 404, Akte OBA 405 und Akte D10/5, Universitätsarchiv Freiberg; Schiffner, Carl: Aus dem Leben alter Freiberger Bergstudenten. Bd. I, S. 113 und Bd. II, S. 129. Die Biografie von Lauterbach, Werner: Adolph Mezger, in: Mitteilungen des Freiberger Altertumsvereins 90 (2002), S. 102 f. enthält z. T. fehlerhafte Angaben. Recherchen zur Biografie, besonders zu seiner Zeit in Japan, gestalten sich schwierig, u. a. auch weil durch die Übertragung von Mezgers Namen vom Deutschen in die japanische Schrift und wieder zurück es heute häufig Fehlübersetzungen gibt, so finden sich oft Schreibweisen wie Merkel oder Megger.

Adolph Mezger brachte nicht nur europäisches Know-how nach Japan, sondern im Gegenzug auch einen kleinen Teil der ostasiatischen Kultur zurück nach Freiberg. Sein Interesse an Japan als eine seiner beruflichen Wirkungsstätten äußerte sich auf vielerlei Weise. Er verfasste Artikel mit seinen Erkenntnissen zum Stand des japanischen Bergbaus und Hüttenwesens sowie über die Meteorologie der Region von Ani für die Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens. Diese 1873 gegründete Gesellschaft befasst sich vor allem mit der Erforschung der japanischen Kultur. Besonders in seinem Bericht, der die Ausgangslage in den von ihm besuchten Bergwerken und Hüttenbetrieben wiedergibt, zeigt sich sowohl sein im Freiberger Studium erworbenes Wissen als auch sein Befremden über die von ihm als rückständig empfundene Montanwirtschaft Japans.[2] Während seines mehrjährigen Japanaufenthalts legte Adolph Mezger zudem eine umfangreiche Sammlung von historischen Artefakten der japanischen Kultur an. Damit folgte er dem Vorbild von Philipp Franz von Siebold (1796–1866), der als erster Deutscher bei seinen Besuchen in Japan zwei bedeutende völkerkundliche Sammlungen anlegte und diese nach Europa brachte. Auch Mezger war es möglich, eine durchaus beeindruckende Sammlung aufzubauen. Aus dieser übergab er noch zu Lebzeiten auf Wunsch des Professors Emil Treptow drei Bildrollen mit historischen Darstellungen des japanischen Bergbaus des 17. Jahrhunderts an die Bergakademie Freiberg für die Lehrsammlung zur Bergbaukunde (heute als Treptow-Sammlung bekannt).[3] Die übrige Sammlung ging später in den Besitz des Fabrikanten Richard Röseler, dem Miteigentümer der Firma Thiele und Steinert, über. Dieser schenkte sie 1906 dem Freiberger Altertumsverein. Eine zusammenfassende Darstellung in den Mitteilungen des Freiberger Altertumsvereins aus dem Jahr 1909 gibt recht detailliert Auskunft über den Umfang der gesammelten Objekte. So befanden sich

Der Treppenaufgang zum 2. Obergeschoss im damaligen König-Albert-Museum, rechts im Bild ist die Tür zur Röseler-Mezger-Japan-Sammlung zu sehen.

Glasnegativ, Urheber: Hertel, nach 1906, Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg, Fotothek, Inv.-Nr. 8708

darunter „[...] *24 Schwerter mit Scheiden verschiedener Länge, 104 Schwertstichblätter, vier Schwertnadeln, 34 Schwertmesser, 15 Griffringe, 16 Griffkapseln, zwei Paar Griffverzierungen unter der Verschnürung, zwei Ritterrüstungen mit heraldischen Zeichen, gesticktes Prinzessinnenkleid, Seidenstoff, Rock, Bluse, Farbenholzschnitte, Fournierprobenbuch, Wappenbüchlein, Farbenholzschnittwerke, Seidenpapierbilder, Photographien der kaiserlichen Familie, Schulbücher, Tageszeitungen, Stoffproben, Gitarren, zwei Elefantenzahn-Vasen, drei Metallspiegel, Köcher mit Pfeilen zum Vogelschießen, Maus aus Bergkristall, Glücksgott Hotei, vier Proben von Lackarbeiten, drei Buddhastatuen im Altarschrein, vier metallne Götzen, hölzerner geschnittener Teller, Bronzeschale, lackierte Holzdose, Netzke, Räuchergefäße in Gestalt eines Fuchses und einer Melone, Eßstäbchen, Schreib- und Lackierpinsel, Rosenkranz, fünf Etuis für Opiumpfeifen, sieben Kapseln für Medizinfläschchen, kleine* Bronzevasen, *Rollbilder, Seidenstickerei: Der Drache entsendet den Krieger in den Seekampf.*“[4] Die etwa 270 Stücke boten damit einen interessanten Querschnitt mit typischen Ethnographica der japanischen Kultur, so zum Beispiel mit Objekten aus dem Leben der Samurai sowie aus Handwerk und Kunst. Der Freiberger Altertumsverein machte sie als sogenannte Röseler-Mezger-Japan-Sammlung der Öffentlichkeit zugänglich und stellte sie in einem Raum im 2. Obergeschoss seines Museums am Untermarkt aus.[5] Die Sammlung wurde dann wohl noch vor dem Zweiten Weltkrieg dem Naturkundemuseum Freiberg übergeben. 1984 forcierte der zuständige Rat für Kultur beim Rat des Kreises die Abgabe der ethnographischen Sammlungsgegenstände aus dem Freiberger Museum an das Staatliche Museum für Völkerkunde in Dresden, heute ein Teil der Staatlichen Kunstsammlungen Dresden.[6] Dort sind diese in den Beständen aufgegangen, so dass eine eindeutige Zuordnung der von Mezger gesammelten Objekte wahrscheinlich nicht mehr möglich ist. Zuletzt befand sich noch bis vor wenigen Jahren die besagte Seidenstickerei „Der Drache entsendet den Krieger in den Seekampf“ in Freiberg, sie wurde schließlich ebenso an das Dresdener Museum abgegeben.

Wenngleich Adolph Mezger und seine Aktivitäten im In- und Ausland heute in Deutschland fast in Vergessenheit geraten sind, so wurde und wird die Erinnerung an seinen Beitrag zum Aufbau der japanischen Montanindustrie in Japan selbst wach gehalten. Bereits 1982 erschien in der japanischen Zeitung Asahi Shinbun ein Artikel, der die Bedeutung von Mezger herausstellte. An seinem damaligen japanischen Wohnort, dem heutigen Kitaakita City, ist das noch erhaltene Ausländerwohnhaus (Ijinkan) ein Teil des regionalen Folkloremuseums (Denshoukan). In diesem wird nicht nur die regionale Kultur- und Bergbaugeschichte gezeigt, sondern auch an Adolph Mezger erinnert.[7]

2 Vgl. Mezger, Adolph: Einiges ueber Bergbau und Huettenwesen in Japan. Veröffentlicht in den Mittheilungen der Deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens. Herausgegeben von dem Vorstande, Band III (1880–1884), Heft 30, S. 408–415.

3 Vgl. Treptow, Emil: Der altjapanische Bergbau und Hüttenbetrieb, dargestellt auf Rollbildern, in: Gottschalk, C. G. (Hrsg.): Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen Jahrgang 1904, Freiberg 1904, S. 149 ff.

4 Knebel, Konrad: Fünfzig Jahre Altertumsverein, in: Mitteilungen des Freiberger Altertumsvereins 45 (1909), S. 124. Bei Netzke, auch Netsuke, handelt es sich um kunstfertig gestaltete Gürtelknebel, die dazu dienten, mit Hilfe einer Kordel kleine Dosen oder Beutel an einem Gürtel zu befestigen.

5 Vgl. Knebel, Konrad (Hrsg.): Führer durch die Sammlung für Altertum, Kunst und Volkskunde des Freiberger Altertumsvereins im König-Albert-Museum. Freiberg 1906, S. 59 f.

6 Vgl. Schreiben an Bürgermeister Runge vom 12.09.1984, Akte o. Sign., Naturkundemuseum, Leihverträge, Stadtarchiv Freiberg.

7 Das hauptsächlich von Adolph Mezger bewohnte Ausländerwohnhaus brannte 1953 ab, das zweite Gebäude, das Ijinkan, wurde schließlich 1990 als national wichtiges materielles Kulturgut unter besonderen Schutz gestellt.

Am Ende des Regenbogens – Anmerkungen zu Dietrich von Freiberg

Norman Pohl

Über dem ehemaligen Dominikanerkloster St. Pauli entstand ein neues Hörsaalgebäude.[1] Etwa vor 750 Jahren unterwies Dietrich von Freiberg in diesem Kloster seine Mitbrüder im christlichen Glauben. Der Beitrag nimmt dies zum Anlass, die Person Dietrichs kurz vorzustellen und ein Schlaglicht auf die damaligen Lebensumstände zu werfen. Die beigegebenen umfangreichen Literaturhinweise ermöglichen es dem Leser, sich selbst eingehend mit dem Thema zu beschäftigen.

Theodoricus Teutonicus de Vriberg (variants: de Vriburgo, de Vribergh, de Vriberch, de Fridiberg, de Frideberch, Vriburgensus), in englisch *Theodoric of Freiberg* und auf französisch *Thierry de Fribourg*: Das angesehene *Dictionary of Scientific Biography* stellt diesen Überblick nicht ohne Grund an den Anfang des Dietrich von Freiberg gewidmeten Eintrags. Der Autor des Überblicks fährt fort: *„Which of the many Freibergs or Freiburgs is the place of his birth is not known for certain; …“*.[2] Der Eintrag in der Neuen Deutschen Biographie geht auf die Frage nach der Herkunft Dietrichs erst gar nicht ein,[3] ebensowenig die letzte als Druckfassung publizierte Ausgabe des Brockhaus,[4] wohingegen die im 19. Jahrhundert begonnene Allgemeine Deutsche Biographie als biografisches Standardwerk „großer Deutscher“ Freiburg im Breisgau als Geburtsort angab.[5]

Den sorgfältigen Erwägungen zu Dietrichs Lebenslauf von Loris Sturlese[6] folgen Kurt Flasch[7] und Karl-Hermann Kandler,[8] aber auch Markus Führer[9] gleichermaßen. Sturlese wendet sowohl die äußere wie die innere Quellenkritik an, um die Überlieferungen zu deuten. So ist das erste von Sturlese angesprochene Dokument, aus dem das Jahr 1271 als Dietrichs Zeit als Lektor im Freiberger Dominikanerkonvent St. Pauli abgeleitet wird, Teil der *„berühmten Briefsammlung Berlin theol. Lat. Oct. 109“*. Deren Nutzung ist nicht problemlos: *„Mehr als die Hälfte dieser Briefe tragen weder Datum noch Absender, fast alle Namen im Text sind durch Punkte ersetzt.“*[10] Aus der Position des Briefes zu vorangestellten und nachfolgenden Briefen zieht die Forschung den Schluss, den Zeitraum der Abfassung auf das Ende des Jahres 1272 zu legen. Aus einer weiteren Quelle, nämlich dem Eintrag des *„Schatzmeister(s) der Ordensprovinz Teutonia (…) nach dem Rechnungsabschluß an dem Provinzialkapitel Worms (…) Ende 1274“* in Höhe von zwei Silbermark in der Aufstellung von Einnahmen und Ausgaben *„zugunsten des Bruders Theodoricus, der Student in Paris war“*[11] und gemäß des obigen Briefes wird Dietrich von Freiberg als jene Person identifiziert, die *„von dem Kapitel der Teutonia als Student an der Universität Paris ausgewählt worden“* war. Sturlese diskutiert anschließend ausführlich das Problem, dass der oben erwähnte Rechnungsabschluss von der Forschung bis dato auf das Jahr 1276 datiert wurde, was er zugunsten der Harmonisierung mit dem Lebenslauf Dietrichs und dem als erste Quelle angeführten Brief, in welchem, wie auch Sturlese selbst betont, der Name Dietrichs nicht auftaucht, verwirft. Plausibilität gewinnt die Zuschreibung dieser Quellen auf die Person Dietrichs hingegen durch dessen späteren Lebenslauf, den Versuch einer plausiblen Reihung seiner erhaltenen Schriften und der durch ihn nachweislich bekleideten hohen Funktionen in der Hierarchie des Dominikanerordens. Diese sind in der einschlägigen Forschungsliteratur diskutiert, wohingegen die *Kleine Geschichte des Dominikanerordens*[12] wie auch der erste Band der ausführlicheren Darstellung[13] weder Dietrich noch Freiberg erwähnen.[14]

Sturlese führt gemäß den hier nur angedeuteten Erörterungen seine Betrachtungen in der Rekonstruktion des Lebens Dietrichs weiter. Die Jahre 1272 bis 1274 gelten danach als Pariser Studienzeit Dietrichs. Dem *„venerabili fratri Theodorico, tunc fratrum lectori in Treviris“* erschien einer Legende zufolge dann kurz nach dem Tod von Albertus Magnus 1280 eine in Saarbrücken verstorbene fromme Frau, woraus ein Aufenthalt Dietrichs als Lektor der Trierer Dominikaner abgeleitet wird. In weiterreichenden Schlussfolgerungen gibt diese Legende Anlass zur häufig zurückgewiesenen Hypothese, zwischen Albertus Magnus und Dietrich von Freiberg habe ein Lehrer-Schüler-Verhältnis bestanden.[15] Über die Jahre 1274 bis 1279 kann keine sichere Aussage getroffen werden, ebenso nicht für die Jahre 1282 bis 1292. Führer vermutet einen langen Parisaufenthalt. Sturlese gibt an, *„daß mindestens ein anderer Dietrich zu dieser Zeit in den Konventen Deutschlands Karriere machte.“*[16] Im September 1293 erfolgte die Wahl Dietrichs zum Provinzialprior der Ordensprovinz Teutonia der Dominikaner, ein Amt, das er bis 1296 versah und das er zur Gründung elf neuer Konvente nutzte. Für die folgende Zeit gibt Sturlese an, Dietrich habe 1296 an der theologischen Fakultät der Pariser Universität promoviert und dann den Lehrstuhl bekleidet, der den nichtfranzösischen Dominikanern vorbehalten war.[17] Dietrich war somit nach Albertus Magnus der zweite deutsche Dominikaner, der die Pariser Magisterwürde erlangte. Danach bekleidete er weitere hohe Positionen im Orden, so nach seiner Wahl auf dem Provinzialkapitel der teutonischen Ordensprovinz in Koblenz 1303 zum Provinzialdiffinitor, da das Generalkapitel des Ordens in Besançon im gleichen Jahr die deutsche Ordensprovinz in eine teutonische und eine sächsische teilte. Eckart von Hochheim folgte Dietrich von Freiberg 1302/03 als Pariser Magister nach und führte ab 1304 als Meister Eckart die sächsische Ordensprovinz. Im Mai diesen Jahres erhielt Dietrich auf dem Generalkapitel des Ordens in Toulouse die Aufforderung, seine Theorie des Regenbogens niederzuschreiben, weshalb die Entstehungszeit der Schrift in den Zeitraum 1304 bis 1311 datiert wird.[18] Während des Generalkapitels in Piacenza 1310 wird Dietrich zum deutschen Provinzialvikar

1 Freiberg, Prüferstraße, Schloßplatzquartier: S. auch S. 98 (Foto) und S. 112 („Kunst am Bau“).
2 Wallace, O. P. 1981: 92.
3 Eckert, O. P. 1957.
4 Brockhaus Enzyklopädie 1988.
5 Preger 1877: 191.
6 Sturlese 1984: 1-63.
7 Flasch 2007, auch mit Verweis auf Krebs 1906.
8 Kandler 2009: 5-34; Kandler 2010: 5-34; Kandler 2013.
9 Führer 2020.
10 Sturlese 1984: 2.
11 Sturlese 1984: 2–11.
12 Hinnebusch 2004.
13 Hinnebusch 1966: Index.
14 Zur Geschichte der Dominikaner in Deutschland: Heusinger et al. 2016.
15 Führer 2020; Eckert 1957.
16 Sturlese 1984: 14; so auch Kandler 2013: 176.
17 Sturlese 1984: 55; auch: Mulchahey 1998: 351–384.
18 Sturlese 1984: 59.

bestimmt und führt in dieser Funktion das Provinzialkapitel im Herbst 1310 in Speyer durch, das Meister Eckart als seinen Nachfolger wählte. Da diese Wahl für ungültig erklärt wurde, sollte 1311 ein Wahlkapitel in Zürich stattfinden. Hier verlieren sich die Spuren Dietrichs.[19]

Dominikaner werden, Dominikaner sein

Die Rekonstruktion der Lebenszeit Dietrichs beruht im Wesentlichen auf dem Ausbildungsweg, der für begabte Mitglieder des Dominikanerordens vorgesehen und durch verschiedene Ordensversammlungen, die Generalkapitele, stetig weiterentwickelt wurde. Mit Verweis auf ältere Literatur entwickelt Sturlese einen elfjährigen Bildungsweg: drei Jahre für ein *studium artium*, zwei Jahre für ein *studium naturalium*, drei Jahre für ein Studium der Theologie und weitere drei Jahre für ein *studium solemne*.[20] Für die Aufnahme in den Orden musste der künftige Novize lesen und schreiben können, Latein ebenso beherrschen wie die christliche Glaubenslehre.[21]

Mit Bezug auf Jean of Montlhéry und dessen zeitgenössische Überlieferung schildert Mulchahey detailliert das Aufnahmeritual der Dominikaner. Der zum Eintritt in den Orden willige junge Mann im Alter von mindestens 18 Jahren hatte sich vor dem Prior in den Staub zu werfen und so zu demütigen, bevor sein Entschluss einer nochmaligen kritischen Überprüfung unterzogen wurde. Gebildet, unverheiratet, ohne Schulden und ohne Verpflichtungen gegenüber anderen Ordensgemeinschaften sowie bei guter Gesundheit und willig, gemäß den strengen Regeln des Ordens zu leben, musste der künftige Novize sein. Keuschheit und Enthaltsamkeit, freiwillige Armut, Demut und Gehorsam würden sein Leben allgemein bestimmen, konkret eine Fastenzeit von Herbst bis Ostern, Verzicht auf Fleischkonsum, Schlafen ohne Matratzen, das Tragen von Woll- statt Leinenkleidung, niemals Reiten auf einem Pferd. Der Mönch durfte kein Bargeld mit sich führen und musste seinen Lebensunterhalt durch Betteln bestreiten[22] – um hier Konflikte zu verringern, grenzten die Konvente im Rahmen des *„Terminierwesens“* die *„Bettelbezirke“* untereinander ab.[23]

Diese auf ein Leben in Armut gerichtete Lebensform fand ihren Niederschlag auch darin, dass die ersten festen Niederlassungen der Dominikaner zunächst so weit wie möglich vom Zentrum einer Stadt entfernt entstanden. Den dann einsetzenden Wandel beschreibt Mollat: *„Als die Bettelorden sich schließlich doch in den Stadtzentren niederließen, geschah dies, weil einerseits die Orden in den Städten, wo die Armut sich unter dem Diktat der Geldwirtschaft ständig ausbreitete, das ideale Terrain für ihre Seelsorge erkannten; (...) Je größer und reicher, je dichter bevölkert eine Stadt war, umso mehr Arme gab es dort und umso mehr Bettelmönche. Nach der geographischen Verteilung von Armut und Reichtum läßt sich eine Hierarchie der städtischen Zentren erstellen. So unterscheidet Jacques Le Goff Städte mit vier, drei oder zwei Konventen der Bettelorden, die kleinsten Städte besaßen nur einen Konvent.“*[24]

Konvente der Dominikaner und Franziskaner entstanden also dort, wo für die Botschaft eines würdigen Lebens in Armut Widerhall zu erwarten war. Dass neben dem Dominikanerkonvent St. Pauli auch noch ein Kloster der Franziskaner in Freiberg exisitierte, lässt auf eine ausgeprägte Ungleichverteilung des Reichtums in der Stadt schließen. Beide Orden errichteten im Burglehen von Freiberg gelegene und damit der Gerichtsbarkeit des Landesherrn unterstehende Klosteranlagen. Das Kloster der Dominikaner wird 1243, das der Franziskaner 1283 erstmals urkundlich genannt.[25] Dem Dominikanerkonvent in Freiberg benachbart waren die Konvente in Leipzig, Pirna und Plauen. Der Einflußbereich des Freiberger Konvents reichte nach Annaberg, Chemnitz, Döbeln, Großenhain, Leisnig, Lommatzsch, Meißen, Mittweida, Oschatz, Sayda und Wolkenstein.[26]

Blieb der Arme als Ziel der mönchischen Aktivitäten ansonsten im „Alltag ein Vergessener“,[27] so war der ihm zugewiesene Platz in Freiberg vor der Goldenen Pforte. Eher geht ein Kamel durch ein Nadelöhr, als dass ein Reicher in den Himmel kommt, wenn aber Arme die Goldene Pforte passieren konnten, dann deshalb, weil die in Freiberg ausgeübten Berufe sie in die Nähe der ansonsten Verachteten rückten.[28] Kunsthistorische Betrachtungen unserer Zeit blenden solche Fragen aus.[29] Zu Recht? Richter[30] betont die Funktion Freibergs als *„ökonomische(s) Zentrum der Mark Meißen“* mit einer starken Rechtsstellung und einer bürgerschaftlichen Autonomie, die sich *„im zwischen 1296 und 1305 aufgezeichneten Stadtrechtsbuch“* niederschlug. Um 1300 reicht Freiberg flächenmäßig (46,6 ha) wie von der Bevölkerungszahl (etwa 5.500) zwar an Leipzig, aber nicht an andere bedeutende deutsche Großstädte der Zeit (Erfurt, Magdeburg, auch Köln) heran. Freiberg war Fernhandelszentrum und besaß mit dem für das Jahr 1263 erstmals erwähnten, privilegierten Jahrmarkt am 25. Juli (Tag des Apostels Jakobus der Ältere) einen der ältesten Märkte Sachsens. Es war seit 1244 Hauptmünzstätte mit einem 1288 erstmals namentlich erwähnten Münzmeister, es war die erste Stadt in der Markgrafschaft Meißen mit Bergbau. Explizit weist Richter darauf hin, dass nicht im Bergbau die Ursache der bäuerlichen Besiedlung zu sehen ist, da der Bergbau erst auf die Besiedlung folgte.[31] Ende des 13. Jahrhunderts entstanden die ersten Innungen. Freiberg wies eine Stadtmauer auf, deren Baubeginn wohl in den 1180er Jahren lag und die 1233, aber ohne Hinweis auf den Ausbau, urkundlich aufscheint.[32]

War die Orientierung an einem Leben in Armut für Dominikaner wie auch für die etwa zeitgleich als Orden bestätigten Franziskaner gleich, so legten die Dominikaner in ihren gegen Glaubensabweichler gerichteten Aktivitäten Wert auf eine argumentative Schulung der Ordensmönche[33], setzten also vor der späteren Ausformung der Inquisition in der frühen Phase ihres Wirkens zunächst auf Überzeugung. Der Orden des Heiligen Franziskus, er selbst nach seinem eigenem, vielfachen Zeugnis ein *„homo simplex et idiota, ein einfacher und schulmäßig nicht gebildeter Mann“*[34], brachte zusammen mit den Dominikanern führende Philosophen der mittelalterlichen Scholastik hervor. So gehörten Roger

19 Sturlese 1984: 60.
20 Sturlese 1984: 3, Fußnote 9; vgl. auch Frank 1966.
21 Flasch 2007: 21.
22 Mulchahey 1998: 75–79.
23 Voigt 2015.
24 Mollat 1984: 113.
25 Hoffmann/Richter 2012: 135–136.
26 Voigt 2015: 353.
27 Mollat 1984: 106.
28 Mollat 1984: 98.
29 Magirius 1967; Magirius 2002.
30 Richter 2002: 6-11.
31 Zum Bergbau des 13. Jahrhunderts: Bartels/Klappauf 2012; Schwabenicky 2009; Wagenbreth 1999.
32 Lawrenz 2002: 243; Hoffmann/Richter 2012: 51–52.
33 Hinnebusch 2004; Bedouelle 2004; zu den Franziskanern: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung 1982.
34 Grau 1982: 64.

Bacon (etwa 1214–1294), Bonaventura (1221–1274) und Alexander von Hales (1170/80–1245) dem Franziskanerorden an, Thomas von Aquin (1225–1274) und Albertus Magnus (1194/1206–1280) waren Dominikaner.[35] Andererseits ist selbst für den Dominikanerorden eine latente Wissenschaftsfeindlichkeit feststellbar und durch das im Ausbildungsgang verankerte Noviziat institutionalisiert.[36] Dietrich von Freiberg entfaltete ungeachtet dessen später eine rege geistige Tätigkeit[37] und entwickelte im Denken über das Denken selbst seine Intellekttheorie[38]: *„intellectus est per essentiam et semper in actu“*.

Ein Aspekt in Dietrichs Schaffen ist oftmals gewürdigt: *„D*[ietrich] *veränderte das Selbstverständnis der Philosophie, die er als konsequentes Wissen der Vernunft von sich selbst, von Gott, den sie in sich als ihr Prinzip findet, und von der Natur verstand.“*[39] Bis dato war, Petrus Damiani zugeschrieben, die Philosophie die Magd der Theologie. Gleichwohl ist dies wörtlich so nicht in den Briefen des Petrus Damiani überliefert, gedanklich jedoch durchaus. Die Stelle lautet: *„Quae tamen artis humanae peritia, si quando tractandis sacris eloquiis adhibetur, non debet ius magisterii sibimet arroganter arripere, sed velut ancilla dominae quodam famulatus obsequio subservire, ne si praecedit, oberret, et dum exteriorum verborum sequitur consequentias, intimae virtutis lumen et rectum veritatis tramitem perdat.“*[40] Neben weiteren Fragen wirft die Stelle auch die nach alternativen Bedeutungen des Ausdrucks *ancilla* auf. So gebraucht Ennen in einer Interpretation einer durch Gregor von Tours überlieferten Begebenheit in ihrer Lesart des Begriffs *ancilla* die Übersetzung „Sklavin“, wohingegen die von Giesebrecht besorgte und durch Buchner überarbeitete zweisprachige Ausgabe der *Zehn Bücher Geschichten* die Übersetzung „Magd“ wählt.[41]

Wie immer dürfte der Leitspruch des Latein-Unterrichts „So wörtlich wie möglich und so frei wie nötig“ einschlägig sein. Die angebotene Bedeutungsspanne im Georges umfasst *„die Magd, die Hausarbeiten verrichtet, die Dienerin, Zofe, Sklavin“* eben auch den Hinweis auf den Kontext *„verächtl. von einem, der durch knechtische Dienstfertigkeit gegen jmd. sich erniedrigt“*, im weiteren Zusammenhang als Beschreibung einer Verhaltensweise *„als Magd- u. dann übh.* [überhaupt] *jmdm. dienen, aufwarten, dienstbar sein, gegen jmd. den Untertänigen machen, ihm sklavisch zu Willen sein“*.[42]

Dietrich von Freiberg wählte zur Charakterisierung seiner Werke im *Tractatus de substantiis spiritualibus et corporibus futurae resurrectionis* überraschenderweise aber ein daran orientiertes Gleichnis: *„er arbeite ‚wie Ruth‘.“*[43] Aus Moab ausgewandert, erreicht Ruth als Rückkehrerin, aber dennoch Fremde, Bethlehem zur Erntezeit. Mittellos bat sie erfolgreich darum, einer Gruppe Erntearbeitern folgen zu dürfen, *„um einzusammeln, was die begleitenden Mägde liegengelassen hatten.“*[44] Flasch sieht durch Dietrich die ansonsten übliche Demutsformel *„individuell gesetzt: Er* [Dietrich, Anm. N. P.] *kommt als Fremder in die gegebene Problemsituation; er kommt wie die Ausländerin Ruth. Er gehört nicht zu den Schnittern, nicht zu den einheimischen Mägden. Er greift auf, was liegengeblieben ist. Er untersucht die Reste, die unbeachtet geblieben sind, wie jene ‚Kleinigkeiten‘, nach denen Sokrates zu fragen pflegte.“*[45] Entsprechen Dietrichs Leistungen im späteren Urteil seiner Selbsteinschätzung? Jedenfalls wandte er sich mehrfach scharf gegen die *communiter loquentes*, die Gemeinschaft der Schwätzer, die nur deshalb argumentativ die Oberhand behalten, weil sie in der weit überwiegenden Mehrzahl undurchdacht irgend etwas nachplapperten.

Regenbogen

„Von den optischen Erscheinungen in der Atmosphäre hatte von jeher der Regenbogen die größte Beachtung gefunden, und so gibt es denn auch keinen griechischen, arabischen oder mittelalterlichen Autor, der, wenn er über Naturwissenschaft schreibt, dieses Thema vernachlässigt.“[46] Für Werke der Geschichte der Naturwissenschaften oder der Physik gilt diese Aussage jedoch nicht, zumindest insofern der *Traktat de iride et de radialibus impressionibus*[47] Dietrichs darin Erwähnung findet als die erste Schrift, die den bis heute gültigen Erklärungsansatz des Naturphänomens im wesentlichen im Einklang mit den heute als gültig angesehenen physikalischen Gesetzen „richtig“ beschreibt. Flasch gibt einen Überblick der Werke, die auf Dietrich Bezug nehmen.[48] Dem steht eine ganze Reihe von verbreiteten und als Einführungsliteratur in die Geschichte der Naturwissenschaften oder der Physik vielfach empfohlenen Überblickswerken gegenüber, in denen Dietrich von Freiberg keine Erwähnung findet.[49] Kritisch sind in dieser Hinsicht auch Arbeiten von eigentlich Fachfremden, im positiven Sinne des Begriffs des Dilettanten zu sehen[50], oder Überblicksschriften mit anderem Ansatz, die etwa von einem naturwissenschaftlichen Ausgangspunkt sich der Problematik nähern.[51] Ablehnend zu einer Befassung mit Dietrich äußert sich die marxistisch-leninistisch inspirierte Historiografie, etwa Bernal, der wegen seiner Bedeutung ausführlicher zu zitieren ist:

„So sehr die Handvoll mittelalterlicher Experimentatoren für ihre Errungenschaften Bewunderung verdient, so wenig machte sie von diesen Methoden Gebrauch, um die Natur zu erforschen, geschweige zu beherrschen. Es lag für sie kein Anlaß dazu vor, es gab aber sehr viele Gründe, die dagegen sprachen. Als Männer der Kirche hatten sie dringendere Beschäftigungen: Gerbert (um 930–1003), der erste westliche Wissenschaftler, wurde Papst; Robert Grosseteste (um 1168–1253), der fähigste von ihnen, war Bischof und Rektor der Universität Oxford; Albertus Magnus war der dominikanische Ordensprovinzial für ganz Deutschland, ebenso wie Dietrich von Freiburg {sic!} *(um 1300), der beste Experimentator. Selbst der kühnste Denker des Spätmittelalters, Nikolaus von Cues (1401–1464), wurde in den päpstlichen Dienst gezogen und schließlich Bischof von Brixen. Alles, was diese Männer für die Wissenschaft leisteten, war Freizeitbeschäftigung. (…) Die gesamten Errungenschaften des Mittelalters auf dem Gebiet der Naturwissenschaften bestehen in einigen*

35 Störig 1957: 172; Mason 1991: 137-152; allgemein Dijksterhuis 2002; Crombie 1965.
36 Flasch 2007: 23.
37 Dietrich von Freiberg 1977–1985.
38 Mojsisch 1977; Mojsisch 1980.
39 Anonymus 1995; ähnlich Sandvoss 1989: 118.
40 Angegebene andere Lesarten: *tractandi* statt *tractandis, ius* fehlt, *arrogatiam, sed servire* oder *subvenire* anstatt *subservire*. Petrus Damiani an Abt Desiderius und den Konvent von Monte Cassino, Anfang des Jahres 1065. – Reindel 1989: Nr. 119, S. 354, mit Verweis auf Baudoux 1937; weiterführend Seckler 1991.
41 Ennen 1984: 86, 108–110; Giesebrecht/Buchner 2000: V 3, 282/283.
42 Georges 1951: Band 1, Spalte 419, 420.
43 Flasch 2007: 40-41; Buch Ruth, 2, 1-23; Dietrich von Freiberg 1980: 299.
44 Flasch 2007: 41.
45 Flasch 2007: 41.
46 Dijksterhuis 2002:165.
47 Dietrich von Freiberg 1985: 95-268, lat. Text 115-268.
48 Flasch 2007: 633-677.
49 Störig 1957; Mason 1991.
50 So Simonyi 1990.
51 Kilian/Aschemeier 2012: 20-22, 119-122, mit Verweis auf Genesis 9, 12-17; Ezechiel 1, 28; Offenbarung, 4, 2-3.

wenigen Bemerkungen von Albertus Magnus über Naturgeschichte und Mineralien, in einer bedeutenden Abhandlung von Kaiser Friedrich II. über Jagdvögel, in einigen Verbesserungen der Optik von Alhazen und Dietrich von Freiburg {sic!} *und Witelo, einschließlich einer Beschreibung des Regenbogens, die erst von Newton verbessert werden sollte, und in einigen nicht sehr originellen kritischen Betrachtungen von Buridan und Oresme zur aristotelischen Theorie der Bewegung. Unter Berufung darauf will man uns heute weismachen, die Revolution der Wissenschaft habe im 13. Jahrhundert ihren Anfang genommen, und Albertus Magnus, der 1931 etwas verspätet kanonisiert wurde, müsse als Schutzheiliger der Wissenschaft angesehen werden!".*[52]

Verdeckte Bedeutungen?

Senatus populusque Romanorum: SPQR. Es fehlt ein „R" zum scheinbaren Nachweis der frühen Präsenz römischer Legionen am – mit „SPQ" in der Raumverteilung der TU Bergakademie Freiberg abgekürzten – Schloßplatzquartier. Es fehlte auch nur der Erwerb einer weiteren Liegenschaft, und die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften wäre an der „Wallstreet", zu deutsch: Wallstraße, gelegen gewesen. Die Baugeschichte des Quartiers ist bereits beschrieben.[53]

In Rom nahm der Dominikanerorden im letzten Viertel des 13. Jahrhunderts eine Fläche in Besitz, auf und unter der ein vormaliger Tempel der Minerva vermutet wurde. Es entstand darauf in den folgenden beiden Jahrhunderten die Basilica di Santa Maria sopra Minerva als Kirche des Ordens. Minerva, Schutzgöttin der Weisheit und Hüterin des Wissens: ihr heidnischer Tempel also nunmehr von einer christlichen Kirche überbaut? Und nun das vormalige Dominikanerkloster St. Pauli, überbaut von der TU Bergakademie Freiberg, einer heutigen Hüterin des Wissens? Die Entwicklung erinnert an die Umwandlung der Ruinen der Diokletiansthermen in Rom 1563 unter der Leitung von Michelangelo in die Basilika Santa Maria degli Angeli e dei Martiri, auf die die Sowjetunion 1962 mit der Umwandlung der St. Petrikirche im damaligen Leningrad in ein Schwimmbad antwortete, an die sich 1992 die Rückverwandlung in eine Kirche anschloss.[54] Wird die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften als eine Hauptnutzerin der Räume im neuen Gebäude in ihren Lehrveranstaltungen inhaltlich an das von den Dominikanern gepredigte Armutsideal anknüpfen? Keinesfalls ist die im Konvent betriebene Schule als Vorläufereinrichtung der TU Bergakademie Freiberg zu sehen. Warum nicht? Ohne die Kenntnis der antiken Überlieferungen sind die Verständnismöglichkeiten in den Bereichen der Architektur, der Kunst, Literatur und Musik und auch der Philosophie zumindest starken Einschränkungen unterworfen und verführen dazu, die heutige Bedeutung von Begriffen, die sich aus antiken oder mittelalterlichen Prägungen entwickelten, unhinterfragt und ahistorisch an die Stelle der damaligen Bedeutung treten zu lassen. Dies gilt im Hinblick auf einen inzwischen geänderten Bedeutungsinhalt beispielsweise für Begriffe wie „Studium Generale", „Lektor" oder „Intellekt". So verweist Mulchahey auf den durch den Dominikanerorden bewusst herbeigeführten Gleichklang des an den Universitäten bis 1350 angebotenen „Studium Generale" zu dem dominikanischen „Studium Generale" der ordenseigenen Bildungseinrichtungen und zeigt detailfreudig, dass die Situation in Paris und Oxford eben nicht für Bologna, Montpellier, Köln und Barcelona gilt, da sorgsam zwischen der Existenz einer Schule oder eines Studienhauses der Dominikaner einerseits und der Einrichtung einer Universität andererseits unterschieden werden muss.[55] Dies gilt auch für die jeweils gelehrten Inhalte. Und auch wenn die Schulen vor Ort angesehene Bildungseinrichtungen sein konnten, so dürfte doch die Deutung Flaschs Gültigkeit beanspruchen: *„Von diesen Konventsschulen mit einem einzigen Dozenten werden wir uns keine übertriebenen, keine universitätsanalogen Vorstellungen machen. Der Lektor hatte Rücksicht zu nehmen auf die Bedürfnisse seiner Zuhörer, die Prediger oder Beichtväter waren bzw. werden sollten. Er erklärte kursorisch die Bibel und das Handbuch der mittelalterlichen Theologie, die Sentenzen des Petrus Lombardus."*[56]

Die Erinnerung an Dietrich von Freiberg könnte jedenfalls ein Anlass sein, sich der Grundlagen der abendländischen Kultur von Zeit zu Zeit zu vergewissern. Dies dürfte so wahrscheinlich besser gelingen als montagabends an der frischen Luft.

52 Bernal 1978: 279–280; fast wortgleich: Bernal 1961: 229–230.

53 Handschuh 2013; das Umfeld nimmt in den Blick: Hübner 2013.

54 Mortsiefer/Pelzer 2016.

55 Mulchahey 1998: 362–378.

56 Flasch 2007: 19.

Literatur

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (Hrsg.); Kühnel, Harry; Egger, Hanna; Winkler, Gerhard (Schriftleitung): 800 Jahre Franz von Assisi. Franziskanische Kunst und Kultur des Mittelalters. Katalog der Niederösterreichischen Landesausstellung vom 15. Mai bis 17. Oktober 1982 in der Minoritenkirche in Krems-Stein. Wien 1982 (Katalog des NÖ Landesmuseums, Neue Folge 122).

Anonymus: Dietrich von Freiberg, auch Theodericus Teutonicus de Vriberg, in: Killy, Walther (Hrsg.): Deutsche Biographische Enzyklopädie (DBE). Band 2. Bohacz – Ebhardt. München, New Providence, London, Paris 1995, S. 533.

Bartels, Christoph; Klappauf, Lothar: Das Mittelalter. Der Aufschwung des Bergbaus unter den karolingischen und ottonischen Herrschern, die mittelalterliche Blüte und der Abschwung bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts, in: Bartels, Christoph; Slotta, Rainer (Hrsg. d. Bandes); Vorstand der Stiftung Bibliothek des Ruhrgebiets, in Verbindung mit dem Deutschen Bergbau-Museum (Hrsg. d. Gesamtwerkes): Geschichte des deutschen Bergbaus. Band 1: Der alteuropäische Bergbau. Münster 2012, S. 111–248.

Baudoux, Bernardus: Philosophia „Ancilla Theologiae", in: Antonianum 12 (1937), S. 293–326.

Bedouelle, Guy: Geschichte und Identität, in: Hinnebusch, William A.: Kleine Geschichte des Dominikanerordens. Leipzig 2004 (Dominikanische Quellen und Zeugnisse 4), S. 9–21.

Bernal, John Desmond: Sozialgeschichte der Wissenschaften. Science in History. Band 1: Entstehung und Wesen der Wissenschaft. Die Wissenschaft im Altertum. Die Wissenschaft im Zeitalter des Glaubens. Deutsche Ausgabe Reinbek bei Hamburg 1978.

Bernal, John Desmond: Die Wissenschaft in der Geschichte. 2. Aufl., London 1957, deutsche Ausgabe Berlin (Ost) 1961.

Brockhaus Enzyklopädie in vierundzwanzig Bänden. 5. Band COT – DR. 19. Aufl., Mannheim 1988, Lemma Dietrich, D. von Freiberg, Theodoricus Teutonicus, S. 488.

Crombie, A. C.: Von Augustinus bis Galilei. Die Emanzipation der Naturwissenschaft. 2. Aufl., Köln, Berlin 1965.

Dietrich von Freiberg: Opera omnia. (Corpus Philosophorum Teutonicorum Medii Aevi, Band II in vier Teilbänden): *Band II, 1:* Schriften zur Intellektheorie. Tractatus de visione beatifica. Tractatus de intellectu et intelligibili. Herausgegeben von Burkhard Mojsisch. Hamburg 1977. *Band II, 2:* Schriften zur Metaphysik und Theologie. Tractatus de habitibus (Steffan, Hartmut). Tractatus de ente et essentia (Imbach, Ruedi). Tractatus de magis et minus (Imbach, Ruedi; Steffan, Hartmut). Tractatus de natura contrariorum (Imbach, Ruedi). Tractatus de corpore Christi mortuo (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Tractatus de cognitione entium separatorum et maxime animarum separatarum (Steffan, Hartmut). Tractatus de dotibus corporum gloriosorum (Sturlese, Loris). Tractatus de substantiis spiritualibus et corporibus futurae resurrectionis (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Tractatus de intelligentiis et motoribus caelorum (Sturlese, Loris). Tractatus de corporibus caelestibus quoad naturam eorum corporalem (Sturlese, Loris). Herausgegeben von Ruedi Imbach, Maria Rita Pagnoni-Sturlese, Hartmut Steffan und Loris Sturlese. Hamburg 1980. *Band II, 3:*

Schriften zur Naturphilosophie und Metaphysik, Quaestiones. Prologus generalis in tractatum de tribus difficilibus quaestionibus et tractatus de animatione caeli (Sturlese, Loris). Tractatus de accidentibus (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Tractatus de quiditatibus entium (Imbach, Ruedi; Cavigioli, Jean-Daniel). Tractatus de origine rerum praedicamentalium (Sturlese, Loris). Tractatus de mensuris (Rehn, Rudolf). Tractatus de naturae proprietate continuorum (Rehn, Rudolf). Fragmentum de subiecto theologiae (Sturlese, Loris). Quaestio utrum in Deo sit aliqua vis cognitiva inferior intellectu (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Quaestio utrum substantia spiritualis sit composita ex materia et forma (Mojsisch, Burkhard). Quaestiones (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Fragmentum de ratione potentiae (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Hamburg 1983. *Band II, 4:* Schriften zur Naturwissenschaft. Tractatus de luce et eius origine (Rehn, Rudolf). Tractatus de miscibilibus in mixto (Wallace, William A.). Tractatus de elementis corporum naturalium (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita). Tractatus de iride et de radialibus impressionibus (Pagnoni-Sturlese, Maria Rita; Sturlese, Loris). Tractatus de coloribus (Rehn, Rudolf). Epistulae (Sturlese, Loris). Herausgegeben von Maria Rita Pagnoni-Sturlese, Rudolf Rehn, Loris Sturlese und William A. Wallace. Hamburg 1985.

Dijksterhuis, Eduard Jan: Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin, Göttingen. Heidelberg 1956, 2. Nachdruck der Ausgabe von 1983, Berlin, Heidelberg, New York 2002.

Eckert, OP, Willehad: Dietrich von Freiberg (Theodericus Teutonicus de Vriberg), in: Historische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Neue Deutsche Biographie. Dritter Band. Bürklein – Ditmar. Berlin 1957, S. 690.

Ennen, Edith: Frauen im Mittelalter. Ausgabe Frankfurt am Main, Olten, Wien 1984.

Flasch, Kurt: Einführung in die Philosophie des Mittelalters. 2. Aufl., Darmstadt 1989.

Flasch, Kurt: Dietrich von Freiberg. Philosophie, Theologie, Naturforschung um 1300. Frankfurt am Main 2007.

Frank, Isnard Wilhelm: Zur Studienorganisation der Dominikanerprovinz Teutonia in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts und zum Studium des Seligen Heinrich Seuse OP, in: Filthaut, Ephrem (Hrsg.): Heinrich Seuse. Köln 1966, S. 39-70.

Führer, Markus: Dietrich of Freiberg, in: Zalta, Edward N. (ed.): The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Edition Fall 2020, Stanford University. https://plato.stanford.edu/entries/dietrich-freiberg/, letzter Zugriff 19. November 2020.

Georges, Karl Ernst: Ausführliches Lateinisch-Deutsches Handwörterbuch. Aus den Quellen zusammengetragen und mit besonderer Bezugnahme auf Synonymik und Antiquitäten unter Berücksichtigung der besten Hilfsmittel ausgearbeitet. Zweiter Band, 9. Aufl., Hannover, Leipzig, Sonderauflage Tübingen 1951.

Giesebrecht, W. [übers.]; Buchner, Rudolf [Bearb.]: Gregor von Tours. Zehn Bücher Geschichten. Erster Band: Buch 1-5. 8. Aufl., Darmstadt 2000 (Freiherr vom Stein-Gedächtnisausgabe, Ausgewählte Quellen zur deutschen Geschichte des Mittelalters II).

Grau, Engelbert: Franziskusbiographie, in: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (Hrsg.); Kühnel, Harry; Egger, Hanna; Winkler, Gerhard (Schriftleitung): 800 Jahre Franz von Assisi. Franziskanische Kunst und Kultur des Mittelalters. Katalog der Niederösterreichischen Landesausstellung vom 15. Mai bis 17. Oktober 1982 in der Minoritenkirche in Krems-Stein. Wien 1982 (Katalog des NÖ Landesmuseums, Neue Folge 122), S. 64-78.

Handschuh, Andreas: Das Schlossquartier – Eine kleine Baugeschichte, in: Kandler, Karl-Hermann; Mojsisch, Burkhard; Pohl, Norman (Hrsg.): Die Gedankenwelt Dietrichs von Freiberg im Kontext seiner Zeitgenossen. Freiberg 2013 (Freiberger Forschungshefte D 243), S. 203-211.

Heusinger, Sabine von; Füllenbach, Elias H.; Senner, Walter; Springer, Klaus-Bernward (Hrsg.): Die deutschen Dominikaner und Dominikanerinnen im Mittelalter. De Gruyter 2016 (Quellen und Forschungen zur Geschichte des Dominikanerordens, Neue Folge 21).

Hinnebusch, William A.: The History of the Dominican Order. Vol. 1: Origins and Growth to 1500. Staten Island, N.Y. 1966.

Hinnebusch, William A.: The History of the Dominican Order. Vol. 2: Intellectual and Cultural Life to 1500. Staten Island, N.Y. 1973.

Hinnebusch, William A.: Kleine Geschichte dees Dominikanerordens. Leipzig 2004 (Dominikanische Quellen und Zeugnisse 4).

Hoffmann, Yves; Richter, Uwe: Entstehung und Blüte der Stadt Freiberg. Die bauliche Entwicklung der Bergstadt vom 12. bis zum Ende des 17. Jahrhunderts. Diss. TU Chemnitz 2012. Halle an der Saale 2012.

Hübner, Manfred: Freiberger Dom mit Schloss- und Domviertel. Rostock 2013.

Kandler, Karl-Hermann: Dietrich von Freiberg. Philosoph – Theologe – Naturforscher. Freiberg 2009. 2. Aufl., Freiberg 2010.

Kandler, Karl-Hermann: Dietrich von Freiberg: Leben – Werk – Wirkung, in: ders.; Mojsisch, Burkhard; Pohl, Norman (Hrsg.): Die Gedankenwelt Dietrichs von Freiberg im Kontext seiner Zeitgenossen. Freiberg 2013 (Freiberger Forschungshefte D 243), S. 175-185.

Kilian, Ulrich; Aschemeier, Rainer: Das große Buch vom Licht. Darmstadt 2012.

Krebs, Engelbert: Meister Dietrich. Sein Leben, seine Werke, seine Wissenschaft. Münster 1906 (Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters 5, Heft 5-6).

Lawrenz, Manfred: Die Freiberger Stadtbefestigung, in: Hoffmann, Yves; Richter, Uwe (Hrsg.): Stadt Freiberg. Beiträge. Band I. Freiberg 2002 (Denkmale in Sachsen; Denkmaltopographie Bundesrepublik Deutschland), S. 242-259.

Magirius, Heinrich: Zu Fragen der Ikonographie der Goldenen Pforte, in: Hütter, Elisabeth; Löffler, Fritz; Magirius, Heinrich (Hrsg.): Kunst des Mittelalters in Sachsen. Festschrift Wolf Schubert. Dargebracht zum sechzigsten Geburtstag am 28. Januar 1963. Weimar 1967, S. 198-221.

Magirius, Heinrich: Sakralbauten in Freiberg, in: Hoffmann, Yves; Richter, Uwe (Hrsg.): Stadt Freiberg. Beiträge. Band I. Freiberg 2002 (Denkmale in Sachsen; Denkmaltopographie Bundesrepublik Deutschland), S. 208-241.

Mason, Stephen F.: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Studienausgabe Stuttgart 1991.

Mojsisch, Burkhard: Die Theorie des Intellekts bei Dietrich von Freiberg. Diss. Uni Bochum 1974. Hamburg 1977, Opera omnia / Dietrich von Freiberg: Beihefte 1).

Mojsisch, Burkhard (Hrsg.): Dietrich von Freiberg. Abhandlung über den Intellekt und den Erkenntnisinhalt. Hamburg 1980 (Philos. Bibliothek 322).

Mollat, Michel: Die Armen im Mittelalter. Ausgabe Frankfurt am Main, Olten, Wien 1984.

Mortsiefer, Marius; Pelzer; Kerstin: Kultur. Die Christi-Erlöser-Kathedrale in Moskau: Vom Gotteshaus zum Schwimmbad und zurück. https://www.dw.com/de/die-christi-erl%C3%B6ser-kathedrale-in-moskau-vom-gotteshaus-zum-schwimmbad-und-zur%C3%BCck/a-19561486 Letzter Zugriff 26. September 2020

Mulchahey, M. Michèle: „First the Bow is Bent in Study ....“ Dominican Education before 1350. Toronto 1998.

Preger: Dietrich oder Theodorich von Freiburg, in: Historische Commission bei der Königlichen [Bayerischen] Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Allgemeine Deutsche Biographie. Fünfter Band Von der Decken – Ekkehart. Leipzig 1877, S. 190-192.

Reindel, Kurt (Hrsg.): Die Briefe des Petrus Damiani. Teil 3, Nr. 91-150. München 1989 (Monumenta Germaniae Historica (MGH): Epistolae 02. Die Briefe der Deutschen Kaiserzeit 4) Petrus Damiani an Abt Desiderius und den Konvent von Monte Cassino = Nr. 119, S. 341-384.

Richter, Uwe: Freiberg im Mittelalter, in: Hoffmann, Yves; Richter, Uwe (Hrsg.): Stadt Freiberg. Beiträge. Band I. Freiberg 2002 (Denkmale in Sachsen; Denkmaltopographie Bundesrepublik Deutschland), S. 5-45.

Sandvoss, Ernst R.: Geschichte der Philosophie. Band 2: Mittelalter, Neuzeit, Gegenwart. München 1989.

Schwabenicky, Wolfgang: Der mittelalterliche Silberbergbau im Erzgebirgsvorland und im westlichen Erzgebirge. Chemnitz 2009.

Seckler, Max: „Philosophia ancilla theologiae“. Über die Ursprünge und den Sinn einer anstößig gewordenen Formel, in: Theologische Quartalschrift 171 (1991), S. 161–187.

Simonyi, Károly: Kulturgeschichte der Physik. Leipzig, Jena, Berlin, Budapest, Thun, Frankfurt am Main 1990.

Störig, Hans Joachim: Kleine Weltgeschichte der Wissenschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1957.

Sturlese, Loris: Dokumente und Forschungen zu Leben und Werk Dietrichs von Freiberg. Hamburg 1984 (Corpus Philosophorum Teutonicorum Medii Aevi, Beihefte 3).

Sturlese, Loris: Die deutsche Philosophie im Mittelalter. Von Bonifatius bis zu Albert dem Großen (748–1280). München 1993.

Voigt, Jörg: Das Terminierwesen der Bettelorden am Beispiel der Dominikaner und Franziskaner in Sachsen und Thüringen, in: Bünz, Enno; Kühne, Hartmut (Hrsg.): Alltag und Frömmigkeit am Vorabend der Reformation in Mitteldeutschland. Wissenschaftlicher Begleitband zur Ausstellung „Umsonst ist der Tod“. Leipzig 2015 (Schriften zur sächsischen Geschichte und Volkskunde 50), S. 345-362.

Wagenbreth, Otfried: Freiberg und sein Bergbau in der Zeit Dietrichs von Freiberg, in: Kandler, Karl-Hermann; Mojsisch, Burkhard; Stammkötter, Franz-Bernhard (Hrsg.): Dietrich von Freiberg. Neue Perspektiven seiner Philosophie, Theologie und Naturwissenschaft. Freiberger Symposion: 10.-13. März 1997. Amsterdam, Philadelphia 1999 (Bochumer Studien zur Philosophie 28), S. 9-22.

Wallace, OP, William A.: Dietrich von Freiberg, in: Gillispie, Charles Coulston (ed. in chief): Dictionary of Scientific Biography. Vol. 3 Pierre Cabanis – Heinrich von Dechen. Eight-volume edition New York 1981, p. 92-95.

Kabinettausstellung zu Dr. Moritz „Don Mauricio“ Hochschild

Stefanie Preißler

Ende 2018 trat Dr. Michael Düsing vom Freiberger Zeitzeugnis e. V. zusammen mit Dr. Jana Pinka an den VFF mit der Bitte heran, ein Gemeinschaftsprojekt zu Moritz Hochschild zu initiieren. Dem vorausgegangen waren ein Artikel von Dr. Düsing über Hochschild in der Vereinszeitschrift ACAMONTA[1], ein Vortrag am 18. Dezember 2017 im Kolloquium des Instituts für Industriearchäologie, Wissenschafts- und Technikgeschichte (IWTG) in Freiberg sowie eine Ausstellung zu jüdischen Absolventen und Wissenschaftlern der TU Bergakademie Freiberg im Städtischen Festsaal im Jahr 1996. Das Wirken von Hochschild sollte national wie international stärker bekannt gemacht und gewürdigt werden. Ein Bezug zum VFF ist übrigens in der Form nachweisbar, dass Dr. Moritz Hochschild im Gründungsjahr der „Gesellschaft der Freunde der Bergakademie Freiberg“, der Vorgängerinstitution des heutigen VFF, eine lebenslange Mitgliedschaft mit einer einmaligen Beitragszahlung in Höhe von 5.000 Mark einging.

Im VFF wurde die Projektidee wohlwollend aufgenommen und eine Freiberger Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitarbeitern des IWTG (Prof. Dr. Helmuth Albrecht, Dr. Norman Pohl), des Universitätsarchivs (Annett Wulkow Moreira da Silva), des VFF (Prof. Dr. Horst Brezinski, Prof. Dr. Hans-Jürgen Kretzschmar, Stefanie Preißler) sowie Dr. Düsing, gebildet.

Das Leben von Dr. Moritz Hochschild (1881-1965) – oder auch „Don Mauricio“, wie er in Südamerika genannt wurde – gestaltete sich äußerst vielfältig: Absolvent, Promovend und Förderer der Bergakademie Freiberg; Erzunternehmer und „Zinnbaron“ in Südamerika; Initiator und Förderer der Rettung tausender Juden sowie Mäzen sozialer Projekte; Geschäftsmann, Visionär, Europäer und Weltbürger. So ist Dr. Moritz „Don Mauricio“ Hochschild eine äußerst interessante Persönlichkeit in den Zeitenströmen des 20. Jahrhunderts, deren Handlungen nie nur schwarz oder weiß gesehen werden können.

Um ein differenziertes Bild seiner Person zu erhalten, beauftragte der VFF Frau Maria Schöne, Absolventin des Masterstudiengangs Industriekultur, zum Jahreswechsel 2018/19 im Rahmen eines Werkvertrags mit einer Recherche zu Hochschild. Dabei ging es vor allem darum, spanisch- und englischsprachige Quellen zu sichten, um einen Eindruck von der heutigen Rezeption von „Don Mauricio“ in den südamerikanischen Ländern – vor allem in Argentinien, Chile, Peru, Bolivien und Brasilien – zu gewinnen. Sie las dafür Zeitungsartikel, Dissertationen, Webseiten und Monografien, die zum großen Teil online verfügbar oder via Fernleihe zugänglich waren. Frau Schöne konnte so nachweisen, dass sich ab den Zweitausenderjahren langsam – auch aufgrund der Dissertationen von Helmut Waszkis (2001) und León E. Bieber (2015) – das Bild von Hochschild in Südamerika zu ändern begann. 2011/12 wurden ergänzende Dokumente auf dem Gelände des staatlichen bolivianischen Bergbauunternehmens Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) gefunden, die Hochschild als „Schindler Boliviens“ in den Medien bekannt machten. 2016 erfolgte die Aufnahme der Hochschild-Dokumente zur jüdischen Immigration aus dem Archivo Histórico de la Minería Nacional de la Corporación Minera de Bolivia in das Regionalregister (MOWLAC) des UNESCO-Programms „Weltdokumentenerbe“. Ein Abschlussbericht sowie eine Dokumenten- und Fotosammlung rundeten die Arbeit von Frau Schöne ab. Ihre Nachforschungen ergaben, dass kein Anlass zu Bedenken ob seiner unternehmerischen Praktiken als einer von drei „Zinnbaronen“ Boliviens und ob der damit zusammenhängenden Verhaftungen von Hochschild besteht, seine Biografie allerdings entsprechend differenziert darzustellen ist.

Die Recherche und die auf ihr basierende Dokumentation boten die Grundlage für sich 2019/20 anschließende Arbeiten an einer Kabinettausstellung in Form von vier Rollups. An ihr waren die Mitglieder der oben genannten Arbeitsgruppe beratend beteiligt. Das Verfassen der Texte sowie die Recherche der Bildrechte inklusive des Abschlusses der erforderlichen Nutzungsverträge übernahm Frau Stefanie Preißler. Dank der Unterstützung durch Sponsoren – die Sparkassen-Stiftungen der Sparkasse Mittelsachsen gaben freundlicherweise 500 Euro und die VNG-Stiftung 200 Euro dazu – war es möglich, die Bildrechte sowie den Druck durch die eLife Media GbR zu finanzieren. Die Sponsoringmittel wurden dafür komplett aufgebraucht. Das Layout der vier Ausziehtafeln übernahm Dr. Constance Bornkampf.

© Andreas Krause/eLife media GbR

Die vier fertigen Rollups warten auf ihren Einsatz.

Ursprünglich sollten die Rollups anlässlich der für Juni 2020 geplanten Feierlichkeiten zu „100 Jahre eigenständiges Promotionsrecht“ an der TU Bergakademie Freiberg erstmals gezeigt werden, was jedoch die Covid-19-Pandemie durchkreuzte. Da Hochschild mit seiner im Jahr 1921 erfolgreich verteidigten Doktorarbeit einen Einblick in die Biografie eines an der Bergakademie unter eigenständigem Promotionsrecht frühen Promovenden gegeben hätte, ist dies umso bedauerlicher. Nichtsdestotrotz ist eine Ausstellung mit den Rollups anlässlich der Mitgliederversammlung und anschließender Barbarafeier des VFF im Dezember 2021 vorgesehen – spannenderweise in genau dem Jahr, in dem sich die Gründung des Fördervereins und zugleich die erfolgreiche Promotion von Hochschild zum 100. Mal jähren.

Sollten sich im vorangehenden Zeitraum (bis Dezember 2021) Interessenten finden, so können nach Rücksprache die Rollups gern für mögliche anderweitige Ausstellungsprojekte kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. In Ergänzung ist ein Begleitheft zur Kabinettausstellung im Jahr 2021 angedacht.

Kontakt:
Freiberger Alumni Netzwerk
Stefanie Preißler
Akademiestraße 6, 09599 Freiberg
stefanie.preissler@extern.tu-freiberg.de
Tel. +49 (0) 3731 39-3772

1 Düsing, Michael: Moritz Hochschild (1881–1965), in ACAMONTA 24 (2017), S. 142f.

„Im allgemeinen geht es aber mit dem Bergbau … jetzt schnell vorwärts“ Humboldt als Mineraloge und Geologe in den fränkischen Fürstentümern Ansbach und Bayreuth

Friedrich Naumann

Humboldts Zugang zu den Naturwissenschaften

Humboldts Leidenschaft für die Naturwissenschaften, in Sonderheit zu Mineralogie und Geologie, entwickelt sich bereits in früher Jugend; schon hier interessiert er sich für die belebte und unbelebte Natur, unternimmt Studien zu Pflanzen, Mineralien und Gesteinen, übt sich im sorgfältigen Beobachten, Sammeln, Bestimmen, Ordnen und Katalogisieren. Dazu gesellen sich Eigenschaften, über die sein Bruder Wilhelm mit Hochachtung bemerkte: *„Sein Kopf ist schneller und fruchtbarer, seine Einbildungskraft lebhafter, sein Sinn fürs Schöne schärfer, sein Kunstgefühl überhaupt … weit mehr geübt und gebildet. Im ganzen hat er überall und in jedem Verstande mehr Sinn, mehr Kraft, neue Ideen aufzufassen, aus dem Wesen der Dinge selbst herauszuheben.“*[1]

Exzellent waren auch die Bedingungen, unter denen die Gebrüder Humboldt aufwuchsen: Betreuung durch Hauslehrer, aber auch vornehmer, auf allseitige Bildung gerichteter Umgang mit Intellektuellen und Staatsbeamten. Unter diesem Einfluss, begünstigt durch ausgedehnte Reisen, weitete sich Humboldts Blickfeld und bot sich ihm ein Vorgeschmack auf die noch ferne Zukunft, die er keineswegs nur am Schreibtisch verbringen wollte.

Erste wissenschaftliche Arbeiten

Während seines Studiums an der 1506 in Frankfurt (Oder) gegründeten *Alma Mater Viadrina* als *Cameralium Studiosus* lernte er beispielsweise Johann Friedrich Reitemeier kennen, der mit einer grundlegenden Schrift zur *Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens bey den alten Völkern* (Göttingen 1785)[2] auf sich aufmerksam gemacht hatte und für Humboldt ein kongenialer Gesprächspartner wurde. Und in Berlin, wo er sein Studium fortsetzte, freundete er sich mit Carl

Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens bey den alten Völkern, von Johann Friedr. Reitemeier D.
Eine Schrift, welche von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen den ersten Preis erhalten hat.
Göttingen, bey Johann Christian Dieterich, 1785

Abb. 1: Johann Friedrich Reitemeier: Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens bey den alten Völkern, 1785

TU Bergakademie Freiberg, Universitätsbibliothek, Wissenschaftl. Altbestand

Ludwig Willdenow an. Dieser bekannte Botaniker und Dendrologe, seit 1789 Professor für Naturgeschichte am *Collegium medico-chirurgicum*, wurde 1801 Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften und Lehrer für Botanik an der neu gegründeten Universität zu Berlin wie auch Direktor des Botanischen Gartens. Mit ihm teilte Humboldt seine Leidenschaften für die belebte und unbelebte Natur.

Gleichermaßen fruchtbar waren der Aufenthalt in der Universitätsstadt Göttingen, die Besichtigung der Salzwerke von Schönebeck, Großsalze und Frose, schließlich die frühe Beschäftigung mit geologischen Spezialfragen, die in sein Erstlingswerk *Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein. Mit vorangeschickten, zerstreuten Bemerkungen über den Basalt der ältern und neuern Schriftsteller* (Braunschweig 1790) mündeten, gewidmet *„in innigster Freundschaft und Verehrung“* dem *„Kurfürstlich Mainzisch. Hofrath und Bibliothekar, Herrn George Forster“*.

Besagtes Werk im stattlichen Umfang von 126 Seiten, das auch zu Humboldts Aufnahme als außerordentliches Mitglied in die „Churfürstlich-Meyntzische Gesellschaft oder Academie nützlicher Wissenschaften zu Erfurt“ geführt hatte, widerspiegelt bereits profunde Kenntnisse über Mineralien und Gesteine sowie geologische Sachverhalte. So ist nicht nur sein *Critischer Versuch über den Basalt des Plinius und den Säulenstein des Strabo* (S. 41 f.) hervorzuheben, sondern auch die Auseinandersetzung mit Auffassungen griechischer und römischer Klassiker. Unter den dazu zitierten Zeitgenossen findet sich bereits sein späterer Lehrer, der bekennende Neptunist Abraham Gottlob Werner.

Zur „Streitfrage“ bezüglich des „vulcanischen oder unvulcanischen Ursprungs des Basalts“ schreibt der 21-Jährige: *„Statt nach einem zwanzigjährigen Kampfe zu ermüden, scheinen die Partheien immer thätiger zu werden. Man bietet von allen Seiten alle Kräfte auf, um den Sieg zu erringen. Jeder klagt über die Hartnäckigkeit*

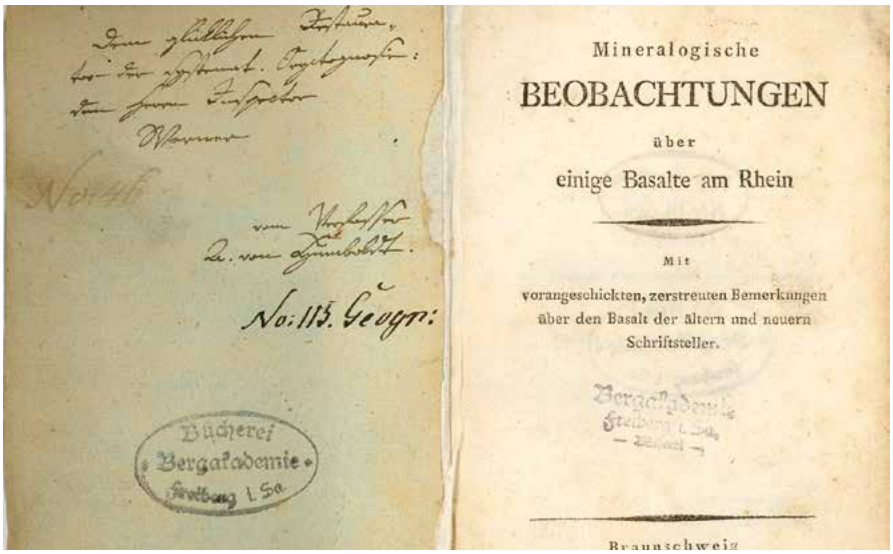

Mineralogische BEOBACHTUNGEN über einige Basalte am Rhein
Mit vorangeschickten, zerstreuten Bemerkungen über den Basalt der ältern und neuern Schriftsteller.
Braunschweig
No: 115. Geogn:
Bücherei Bergakademie Freiberg i. Sa.

Abb. 2: Mit diesem Buch bewarb sich A. v. Humboldt bei Werner um ein Studium an der Bergakademie, die Widmung lautet wie folgt: *Dem glücklichen Instauratoren der systemat. Oryctognosie: dem Herrn Inspector Werner / vom Verfasser A. von Humboldt.*

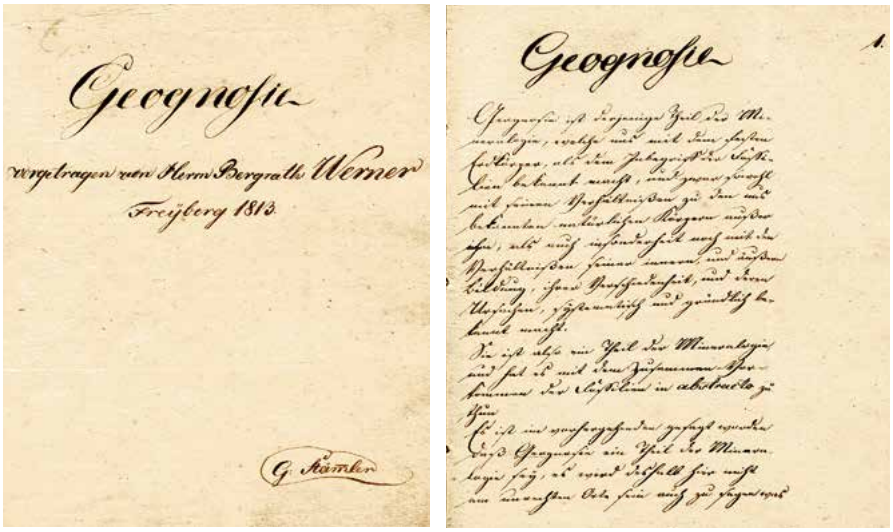
TU Bergakademie Freiberg, Universitätsbibliothek, Wissenschaftlicher Altbestand

1 Scurla, H.: Alexander von Humboldt. Sein Leben und Wirken. Berlin 1955, S. 53.

2 Hier findet sich die Anmerkung: *„Denn Deutschland ist für ganz Europa und selbst für auswärtige Welttheile die Schule der Bergbaukunst gewesen, und ist es noch selbst in den neuesten Zeiten geblieben.“*, S. 150.

© Waltraud Rabich/TU Bergakademie Freiberg

Abb. 3: Abraham Gottlob Werner (1749–1817)



Geognosie

vorgetragen von Herrn Bergrath Werner

Freiberg 1813

G. Stämmler

Geognosie

Friedrich Naumann (privater Besitz)

Abb. 4: Vorlesungsnachschrift zur Geognosie von Gottfried Stämmler (1813)

seiner Gegner, und jener litterarische Zwist, dessen Ende vielleicht noch fern ist, und an welchem die grössten Mineralogen Antheil nehmen, wird immer als ein schönes Denkmal menschlichen Scharfsinnes in der Geschichte der Gäognosie, Epoche machen.“[3]

Und in aller Bescheidenheit kommt er zu dem Schluss: *„Ich halte mich für meine Bemühungen hinlänglich belohnt, wenn ich dazu beigetragen habe, diese Irrtümer zu widerlegen.“*[4]

Von erheblichem Einfluss war auch der Kontakt mit Johann Georg Forster, der an der zweiten Weltumsegelung James Cooks teilgenommen und wichtige Beiträge zur vergleichenden Länder- und Völkerkunde der Südsee gelieferte hatte. Mit ihm begab er sich auf eine Forschungsreise von Mainz nach England und Paris, wobei er nicht nur London, Bristol und Birmingham, sondern auch die Bergwerke um den Hohen Peak, Berby und Stratford on Avon besuchte. Früchte trug diese Reise hinsichtlich mineralogischer, geologischer und technologischer Kenntnisse, verbrachte er doch *„den größten Teil des Tages unter der Erde“*, wie er später schrieb.

Auf diese Weise dürfte der „Welteroberer“, wie ihn Goethe nannte, schon frühzeitig geformt worden sein, so dass der weitere Weg – fernab vom *„elenden Kameralistenvolk“* – fast vorgezeichnet schien. In dem Entschluss, in den Staatsdienst einzutreten und Bergbeamter zu werden, bemühte er sich zunächst bei dem von Friedrich Anton Freiherr von Heinitz (auch Heynitz) geleiteten preußischen Bergwerks- und Hüttendepartement um eine entsprechende Anstellung mit der Aussicht, das dafür vorausgesetzte Fachstudium an der Bergakademie Freiberg absolvieren zu können.

Ausbildung an der Bergakademie Freiberg

Über den „Silbernen Boden“ Sachsens und die durch Werner über die Grenzen des Landes hinaus bekannte Bergakademie braucht es an dieser Stelle wohl keiner großen Worte. Im Umfeld eines bereits seit Jahrhunderten währenden Berg- und Hüttenwesens fand gerade hier das Leibnizsche *theoria cum praxi* seine deutliche Verwirklichung – ein Grund auch, weshalb sich Michail W. Lomonossow wie auch Dmitri I. Winogradow und Ulrich Raiser bereits 1739 nach Freiberg begeben hatten, um vor Ort sowohl die *Geometria subterranea* als auch *„Gruben Bau, Probir-Kunst und Hütten-Wesen, Poch- und Wäsch-Wercke, Schmelzhütten, practische Wiszenschaft von Klüfften und Gängen, von Anordnung einer Gruben-Zimmerung, Anlegung eines Kunst-Gezeuges, von Schurffen, Schächten und Stollen, Gebrauch des Gruben-Compasses, Aufbereitung und Zugutemachung derer Erze, und was dem anhängig“* zu studieren.[5]

Nach der Gründung der Bergakademie im Jahre 1765 und der Anstellung Werners 1775 als Inspektor und Lehrer für Oryktognosie (Mineralogie) und Bergbaukunde veränderte sich auch in Freiberg die Qualität der Ausbildung. Überkommene Vorlesungsnachschriften im Umfang von gut 600 Seiten *(vgl. Abb. 4)* belegen nicht nur deren Intensität, sondern auch Werners Absicht, Vorlesungen und Literaturstudium durch praktische Übungen und Exkursionen zu ergänzen. So empfahl er für seine Ausbildung vor allem das Lesen bergmännischer Schriften, das Befahren der Gruben, bergmännische Handarbeiten sowie die fleißige Ausarbeitung bergmännischer Aufsätze. Für den praktischen Unterricht stellte er sein „Stuffencabinet“ – eine große, über 10.000 Stücke umfassende Mineralien- und Edelsteinsammlung – sowie seine umfangreiche Fachbibliothek zur Verfügung. Damit begründete Werner seinen legendären Ruhm, galt er doch sogar in den Augen seines schottischen Kollegen und Begründers der modernen Geologie Charles Lyell als *„das große Orakel der Geologie“*, vermöge dessen *„unbeschreiblich belebender geistiger Kraft“* die Jünger dieser Wissenschaft aus aller Welt in die sächsische Bergstadt zogen.[6]

So war auch Humboldt von Werner fasziniert und beantragte deshalb bei ihm und beim zuständigen Oberbergamt die Immatrikulation an der Bergakademie – ein Schritt, der sein künftiges Leben entscheidend prägen sollte. Humboldt reiste also von Berlin aus in die sächsische Bergstadt und begann am 3. Juni 1791 mit dem Studium. Zu jener Zeit studierten in Freiberg lediglich 40 Studenten. Die Stadt zählte 9.200 Einwohner, ein Großteil arbeitete in den umliegenden 260 Gruben sowie in den Hüttenwerken. Die Ausbildung begann zunächst mit einer Einweisung in praktische Aufgaben des Berg- und Hüttenwesens – das bedeutete, in den ersten Wochen täglich die Gruben zu befahren

3 Humboldt, A. v.: Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein. Mit vorausgeschickten, zerstreuten Bemerkungen der ältern und neuern Schriftsteller. Braunschweig 1790, S. 13, 14.

4 Ib., S. 64, 65.

5 Brief Johann Friedrich Henckels an Johann Albrecht von Korff vom 1.2.(21.1.)1736. In: Сборник материалов для истории Императорской Академии наук в XVIII веке. Том 1, S. 89, 91.

6 Vgl. Lyell, C.: Lehrbuch der Geologie. 4 Bde., Quedlinburg u. Leipzig 1933/1935, S. 50f.

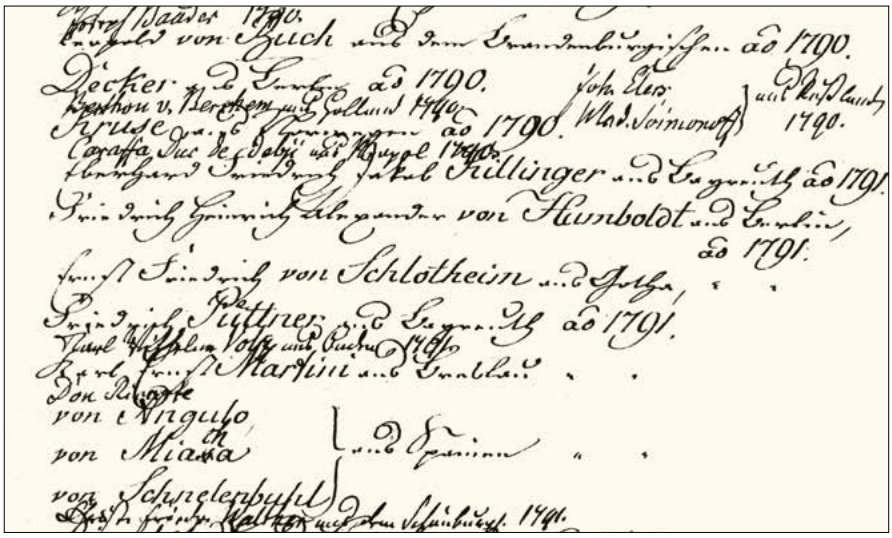
und sich auf diese Weise mit den Problemen untertage vertraut zu machen.

Zur Ausbildung zählten außerdem die Fächer Mathematik, Physik, technische Mechanik, theoretische und praktische Markscheidekunst, Zeichnen, Hüttenwesen, metallurgische Chemie und Probierkunst. Dafür standen solch hervorragende Lehrer wie J. F. W. T. Charpentier, J. F. Lempe, J. F. Freiesleben,[7] A. W. Köhler, J. A. Klotzsch und C. E. Gellert zur Verfügung.

Sein Tagwerk begann in der Regel bereits 4 Uhr morgens; von 6 Uhr bis 12 Uhr befuhr er die Gruben, um „vor Ort" praktisch zu arbeiten. An den Nachmittagen besuchte er bei den genannten Lehrern sogenannte *Collegia* bzw. *Privatissima*; die Zeit bis gegen Mitternacht nutzte er ebenfalls für die wissenschaftliche Arbeit. Eine derartige Intensität lässt verstehen, weshalb der nur neun Monate währende Freiberger Aufenthalt äußerst ergiebig war und sich die schöpferischen Fähigkeiten des 22-Jährigen unter diesen Bedingungen so außerordentlich entfalten konnten.

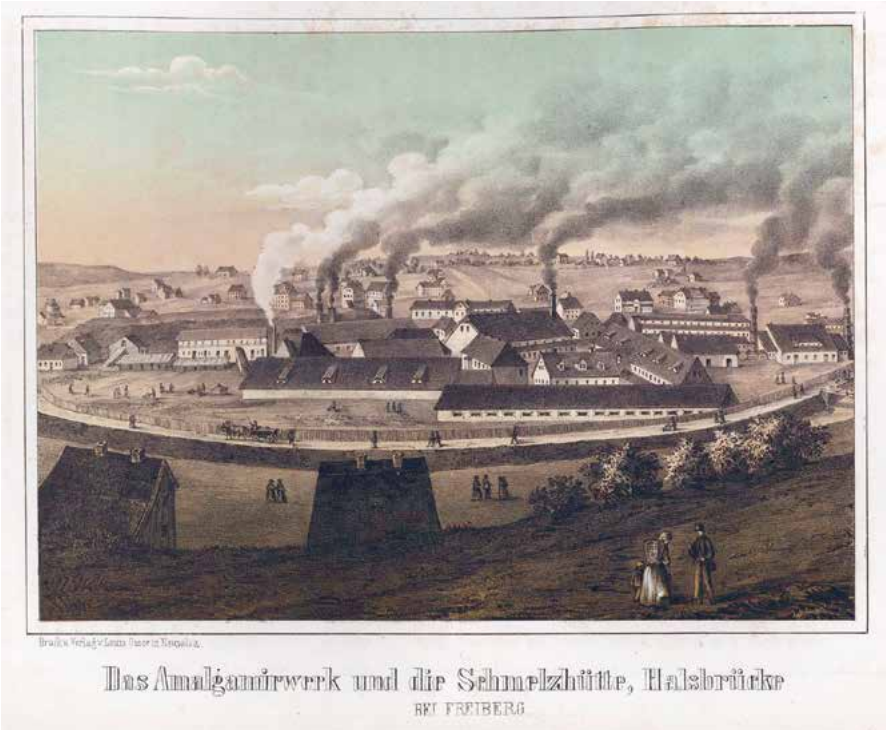
Über die schwere Tätigkeit schrieb er später: *„Die Arbeit in den dortigen Bergwerken stärkte meinen Körper sehr. In dem Wissen, wie sehr ich eines Tages physische Kräfte nötig haben werde, suchte ich mich mit allen Mitteln abzuhärten und mich an Entbehrungen zu gewöhnen … Es war noch keine Zeit meines Lebens, in der ich so beschäftigt war als hier. Meine Gesundheit hat sehr gelitten, obgleich ich nicht einmal krank war. Dennoch bin ich im ganzen sehr froh. Ich treibe ein Metier, das man, um es zu lieben, nur leidenschaftlich treiben kann, ich habe an Kenntnissen unendlich gewonnen, und ich arbeitete nie mit der Leichtigkeit als jetzt."*[8]

Besonders beeindruckend war vor allem die hochentwickelte Bergbautechnik, wie sie bereits Georgius Agricola in seinem berühmten Buch *De re metallica libri XII* von 1556 beschrieben hatte. Das galt gleichermaßen für die Hüttentechnik, so z. B. die Technologie der Silbergewinnung durch kalte Amalgamation, also das „kalte Anquicken in liegenden Holzfässern" ohne größeren Quecksilberverlust. Das von dem Metallurgen und Mineralogen Christlieb Ehregott Gellert[9] vervollkommnete und ab



UAF, OBA 456, Bl. 56

Abb. 5: Immatrikulation von Friedrich Heinrich Alexander von Humboldt an der Bergakademie Freiberg am 3. Juni 1791; hier finden sich auch die Namen Leopold von Buch und Ernst Friedrich von Schlotheim.



Album der Sächsischen Industrie, Bd. 1, hg. v. Louis Oeser, Neusalza 1856, S. 49

Abb. 6: Das Amalgamierwerk und die Schmelzhütte in Halsbrücke bei Freiberg

1787 eingeführte Verfahren war bereits weit gediehen, und *„die Musteranstalt der Europäischen Amalgamation"* im nahen Halsbrücke galt – auch über das europäische Festland hinaus – als Achtes Weltwunder. Ergänzend dazu unternahm Humboldt mehrtägige Exkursionen in das Erzgebirge, das böhmische Mittelgebirge, in die Salzlagerstätten Thüringens und zum Mansfelder Kupferschiefer.

Humboldt gab sich mit dem Bildungsangebot jedoch nicht zufrieden, sondern betrieb zusätzlich Forschungen, um Ursachen, Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten von Naturerscheinungen zu ergründen. So unternahm er u. a. verschiedene wissenschaftliche Studien in einer Freiberger Grube und legte hier einen kleinen botanischen Garten an. Im Ergebnis der Arbeiten erschien 1793 in lateinischer Sprache die erste botanische Arbeit zur unterirdischen Pflanzenwelt Freibergs mit dem Titel *Florae Fribergensis specimen*[10], gewidmet seinem Freund C. L. Willdenow.

7 Johann Friedrich Freiesleben, der Vater seines Freundes Johann Carl Freiesleben.

8 Humboldt, A. v.: Aus meinem Leben. Autobiographische Bekenntnisse. München 1987, S. 140.

9 Christlieb Ehregott Gellert, der ältere Bruder des Dichters und Philosophen Christian Fürchtegott Gellert, hielt sich von 1739 bis 1747 in St. Petersburg auf und war dort unter anderem an der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften auf dem Gebiet der Chemie und Physik tätig.

10 Humboldt, A. v.: Florae Fribergensis specimen plantas cryptogamicas praesertim subterraneas exhibens. Accedunt aphorismi ex doctrina physiologiae chemicae plantarum … cum tabulis aeneis. Berlin 1793, IX–X.

Andere Untersuchungen galten der Wirkung von Grubengasen, in deren Resultat er später eine spezielle Grubenlampe konstruierte, die auch bei sauerstoffarmer Luft funktionierte. Auch ersann er verschiedene Rettungsgeräte für die Arbeit in Kohlenmonoxid- oder Stickstoffatmosphäre und leistete damit einen Beitrag zur Sicherheit der Bergleute. Schließlich sei noch auf eine Messung von Grubenlufttemperaturen hingewiesen, die Humboldt zusammen mit seinem Freund Johann Carl Freiesleben im Freiberger *Kuhschacht* (heute Wernerplatz) und in der Grube *Junge Hohe Birke* bei Langenrinne vornahm, die als früher Beitrag zur Geothermie zu werten ist. Seit 1995 erinnert daran ein Denkmal am ehemaligen Huthaus der Fundgrube.

Von seinem Freunde ist auch eine Beurteilung überkommen, die so recht geeignet ist, auf Humboldts fernere Lebensabschnitte einzustimmen: *„Die hervorstechenden Züge seines liebenswürdigen Charakters waren unendliche Gutmütigkeit, wohlwollende und wohltätige, zuvorkommende, uneigennützige Gefälligkeit, warmes Gefühl für Freundschaft und Natur, Anspruchslosigkeit, Einfachheit und Offenheit in seinem ganzen Wesen: immer lebendige und unterhaltende Mitteilungsgabe, heitere humoristische, mitunter auch schalkhafte Laune! – Diese Züge, die ihm in späteren Jahren dazu verhalfen, wilde und rohe Menschen zahm und geneigt zu machen, in der gesitteten Welt aber überall Bewunderung und Anteil erregten, erwarben ihm schon während seiner Studienzeit in Freiberg allgemeine Liebe und Ergebenheit. Nur gegen Rohheit, Ungerechtigkeit und Härte konnte er erzürnt und heftig, gegen Sentimentalität konnte er bitter, gegen Schlaffheit (Breiigkeit des Gemütes nannte er es) und gegen Pedanterie konnte er ungeduldig werden.“*[11]

Als Spezialist für Berg- und Hüttenwesen im Fränkischen

Am 18. Februar 1792 verließ Humboldt Freiberg und beendete damit diesen wohl wichtigsten Abschnitt seines frühen Lebens. Bereits im März 1792 begab er sich in den Dienst des preußischen Staates als *Bergassessor cum voto* beim Königlichen Berg- und Hüttendepartement und damit in die Hände des preußischen Staatsministers Freiherr von Heinitz. In seiner Eigenschaft als Generalbergkommissar und oberster Leiter des Berg-, Hütten- und Forstwesens in Kursachsen hatte sich dieser bereits um die Gründung der Freiberger Bergakademie (1765/66) verdient gemacht; 1777 ernannte ihn Preußens König Friedrich II. zum Wirklichen Geheimen Etats-, Kriegs- und dirigierenden Minister und Oberberghauptmann beim Generaldirektorium des Bergwerks- und Hüttendepartements.

Humboldts erste Aufgabe bestand in der Anfertigung eines Gutachtens zur Steingutfertigung in Rheinsberg, enthaltend Analysen von keramischen Prozessen und Vorschlägen zur Optimierung der Prozesse.[12] Die Arbeit konnte insofern überzeugen, als man ihm befahl, *„sich über das ansbach-bayreuthische Berg- und Hüttenwesen* [einschließlich der Bruckberger Porzellanfabrik, die in ziemlichen Verfall geraten war und durch einen geeigneten „Kunstsachverständigen“ wieder zum Leben erweckt werden sollte], *hinlänglich* [zu] *orientieren“* und damit sein Arbeitsfeld in die fränkischen Fürstentümer Ansbach und Bayreuth zu verlagern. Diese waren per Vertrag am 16. Januar 1791 an das Königreich Preußen gefallen und wurden von Minister Karl August von Hardenberg verwaltet.

So kam ihm zunächst die Aufgabe zu, *„verschiedene Sachen durch Vorarbeiten bis zur Ankunft des Ministers zu praeparieren“*. Die entsprechende *„Ordre“* formulierte jedoch sehr viel mehr, nämlich *„die in höchstdero fränkischen Fürstentümern Bayreuth und Ansbach gelegenen Berg-, Hütten- und Hammerwerke, das Salzbergwerk zu Gerabronn und die Porzellan-Manufaktur in Bruckberg zu bereisen und deren gegenwärtigen Zustand zu untersuchen … Übrigens hat der von Humboldt sich auch aus den bei dem Bergwerks- und Salz-Departement über diese Gegenstände bereits verhandelten Akten, sowie auch aus denen in der Bibliothek des Bergwerks-Departements vorhandenen Schriften jene beiden Fürstentümer betreffend die erforderlichen Auszüge zu seiner vorläufigen Information zu machen“.*[13]

Mit diesem „Befehl“ machte sich Humboldt am 26. Juni 1792 auf den Weg nach Naila, von wo aus er zwecks Inspektion zusätzlich Station in Saalfeld (Smalte-Fabrikation, Blaufarbenwerk, Kobalt-Erze), Gräfenthal (Vitriolwerk, Eisensteinzeche) und Ziegenrück (Eisensteinzeche) machte. Freudig bewegt schrieb er bald seinem Freund Freiesleben: *„Alle meine Wünsche sind nun erfüllt, ich werde nun ganz dem praktischen Bergbau und der Mineralogie leben.“*[14]

Der Bergbau im Fränkischen lässt sich bis ins 14. Jahrhundert zurückverfolgen. Wichtige Bergbauzentren waren Arzberg, Goldkronach, Kupferberg, Weißenstadt, Wunsiedel, Lichtenberg, Fichtelberg und Naila. Abgebaut wurden zunächst Gold, Silber, Kupfer, Eisen und Zinn, ab dem 18. Jahrhundert auch Braun- und Steinkohle sowie Steine und Erden (Kaolin, Uran, Granit, Porphyr, Basalt, Marmor, Lehm, Ton, Quarz, Alaun, Speckstein). In der frühen Periode erschloss man vor allem die Seifenlagerstätten, da der hierfür erforderliche bergmännische Aufwand relativ gering war. Größere wirtschaftliche Bedeutung kam dem Eisenerzbergbau zu, z. B. am Fichtelberg in Naila, in Steben, in Lichtenberg, im Stadtsteinacher Revier, in Pegnitz usw. Der lukrative Bergbau auf Gold, der sich bis ins 14. Jahrhundert zurückverfolgen lässt, mit dem 30-jährigen Krieg allerdings zum Erliegen kam, konzentrierte sich vor allem auf Goldkronach.

Als Humboldt im Fürstentum Bayreuth ankam, war dieses noch in die drei Bergämter Naila, Goldkronach und Wunsiedel eingeteilt. Diese Ämter waren auch Gegenstand seiner Inspektionen, deren zeitlichen Umfang er zunächst kaum erahnen konnte. Auch war keinesfalls abzusehen, dass in diesem Auftrag nicht nur die Rekonstruktion des Berg- und Hüttenwesens, sondern auch Besichtigungen, Berichte, Gutachten und Vorschläge für die Porzellanmanufakturen in Höchst und Frankenthal, Bruckberg, Nymphenburg, Berlin und Tettau zur Disposition standen. Aber er erfüllte die in ihn gesetzten Erwartungen bravourös, und so ernannte man den erst 23-Jährigen bereits im September 1792 zum *Königlichen Oberbergmeister* für beide fränkische Fürstentümer und übertrug ihm damit die Direktion über sämtliche dort befindlichen Berg- und Hüttenwerke.

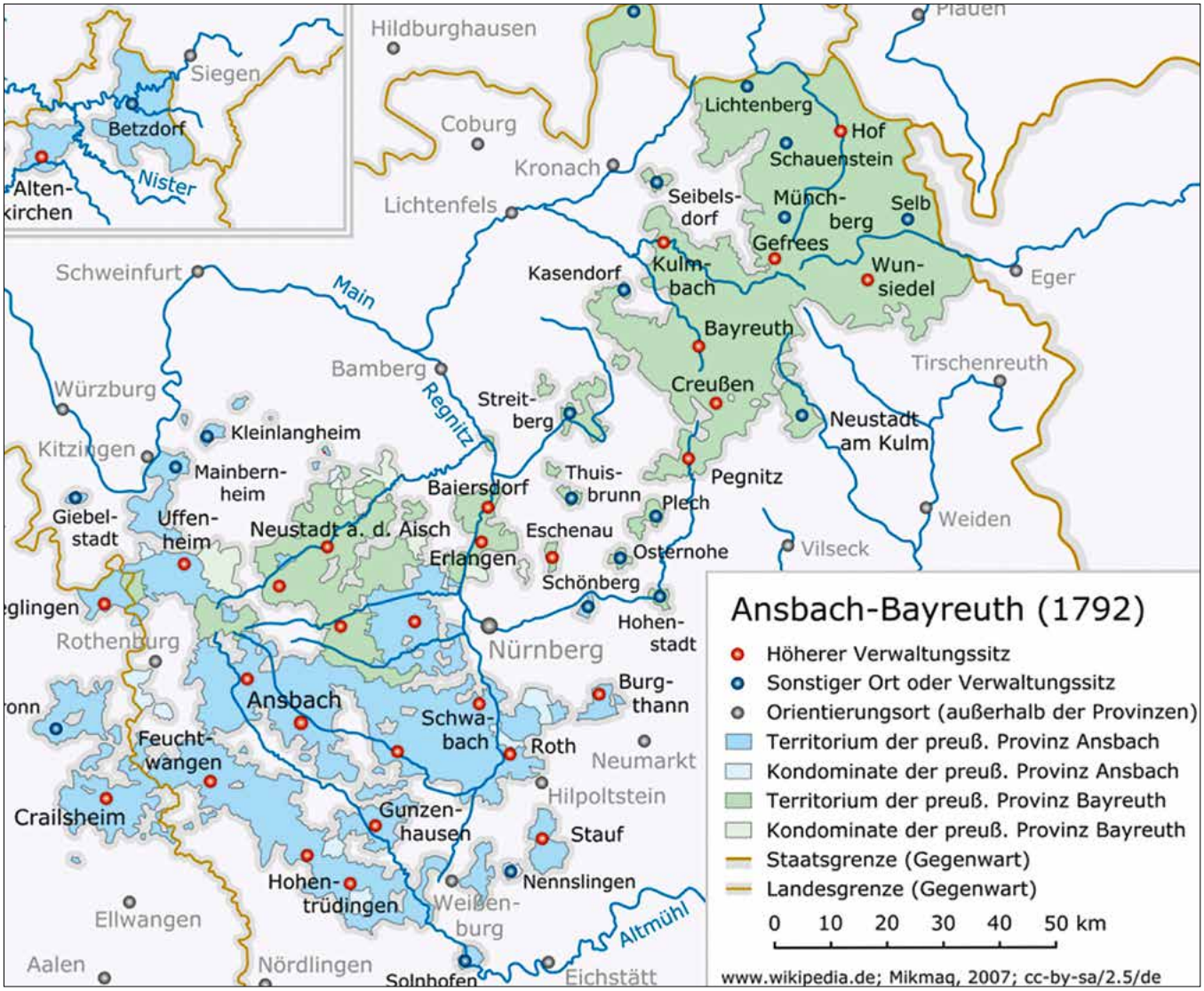
Wesentliche Grundlage für diese Beförderung waren die mit hohem Arbeitsaufwand verbundenen Inspektionen, die an einem Beispiel genauer erläutert werden sollen: Am 14. Juli befuhr Humboldt von Naila aus die bei Steben gelegenen

11 Zit. in: Alexander von Humboldt. Sein Leben, seine Werke. Hrg. v. C. W. Schmidt, Berlin 1924, S. 15.

12 Vgl. Hülsenberg, D. & I. Schwarz: Alexander von Humboldt. Gutachten zur Steingutfertigung in Rheinsberg 1792. Berlin 2012.

13 Zit. in: Alexander von Humboldt: Über den Zustand des Bergbaus und Hütten-Wesens in den Fürstentümern Bayreuth und Ansbach im Jahre 1792. Freib. Forsch.-H. D 23, Berlin 1959, S. 28.

14 Zit. in: Alexander von Humboldt. Sein Leben, a.a.O., S. 16.



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ansbach-Bayreuth_1792.png#/media/File:Ansbach-Bayreuth_1792.png

Abb. 7: Die Markgrafschaft Ansbach-Bayreuth nach der Übernahme durch Preußen im Jahr 1792

Gruben Friedensgrube samt Rückertsberg, Beschert Glück, Obere Mordlau, Untere Mordlau oder Hilfe Gottes samt Zufällig Glück, am Folgetag das Löwelsche Vitriolwerk in der Hölle, die Kuhschacht-Grube am Kemlas, den Rebekkastolln, den verbrochenen Erbstolln Schreckenberg, die alte Kupferzeche Kupferpühl im Höllengrund, die Eisensteingrube Gabe Gottes und Treue Freundschaft im Kemlas an der Saale, die Bingen eines alten Zinnbergwerks auf dem Büchigt bei Gottmannsgrün, die Eisensteinzechen Arme Hülfe Gottes und Eisenknoten bei Berg, die alten Eisengruben zu Hadermannsgrün und auf dem Keilingstein.

Den umfangreichen Befahrungsbericht ergänzte er schließlich durch eine Liste für notwendig erachtete Maßnahmen, so beispielsweise zu vorteilhafterem Haushalt, zu holzsparender Zimmerung, zu rationeller Förderung, zu verbesserter Luftzufuhr der Gruben, zur Verbesserung des Ausbringens der Hochöfen, zur Einführung der Akkordarbeit und zur 8-Stunden-Schicht für Grubensteiger und Bergarbeiter anstelle der zwölfstündigen usw. Das an Minister von Hardenberg überreichte Dokument hatte Vorbildwirkung für alle preußischen Behörden und umfasste *„fast 150 Bogen“* (das entspricht nahezu 600 Folioseiten im damals üblichen Papierformat von 21 × 33 cm). Der genaue Titel lautet: *Über den Zustand des Bergbaus und Hütten-Wesens in den Fürstentümern Bayreuth und Ansbach nebst Beilagen über die Saline zu Gerabronn und Schwäbisch-Hall, die Porzellan-Fabrik zu Bruckberg, das Vitriolwerk am Schwefelloch, die Natur des Eisens, der Smalte und die Entstehung der Schwefel-Säure bei der Alaun- und Vitriol-Fabrikation: vom 12. Juli bis 5. August 1792 (eingereicht von dem Ober-Bergmeister A. v. HUMBOLDT mittels Bericht vom 17. April 1793).*

Humboldts Wirken erstreckte sich auch auf das Studium von Bergwerksakten aus dem 16. Jahrhundert – beispielsweise aus dem Archiv der Festung Plassenburg b. Kulmbach; zudem besichtigte er verfallene Gruben und bewertete die Chancen für deren Wiedergewältigung. Schließlich fuhr er über München, Salzburg, Linz bis nach Wien und besichtigte dabei die Nymphenburger Porzellanfabrik sowie die Salinen Traunstein und Reichenhall, um sich über Probleme der Halurgie[15] zu informieren. Die Ergebnisse, ergänzt durch solche aus Reisen nach Tarnowitz, Olkusz, Wieliczka, Ojcow, Breslau, Waldenburg, Kupferberg und Buchwald, flossen späterhin in eine Studie über alle deutschen Salzquellen ein.

Eine außergewöhnliche Ehrung erfuhr der junge Gelehrte nach seiner Rückkehr von der Schlesienreise: Am 20. Juni 1793 wurde er mit dem Beinamen *Timaeus Locrensis* zum Mitglied der „Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinischen Akademie

15 Halurgie, auch Halotechnik = Salzwerkskunde, historische Bezeichnung für die Lehre von der Gewinnung und Herstellung des Kochsalzes.

der Naturforscher", also der „Leopoldina", ernannt.[16]

Mitte 1793 wechselte er nach Bayreuth und war auch hier – trotz vieler *„so fauler Offizianten"*, wie er kritisch anzumerken wusste – sehr erfolgreich; denn er setzte das Studium alter Akten fort, veranlasste Versuche (beispielsweise zur Amalgamation), stellte Berechnungen an und förderte Projekte, so dass er Anfang 1794 seinem Freund Freiesleben voller Zufriedenheit berichten konnte: *„Im allgemeinen geht es aber mit dem Bergbau … jetzt schnell vorwärts. In Goldkronach bin ich glücklicher, als ich je wagen durfte zu glauben."* Wochen später dann: *„Ich bin im Kopf wie zerrissen von allem, das ich besorgen soll, Bergbau, Bank, Manufaktur, Politik … doch es geht gut mit dem Bergbau …"* Und schließlich: *„Meine alten Pläne bleiben dieselben: ich nehme in zwei Jahren Abschied und gehe nach Rußland, Sibirien oder sonst wohin …"*[17]

Obwohl seine Vorgesetzten weitere anspruchsvolle Aufgaben für ihn vorsahen – u. a. die Stelle eines Oberbergmeisters in Schlesien –, entschloss sich Humboldt zu einem abrupten Ende seiner Tätigkeit und ersuchte mit Schreiben vom 26 März 1795 um seine Entlassung, wobei er nochmals auf seine erbrachten Leistungen Bezug nahm und sich zugleich für seine *„jugendliche Unerfahrenheit"* entschuldigte: *„Die Aufnahme der Fürstenzeche zu Goldkronach und die untersuchte erwiesene Bauwürdigkeit ihrer Erze bei einem vorsichtigen Betriebe, die Fortschritte auf der Spießglasgrube Schickung Gottes F[un]dgr[ube], der Friedrich Wilhelm Stollen, der Beschert Glücker Stollen bei Steben, die Wiederaufnahme des tiefen Mordlauer Gesamtstollens, die nun dem Freibau nahe Königszeche bei Kaulsdorf und das erstrittene Revier am Roten Berge, der Karl-Erbstollen zu Schirnding, der Georgstollen bei Arzberg, das jetzt in Ausbeute stehende, sonst so verschuldete Vitriolwerk bei Crailsheim, die Errichtung der Freien Bergschule zu Steben und andere neuere Unternehmungen werden für meinen guten Willen sprechen."*[18]

Die Errichtung der besagten Bergschule in Steben wie auch einer weiteren Schule in Arzberg zählen zu den letzten Aktivitäten Humboldts, wollte er doch *„das junge Bergvolk"* zu *„verständigen und brauchbaren Bergleuten"* heranbilden, die man gegebenenfalls auch zum Studium nach Freiberg schicken konnte. Die Ausbildung in den Fächern Mineralogie, bergmännisches Rechnen und Bergrecht, Geschichte sowie Maschinen- und Markscheidekunde, für die Humboldt spezielle Lehrmittel erarbeitet hatte, war sogar kostenfrei.

Da Humboldts Leistungen von Hardenberg zutiefst beeindruckten, wollte er auf alle Fälle die drohende Kündigung verhindern und schrieb deshalb an König Friedrich Wilhelm II.: *„Ich kann Ihnen alleruntertänigst versichern, daß dieser junge Mann die Erwartung, die ich mir von seinen Kenntnissen und von seiner Arbeitsamkeit machte, noch übertroffen hat. Er hat seit zwei Jahren den Bergbau des Landes ganz umgewandelt, die Bauwürdigkeit mehrerer vorhin angebrochenen, aber wieder vernachlässigten Werke erwiesen und solche wieder in Gang gebracht, einen neuen, sehr nützlichen Stollen zu treiben angefangen und besonders brauchbare Bergmänner vom Leder angezogen, wobei seine Unternehmungen schon bisher z. T. einen günstigen Erfolg gehabt haben und für die Zukunft noch mehr versprechen."*[19]

Die Anerkennung dieser Leistungen folgte auf dem Fuße: die Ernennung Humboldts zum *Vortragenden Wirklichen Ober-Bergrat* durch König Friedrich Wilhelm II.

Inzwischen hatte Humboldt noch einen *General-Recherchierungs-Bericht über das Nailaer Bergamts-Revier vom Jahre 1794/95* angefertigt, in dem er auf 161 Seiten über die von ihm vorgenommenen Arbeiten in diesem *„hoffnungsvollen Revier"* Rechenschaft ablegte und Vorschläge für weiterführende Arbeiten machte. Zudem nahm er eine General-Befahrung für das ganze Bayreuther Fürstentum in Angriff, um damit den Boden für einen möglichen Nachfolger zu bereiten. Dass er gleichzeitig plante, eine wissenschaftliche Arbeit über die geologische Struktur von Deutschland, Polen, den Niederlanden und Teilen von Frankreich und England in Angriff zu nehmen, verdient insofern Erwähnung, als er sich mit diesem Projekt erneut wissenschaftlich ausweisen wollte. Nützlich dafür sollte auch eine Studienreise nach Tirol, Triest, Venedig, Oberitalien und Genua sowie in den Jura und die Schweizer und Savoyer Alpen sein, die er noch im Sommer 1795 einschob.

Als Ausweis seiner wissenschaftlichen Arbeit sei schließlich noch auf das Problem des bei Gefrees entdeckten Magnetberges verwiesen – für ihn ein Anlass, sich eingehender mit den Ursachen des unerklärlichen Magnetismus zu befassen und zum wissenschaftlichen Disput aufzufordern. Er sandte deshalb ausgewählte Serpentinit-Proben vom Heidberg zur Untersuchung nach Berlin, Regensburg und Freiberg. Die auf späteren Reisen vorgenommenen Messungen (hauptsächlich der Deklination, aber auch der Inklination) mündeten schließlich in ein *Gesetz der veränderlichen Intensität der magnetischen Kräfte in verschiedenen Abständen vom magnetischen Aequator.*

Die Bewertung von Humboldts Arbeiten im Fränkischen bliebe unvollständig, erwähnte man nicht noch dessen Verdienste um die Porzellanherstellung, bestehend aus Besichtigungen und Gutachten für die Porzellanmanufakturen in Höchst und Frankenthal, Bruckberg, Nymphenburg sowie Tettau. Sie enthielten Einschätzungen der wirtschaftspolitischen Gegebenheiten wie auch Informationen zu Rohstoffen und deren Aufbereitung, zu Mischungsverhältnissen (das sog. *„Arkanum"*), zu Formgebung, Glühbrand und Glasur, zum Einschmelzen der Farben, zum Bau von Französischen und Wiener Öfen, schließlich zu technischen und ökonomischen Problemen.[20]

Humboldts Entschluss, den Staatsdienst aufzugeben, unabhängig zu sein und *„echte Wissenschaft"* betreiben zu können, kam der Tod seiner Mutter im November 1796 zu Hilfe, so dass er Ende Februar 1797 seine Ämter abrupt aufgab und endgültig von Bayreuth Abschied nahm. Denn die nach dem Tode erfolgte Vermögensauseinandersetzung brachte ihn in den Besitz eines Vermögens von 85.375 Talern, was ihm einen jährlichen Zinsertrag von 3.475 Talern und damit eine weitestgehend sorgenfreie Zukunft sicherte. Dies bedeutete zugleich den Abschluss eines äußerst fruchtbaren Lebensabschnitts, der dem jungen Wissenschaftler nicht nur außerordentliche öffentliche Anerkennung einbrachte, sondern ihn auch für sein künftiges Leben als Forscher und Wissenschaftler vorbereitete.

16 Seit 1878 hat die Leopoldina ihren Sitz in Halle/Saale; bis dahin bestimmte der Wohnort der jeweiligen Präsidenten den Sitz.

17 Wie Anm. 13, S. 50, 51.

18 Wie Anm. 13, S. 54, 55.

19 Wie Anm. 13, S. 55.

20 Dazu auch: Hülsenberg, D. & I. Schwarz (Hrsg.): Alexander von Humboldt. Gutachten und Briefe zur Porzellanherstellung 1792–1795. Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung (42). Akademie Verlag Berlin 2014.

Der Freiberger Professor und der Bergakademist im Lichte der Uniformierung des sächsischen Bergstaates

Knut Neumann

Abb. 1: Berg-Physicus und Professor nach der Vorschrift von 1768[2]

Abb. 2: Academiste zu Freyberg nach der Vorschrift von 1768[4]

Nach den im Jahr 1768 festgelegten Uniformbestimmungen waren an der Bergakademie Freiberg zum Tragen der vorgeschriebenen Kleidung nur der Professor, die *„wirklichen Extraner“* und die *„Beneficanten“* verpflichtet.

Der Professor war in der VI. Klasse der Uniformränge[1] verankert. Angestellt war er beim Oberbergamt Freiberg, und er musste deshalb die Revierfarben golden und scharlachrot als Zeichen für das Freiberger Revier an der Uniform tragen.

Diese Uniform bestand aus folgenden Teilen: Grüner Schachthut mit Borteneinfassung in Gold, mit einer schwarz/gelben fächerartigen Bandschleife und einer schwarzen, weiß unterbundenen Feder. Die hechtgraue Puffjacke war aus Tuch. Sie wurde nicht geschlossen, so dass die scharlachrote Tuchweste gut zu sehen war. Jacke und Weste waren je nach Zuordnung des Trägers laut Rangordnung mit unterschiedlich starken, goldenen Spitzen, Fransen und Tressen verziert. Dazu trug der Professor eine weiße Kniebundhose, Gamaschen und schwarze Schuhe. Am scharlachroten Tuchkoppel wurde vorn die schwarze Tzscherpertasche eingehängt, rechts an der Tasche steckten die zwei Tzscherper (Messer und Stichel) in einer schwarzen Lederscheide. Die Bewaffnung bestand aus dem Säbel mit golden und schwarz ausgelegtem Griff und goldenem Gefäß. Zur Parade trug der Beamte das Steigerhäckchen mit schwarzem Holm und goldenem Blatt und eine besonders große Froschlampe als Geleucht, deren Tragen aber nicht für jeden Anlass vorgeschrieben war.

Der Akademist dieser Zeit hatte mit seiner Uniform den Bezug zum Bergamt zu zeigen, durch das er zum Studium delegiert bzw. durch Freigedinge unterstützt wurde, und dieses bestimmte die Revierfarben an seiner Uniform. Für das Revier Freiberg waren damit an der Uniform die Knöpfe, Koppelschnalle, Spitzen, Fransen, Tressen und das Blatt des Steigerhäckchens golden, und scharlachrot waren die Weste, das Koppel und das Säbelgehänge. Wurde der Student beispielsweise von einer Grube aus dem Bergamt Eibenstock „delegiert“, so waren die Farben Silber und Gelb. Der Bergakademist war Mitglied der Rangklasse IX[3] des sächsischen Bergstaats. Seine Uniform bestand 1768 aus den gleichen Teilen wie die des Professors. Die Unterschiede waren kaum erkennbar. Sie bestanden in den Spitzen und Tressen an der Jacke und an der Weste, die für ihn in schmalerer Form als für die Uniform des Professors vorgeschrieben waren.

Ein halbes Jahr nach der Einführung der Uniformen erfolgte ein kleiner Aufzug, zu dem die neue Paradekleidung getragen werden musste. Zu dieser Abendmusik, die am 24. Januar 1769 in Freiberg stattfand, wurden die Uniformen dem zukünftigen Kurfürsten vorgestellt.[5]

Der erste öffentliche Auftritt der „Bedienten“ der Bergakademie und der Bergakademisten in ihrer Uniform war für den 12. Mai 1769 zum Nachtaufzug anlässlich der Erbhuldigung für Kurfürst Friedrich August III. (1750–1827) in Freiberg geplant. Zu dieser Parade sollten mit den 1601 Teilnehmern auch 10 Bergakademisten marschieren. Anführen sollten diese Bergstudentengruppe drei Beamte, „der *Physicus, der Professor und der Inspector*“.[6] Der Inspektor der Bergakademie war zu einer Paradebekleidung verpflichtet, deren Rang durch seine Stellung in der Bergbehörde bestimmt wurde. Weitere 1427 Berg- und Hüttenleute waren für ein Spalier vorgesehen. Wegen sehr schlechten Wetters wurde die Parade kurzfristig abgesagt. Viele der Teilnehmer reisten ab, und es nahmen deshalb nur noch knapp 1000 Mann an der am Nachmittag nun doch durchgeführten Parade teil.[7]

Schon 15 Jahre später, zum Begräbnis des Berghauptmannes Carl Eugen Pabst von Ohain (1718–1784), wird beklagt, dass nicht genug Hüttenoffizianten[8] in Paradeuniform erschienen seien. Den Plan des Oberbergamts, alle Beamten, Offizianten und Arbeiter mit einer vorgeschriebenen Paradeuniform einzukleiden, muss man danach als gescheitert betrachten. Im Ergebnis wurden wieder alle Betroffenen aufgefordert, sich nach der Vorschrift von 1768 zu kleiden.[9]

Obwohl die Forderung nach einer durchgängigen Uniformierung in Sachsens Montanwesen immer wieder auf Widerstände bei den Trägern stieß: Bei großen Festen wurden die Bestimmungen durch- und oft auch kurzfristig umgesetzt. Ein Zitat der Geschichts- und Heimatforscher Karl-Ewald Fritzsch und Friedrich Sieber bringt die Bedeutung der Uniformierung - nicht nur für Sachsen - sehr gut

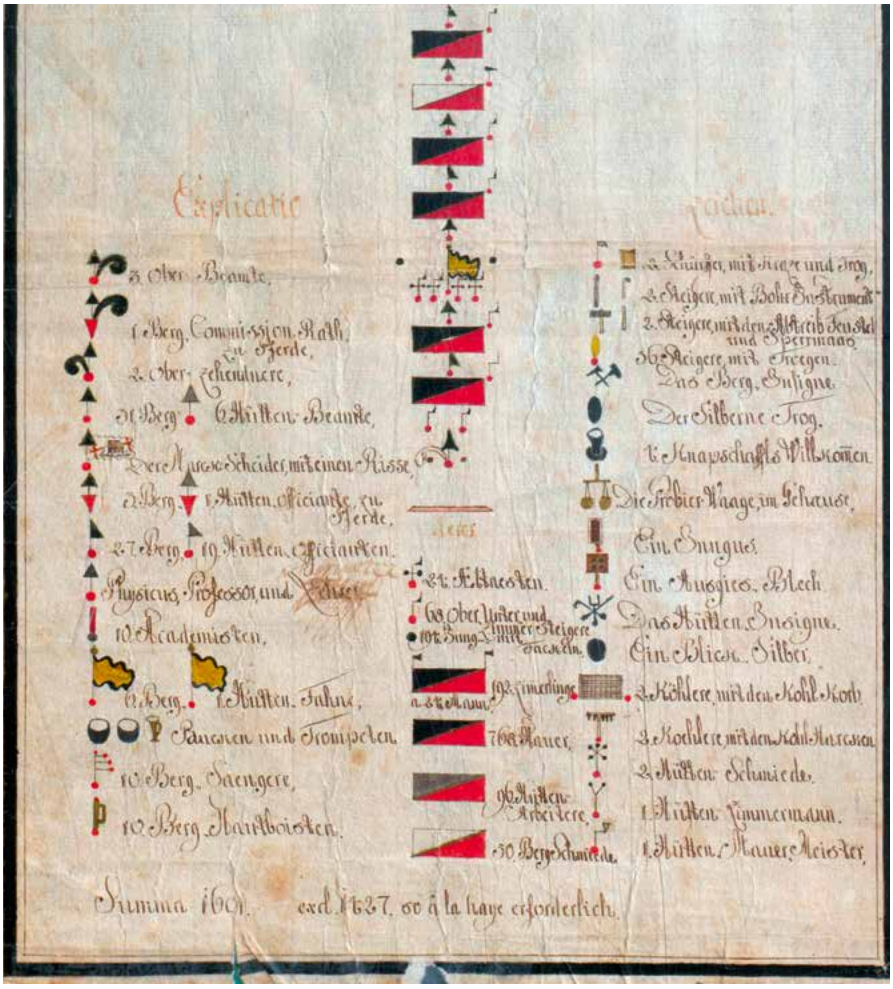


Abb. 3: Ausschnitt aus dem Plan zur Parade vom 12. Mai 1769 in Freiberg[10]

zum Ausdruck. Sie schreiben in ihrem Buch *„Bergmännische Trachten des 18. Jahrhunderts im Erzgebirge und im Mansfeldischen“* treffend: *„Die Heynitzschen Parade-Berg-Habiter, die der kursächsische Bergmann während der letzten Hochblüte des Erzbergbaus und als Professor und Akademist während der Glanzzeit der Freiberger Bergakademie trug, wurden in allen Bergbauländern der Erde bekannt. In weltweiter Strahlung dienten sie vielen Neuschöpfungen als Muster.“*[11]

In den Bildern zum Freiberger Fuß[12] und in den Beschreibungen des Freiberger Oberbergamtes vom 17. Juni 1768 unterscheidet sich die Uniform des Bergstudenten bis auf die oben aufgeführten kleinen Abweichungen kaum von der Uniform des Professors.[13] Damit war natürlich auch das Unterstellungsverhältnis, die Subordination zwischen Professoren und Studenten, nur schwer an der Uniform ablesbar. Ob dies der Grund war, dass dem Akademisten später eine völlig andere, einfachere Uniform vorgeschrieben wurde, oder ob es doch Finanzierungsprobleme waren, konnte der Autor nicht ermitteln. Im „Bergmännischen Kalender 1791“[14], den der Lehrer für Bergrecht an der Bergakademie Freiberg, Alexander Wilhelm Köhler, herausgab, sind sowohl eine textliche Beschreibung als auch ein kolorierter Kupferstich der nun offiziellen Akademistenuniform enthalten. Köhler deutete dabei Finanzprobleme an, die zur Abänderung der Uniform geführt haben sollen. Eine Aussage, wann dies erfolgte, gibt er aber nicht. Köhler beschrieb die Dienstuniform des Bergakademisten um 1791[15] wie folgt: Der Hut ist ein sogenannter schwarzer Dreispitz, und die einzige Verzierung ist die gelb-schwarze Bandschleife (Farben der Mark Meißen) am linken, oberen Rand des Hutes. Die schwarze Schachtjacke wurde vorn mit einer Reihe Knöpfe vollständig geschlossen. Alle Knöpfe der Jacke waren golden oder silbern (z. B. golden für das Bergamt Freiberg, silbern für Eibenstock). Die Patten, links und rechts auf der Brust waren aus schwarzem Samt und jeweils mit je sechs Knöpfen besetzt. Auf der Jacke lag ein Schulterkragen[16] in der Revierfarbe (z. B. rot für das Bergamt Freiberg oder paillegelb (strohgelb) für das Bergamt Eibenstock), der am Hals in einen schwarzen Stehkragen überging.

Abb. 4: Bergakademist in der Uniform aus der Zeit um 1791[18]

Die Ärmelaufschläge hatten die gleiche Farbe und den gleichen Bezug zum Bergamt wie der Schulterkragen. Aufschläge und Kragen waren mit Spitze abgesetzt, deren Farbe durch das Bergamt bestimmt wurde (z. B. golden für das Bergamt Freiberg, silbern für Eibenstock). An den Ärmelenden befanden sich jeweils sechs Knöpfe, zwei davon auf den Aufschlägen. Den schwarzen Stehkragen schützte eine weiße Kragenbinde bzw. ein Tuch. Das schwarze Arschleder reichte bis zu den Kniekehlen. Der Akademist trug weiße Kniebundhosen aus Leinen und weiße Strickstrümpfe. Im Winter wurden statt der schwarzen Schnallenschuhe schwarze Stiefel getragen. Als Paradegezähe nutzte der Akademist das Steigerhäckchen mit schwarzem Holm und das Blatt in Gold oder Silber, je nach Vorgabe durch die Uniformvorschrift. Bei Aufzügen in dieser Zeit wurde das angezündete große Grubenlicht, die Froschlampe, getragen.

In Samuel Graenichers Buch „Costumes in Sachsen“[17] trägt der Akademist (dort fälschlicherweise als Bergmann bezeichnet) Strickstümpfe und Schuhe. Ob der Bergakademist zu dieser Zeit wie der Bergmann Kniebügel trug, konnte bisher nicht festgestellt werden.

Auch für den Professor der Bergakademie erfolgte in der Zeit von 1768 bis 1791 eine Veränderung der Uniformierung. Köhler schreibt, dass er jetzt eine *„gewöhnliche schwarze Uniform, ohngefehr so wie der Bergmeister“* trägt.[20] Leider wird dazu keine weitere Ausführung gemacht.

Abb. 5: Akademist nach Samuel Graenicher[19]

Abb. 6: Bergmeister nach der Vorschrift von 1768, Kupferstich von Albert Matton, Meißen[21]

Die nun geltenden Vorschriften für die Paradeuniformen waren mit den von Köhler aufgeführten Veränderungen bis um 1830 gültig.

Es waren nicht nur die Studenten, denen die Kleidungskosten zu hoch waren. Auch die Beamten beschwerten sich darüber, dass Uniformteile durch den Dienstgebrauch schnell verschlissen. Also beschließt 1792 das Oberbergamt, für den Dienst eine zusätzliche Uniform einzuführen. Ein Jahr später wird die als Interimsuniform bezeichnete Kleidung für alle Beamten und Offizianten der Klassen 1 bis 7 verbindlich.

Abb. 7: Entwurf zur Interimsuniform aus dem Jahr 1793[22]

Diese Uniform wird nun im täglichen Dienst getragen, und der Professor wird in die Interimsklasse II eingeordnet. Die Kleidung, die er nach dem Reglement vom 27. Februar 1793 tragen musste, bestand aus einem schwarzen Dreispitz, einem dunkel-schieferfarbenen Rock, einer scharlachroten Weste mit Jabot, weißen, engen Kniebundhosen und schwarzen Stiefeln. Am scharlachroten Tuchkoppel wurde ein leichter Säbel getragen. Zeitgemäß trug der Professor eine weiße Perücke. Nachweislich hat diese Uniform auch Abraham Gottlob Werner mit den für die Interimsrangklasse II festgelegten Achselstücken und Bouillonfransen während des Dienstes getragen. Da diese Uniform durch die tägliche Nutzung erheblichem Verschleiß ausgesetzt war, hat sich leider keine dieser Uniformen erhalten. Deshalb ließ die Historische Freiberger Berg- und Hüttenknappschaft im Humboldtjahr 2019 eine Interimsuniform der Klasse II für den Darsteller des Werners der „Humboldtparade“ herstellen.

Abb. 8: Abraham Gottlob Werner in Interimsuniform[23]

Foto: Archiv HFBHK (Kalender 2020 des Vereins)

Abb. 9: Uwe Nitschke in der Interimsuniform der Rangklasse II[24]

Die von Köhler 1791/92 herausgegebenen Kalender enthalten einige der wenigen Darstellungen zur Uniformierung des sächsischen Bergstaates aus dieser Zeit. So ist verständlich, dass gerade der Student der Bergakademie, Dichter und spätere Freiheitskämpfer Carl Theodor Körner in Darstellungen seines Lebens und Wirkens in den entsprechenden Veröffentlichungen mit einem Bild, das ihn im Bergkittel zeigt, vertreten ist.[25] Auf einen Widerspruch zwischen den Lebensdaten und dem Erstellungsdatum des Bildes wird dabei allerdings nicht verwiesen.

Am 7. Juni 1808 begann der „Inländer“ Karl Theodor Körner (* 23. September 1791 in Dresden; † 26. August 1813 in Rosenberg gefallen) auf eigene Kosten sein Studium an der Freiberger Bergakademie[26] (Matrikelnummer 697). Das

Bild, auf dem Körner in einem Freiberger Bergkittel gezeigt wird, inszeniert ihn als Träger dieser bergmännischen Kleidung. Geschaffen hat diese Kreidezeichnung der Kunstmaler und Zeichenlehrer Friedrich Wilhelm Heinrich Martersteig (ab 1874 nannte dieser sich Mardersteig, * 11. März 1814 in Weimar; † 6. September 1899 ebenda). Noch bekannter und in mehreren Abzügen erhalten ist ein Foto, welches der Freiberger Fotograf Arno Heinicke 1913, wahrscheinlich zum 100. Todestag des Freiheitskämpfers, von dieser Kreidezeichnung anfertigte.[27]

Das Kreidebild muss nach dem Tod von Körner entstanden sein, wahrscheinlich zu seinem 50. Todestag: 1813 ist Körner gefallen, ein Jahr später erst ist der Maler geboren. Darüber hinaus war Körner als *admittierter*[28] Extraner vom Tragen der Akademistenuniform entbunden. Es gibt auch keinen Hinweis, ob er überhaupt einen Kittel besessen hat. Damit hat das Bild keinen Wert für eine trachtenhistorische Beurteilung. Martersteig malt Körner in dem um die Mitte des 19. Jahrhunderts getragenen Bergkittel. Bei Schiffner[29] findet man einen weiteren Hinweis auf den Kittel tragenden Körner, wenn er schreibt: *„Viel lieber trug er hier und auch später den schwarzen Bergkittel, mit dem angetan er sich auch Anfang 1813 in Breslau zur Stammrolle des Lützowschen Freikorps meldete.“* Es muss bezweifelt werden, dass Körner, der sich zwar lobend im Juni 1810 aus Freiberg verabschiedete[30], drei Jahre später einen Bergkittel bei der Bewerbung zum Freikorpsmitglied trug, zumal auch die Naturwissenschaften der Poesie nach seinem Weggang von Freiberg immer mehr Platz machten. Eine Quellenangabe zu dieser Aussage ist bei Schiffner nicht vorhanden. Er hat sich aber wahrscheinlich von der Fantasie der Autoren Peschel/Wildenow[31] inspirieren lassen, die schreiben: *„Ja, so begeistert war er von ‚der Berge uraltem Zauberwort‘ wie überhaupt von der bergmännischen Tracht, daß er auch späthin noch gern in ihr wandelte und sich des Grußes ‚Glück auf!‘ bediente, ja daß er sogar, als er in Breslau sich in die Stammrolle der Lützower eintragen ließ, mit dem Bergkittel bekleidet war.“* Die Vermutung des Autors wird auch noch dadurch untersetzt, dass in seinen Briefen aus dieser Zeit, wie dankenswerterweise Frau Ramona Ramsenthaler, Leiterin der Mahn- und Gedenkstätte Wöbbelin, mitteilte, kein Hinweis auf das Tragen eines Bergkittels vorhanden ist. Wenn Körner also einen Bergkittel mit Stolz getragen

Abb. 10: Theodor Körner im Freiberger Bergkittel[32,33]

hätte und er für ihn die geschilderte Bedeutung hatte, sollte er doch auch dies in seinen Briefen geschildert haben.

Im bekannten Trachtenwerk von G. E. Rost, welches 1831 in Freiberg erschien, werden die Studenten der Bergakademie Freiberg wie folgt unterschieden[34]: *„Die auf der königlichen Bergakademie studirenden Jünglinge zerfallen in 4 verschiedene Classen: 1) in Ausländer[35], welche auf eigene Kosten die Vorlesung hören, 2) in admittirte Extraner, d. s. solche, die zwar zu einigen Vorlesungen unentgeltlich zugelassen sind, aber weder ein Receptionsexamen bestanden haben, noch auf eine königliche Anstellung Anspruch machen können, als: Handwerker, Mechaniker, Apotheker, Fabrikanten etc., 3) in Extraner im engern Sinn: diese haben zwar bei ihrer Aufnahme durch ein Examen ihre Fähigkeit zur Aufnahme bewiesen, hören auch, gleich den Beneficianten, alle Vorlesungen umsonst, werden aber bei der Vertheilung königlicher Anstellungen ebenfalls nicht berücksichtigt. Endlich 4) in Beneficanten, d. s. solche, die in Folge eines Receptionsexamen aufgenommen worden sind, sämtliche Vorlesungen unentgeltlich frequentieren, und nach ihrer Studirzeit mit Anstellung im Bergwerksdienst[36], fall sie sich dazu fähig erwiesen, beliehen werden. Für die letzten beiden Classen ist die gesetzlich bestimmte Studirzeit auf der Bergakademie vier Jahre, bei den ersteren aber beliebig.“*

Der Akademist ist in dem Trachtenwerk in seiner Paradeuniform abgebildet, und er ist der Einzige, der ab dieser Zeit lange weiße Hosen, sogenannte Pantalons, zur Parade tragen durfte. Darunter trug er noch weiße Gamaschen. Die zur Parade

Abb. 11: Freiberger Bergakademist um 1830[37]

vorgeschriebene Kopfbedeckung, der schwarze Schachthut mit der schwarzgelben Feder, zeigt den Studenten auf dem „Weg zum Beamten“.

Der Professor, der um 1830 zur Klasse VI. gehörte, musste nun in der Parade die gleiche Uniform wie beispielsweise der Bergmeister tragen. Er gehörte mit dieser Uniform nun eindeutig zu den Beamten des Bergbausektors.

Auch die Interimsuniform wird im Trachtenwerk abgebildet. Ihr Aufbau orientiert sich an der zu dieser Zeit gängigen Mode. Der Rock hatte nun den Schnitt eines Gehrocks und dazu mussten lange schwarze Hosen getragen werden. Der Beamte konnte sich mit dieser Kleidung erstmals im Dienst ordentlich bewegen und durch den Wegfall von Arschleder, Kniebügel und Tzscherpertasche war er in den Bewegungen und beim Sitzen nicht mehr eingeschränkt.

Anmerkungen

1 In der vorhandenen Literatur ist keine Beschreibung zu finden; die Beschreibung hier erfolgte nach dem Bild.

2 TU Bergakademie Freiberg, Wissenschaftlicher Altbestand: „Uniformen, Wie solche vermöge gnädigsten Befehls, alle hohe und niedere Chur Fürstliche, Ober-Berg- Ober-Hütten und Berg-Officianten, sowohl Fabriquen und Bergwercks-Bediente, Hütten- und Berg-Arbeiter zutragen haben; nach dem Freyberger Fuß“, 1768.

Abb. 12: Johanngeorgenstädter Bergmeister um 1830[38]

Abb. 13: Freiberger Obereinfahrer in der Interimsuniform um 1830[39]

3 In der Literatur ist keine Beschreibung des Akademisten von 1768 enthalten, deshalb erfolgt sie nach dem hier gezeigten Bild und späteren Darstellungen.
4 Wie Anm. 2.
5 BergAFG (Sächsisches Staatsarchiv, Bergarchiv Freiberg): Bergamt Freiberg, 40010, 702, „Anschaffung und Tragung der Paradebergkleidung bei öffentlichen feierlichen Vorfällen und Aufrechnungstagen sowie das Exerzieren der Bergleute“, S. 26.
6 BergAFG: Generalrisse, 40044-1, I 20985, „Paradeplan für die Abendparade am 12. Mai 1769“
7 Wie Anm. 5, S. 33.
8 Offiziant = niederer Beamter.
9 BergAFG: Oberhüttenamt Freiberg, 40035, 1008, „Das höchst gnädigst approbirte Regulativ der Paradebergbekleidung für die Hüttenbediensteten“, 1768, S. 29.
10 Wie Anm. 6.
11 Karl-Ewald Fritzsch und Friedrich Sieber: Bergmännische Trachten des 18. Jahrhunderts im Erzgebirge und im Mansfeldischen, Akademie-Verlag, Berlin 1957, S. 44.
12 Wie Anm. 2.
13 Ebd., Nr. 10 und 11.
14 Köhler, Alexander Wilhelm: „Bergmännischer Kalender für das Jahr 1791“, Freiberg und Annaberg in der Crazischen Buchhandlung, S. 56.
15 Ebd., S. 56f.
16 In der Literatur wurde der Schalkragen auch als Capuchon bezeichnet.
17 Samuel Graenicher: „Costumes in Sachsen“, Dresden um 1805, Postkarte, Verlag der Frau, 1983.
18 Wie Anm. 14.
19 Wie Anm. 17. Figurine als Bergmann bezeichnet, ist aber ein Bergstudent.
20 Wie Anm. 15.
21 Pfeiffer, Max Adolf: „9 feine alte Bergmannslieder neu gedruckt 1925“, Fünfter Druck der Dudelsackpresse“, Nr. 44 von 99 Abzügen – Eigentum Knut Neumann, Meißen, Handsigniert, S. 10.
22 BergAFG: Oberhüttenamt, 40035, 1008, „Regulativ für die Paradebergkleidung der Hüttenbediensteten“, 1793, S. 50.
23 TU Bergakademie Freiberg, Archiv: Kupferstich „Porträt von Abraham Gottlob Werner in der Interimsuniform“, gezeichnet von O. Ufer, Lith. und gedruckt von L. Zöllner.
24 Interimsuniform der Rangklasse II nach dem „Reglement für das Tragen der den gesamten Churfürstl. Ober-Berg-Amte zu Freyberg untergeordneten Bergwerks- und Hütten Officianti, vermöge höchster Befehle vom 12. Decbr. 1972 und 27. Febr. 1793 gnädigst concedirten Interims-Uniform“ von 1793; Rekonstruktion Knut Neumann, Freiberg; Herstellung: Schneidermeister Markus Seiler, Marienberg
25 Vgl. Abbildung in „Wissenschaft vor Ort, Bilder zu Geschichte und Gegenwart der TU Bergakademie Freiberg“, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg 2007, S. 68.
26 Zänger, Horst: „Theodor Körner, Ein Jugendbildnis des Studenten, Dichters und Patrioten“, im Selbstverlag, Schwerin, 2000, S. 13.
27 Auf der Vorderseite des Bildes ist vermerkt: Heinicke 1913, Arno Heinicke war ein Freiberger Fotograf (* 25.01.1871 in Freiberg; † 14.12.1945 ebd.), Hinweis von Roland Volkmar, Mitarbeiter im Archiv der TU Bergakademie Freiberg.
28 admittieren = zulassen.
29 Schiffner, Carl: „Aus dem Leben alter Freiberger Bergstudenten“, Verlagsanstalt Ernst Maukisch, Freiberg, 1935, S. 77.
30 Zänger, Horst: „Theodor Körner, Ein Jugendbildnis des Studenten, Dichters und Patrioten“, im Selbstverlag, Schwerin, 2000, S. 17.
31 Peschel, Emil/Wildenow, Eugen: „Theodor Körner und die Seinen“, Band 1, S. 154.
32 TU Bergakademie Freiberg, Archiv: Heinicke, Arno, Foto der von Friedrich Matersteig geschaffenen Kreidezeichnung „Der Bergstudent Theodor Körner“, Freiberg, 1913; mit folgendem Text auf der Rückseite: „Theodor Koerner als Bergstudent (nach einer im Koernermuseum befindlichen Skizze von Martersteig (Weimar)“. Das Körnermuseum befand sich zu dieser Zeit in Dresden. Das Bild selbst ist heute in Dresden im Kügelgenhaus nicht mehr vorhanden, teilte die Leiterin des Kügelgenhauses – Museum der Dresdner Romantik, Michaela Hausding, mit. Wahrscheinlich ist es einer der vielen Kriegseinwirkungen zum Opfer gefallen. Dr. Erhard Jöst gab den Hinweis, dass sich bei Peschel/Wildenow, Band 2, S. 192 der Hinweis findet, dass das Bild in Dresden war.
33 Dank an Ramona Ramsenthaler, Leiterin der Mahn- und Gedenkstätten Wöbbelin, und Roland Volkmer, Mitarbeiter im Archiv der TU Bergakademie Freiberg, für ihre weiterführenden Hinweise zum „Körnerbild“.
34 G. E. Rost: „Trachten der Berg- und Hüttenleute im Koenigreiche Sachsen, Nach dem neuesten Reglement mit landschaftlichen Umgebungen aus den verschiedenen Bergamtsrevieren nach der Natur gezeichnet und in Kupfer gestochen und treu colorirt.“ 1832, Freiberg.
35 Zu den Ausländern zählten zur damaligen Zeit Studenten, die keine Sachsen waren.
36 Zum hier genannten Bergwerksdienst gehörte auch der in den Schmelzhütten und anderen Hüttenwerken.
37 Wie Anm. 34.
38 Ebd.
39 Ebd.

Markgraf Otto von Meißen, sein Silber und seine Münzstätte Freiberg

Thomas Arnold, Hans Friebe

Überquert man den Freiberger Obermarkt mit dem prägnanten Denkmal auf den Stadtgründer Markgraf Otto den Reichen und lässt dabei das pulsierende, prosperierende Stadtleben auf sich wirken, so gewinnt man den Eindruck, das Ganze ergebe sich aus einem festgefügten und gut bekannten historischen Ablauf vom Ende der 1160er Jahren an bis heute. Stellt man jedoch die Frage nach Einzelheiten dieses Ablaufs, insbesondere in den ersten Jahrzehnten, so wird schnell deutlich, dass unser Wissen nur sehr bruchstückhaft und vieles noch völlig offen, noch unerforscht ist. Dabei spielen das in Freiberg gefundene Silber und die darauf aufbauende, fast von Anfang an betriebene Geldproduktion eine zentrale Rolle, über die die Meinungen oftmals weit auseinander gehen und gesichertes Wissen rar ist. Zwar verfügen wir seit 2007 bzw. 2010 über eine umfassende zweibändige Darstellung der Münzgeschichte Freibergs, aber auch hier mussten viele Fragen zwangsläufig noch offen bleiben und harren vorerst weiter einer wissenschaftlichen Klärung.

Abb. 1: Markgraf Otto, Reitersiegel von 1185 und Typar, Umschrift OTTO•DI•GRA•MARCHIO•MISINENSIS

Markgraf Otto, später „der Reiche“ genannt (1156–1190), wurde als Sohn Konrads „des Großen“ 1156 mit dem Amt des Markgrafen von Meißen ausgestattet. Die Markgrafschaft Meißen war zu diesem Zeitpunkt noch ein weitgehend unerschlossenes Gebiet an der Ostgrenze des Heiligen Römischen Reichs. Städte gab es fast keine, sieht man von Meißen selbst ab; die Bevölkerungsdichte war gering, das Straßen- und Wegenetz noch sehr grobmaschig.

Otto verstand sich als Initiator einer neuen Dynastie und gründete das Kloster Marienzelle, in der Nähe Nossens, heute Altzella, zur Urbarmachung des Landes und als künftige Grablege seiner Familie. Dessen großzügige Ausstattung mit Land musste vom Kaiser gebilligt werden – und ausgerechnet in diesem Landbesitz wurde auf der Christiansdorfer Flur das erste Silber gefunden, das bekanntlich zum Berggeschrei führte, zur Entstehung der Sächsstadt – wegen der niedersächsischen Herkunft der ersten Siedler – und schließlich zur Entstehung der großen bevölkerungsreichen und wehrhaften Stadt Freiberg.

Auf dem genannten Gebiet wurde 1168 silberhaltiges Bleierz gefunden. Um das Geschehen spannten sich schnell Legenden und Mythen, die auch Agricola beschrieb, und die damit ins Volksgedächtnis als Wahrheit eingingen. Auch heute noch wird das gern mythenhaft beschrieben; jeder Stadtführer führt seine Gäste an den Schüppchenberg und erzählt die romantische Geschichte von den Salzfuhrleuten auf dem Weg nach Böhmen, dem Radbruch und dem Auffinden eines glänzenden Silbererzklumpens usw. Sicher war es nicht so. Mit der Entdeckung des Dippoldiswalder Bergwerks aus etwa gleicher Zeit[1], kann man wohl eher von einer gezielten Suche nach Bodenschätzen ausgehen.

Um in den Besitz dieser Silbergruben zu gelangen, musste, wiederum mit kaiserlicher Billigung, ein Gebietstausch vorgenommen werden, bei dem Otto das Kloster mit anderen Ländereien entschädigte und die Flächen mit den Silberfunden wieder unter seine Verfügung brachte. Der Gebietstausch wurde erst 1185 kodifiziert.

In atemberaubender Schnelligkeit entstanden jetzt eine Bergleute-Stadt, eine Händler-und Handwerkerstadt mit der Nikolaikirche, ein Herrenhof, das Dominikale, die Marienkirche als Vorläufer des Freiberger Doms, das Domviertel mit seinen unregelmäßigen Straßenzügen und die markgräfliche Burg, das heutige Schloss Freudenstein.

Die in bisherigen Darstellungen zu findende Deutung, dass das Obermarktviertel aufgrund seiner regelmäßigen rechtwinkligen Straßenverläufe und Häuserviertel erst im 13. Jahrhundert entstanden sei, ist widerlegt, denn neue dendrochronologische Befunde zeigen eine Bauzeit ab den 1180er Jahren an. Entsprechend schnell ging die übrige wirtschaftliche Entwicklung des Umlandes voran, das Wegenetz wurde dichter, neue Transportwege wurden erschlossen, es entstanden zahlreiche Dörfer und mit ihnen nahm die Bevölkerungszahl zu. Von der damals initiierten Infrastruktur profitiert Sachsen noch heute.

Diese rasante Entwicklung war ohne Geld nicht möglich und für die Schaffung von Geld war im Unterschied zu vielen Nachbarregionen das Silber durch den eigenen Bergbau unmittelbar verfügbar. Dass archivalische Quellen dafür fehlen ist bedauerlich, aber für diese Zeit nicht ungewöhnlich.

Die nächstgelegenen Münzstätten, die das hier gewonnene Silber hätten verarbeiten können, waren in Meißen und – erst etwas später dann – in Leipzig. Bei den damaligen Verkehrs- und Sicherheitsverhältnissen wäre es mehr als ein organisatorisches Problem gewesen den Transport des Silbers dorthin zum Verprägen des Silbers und dann des Geldes zurück praktikabel zu realisieren. Es gab zudem

1 Smolnik, Regina (Hg.): Silberrausch und Berggeschrey. Dresden 2014.

Abb. 2: Markgraf Otto auf Pfennigen (Brakteaten), stehend, gepanzert mit Helm, mit den Lehensattributen Schwert und Fahne bzw. Lanze. Details von Brakteaten, die ihn als Münzbild, jedoch nur schematisch, zeigen. Es sind neben den Siegeln die einzigen zeitgenössischen Darstellungen Ottos.

Abb. 3: Markgraf Otto, Pfennige (Brakteaten), Münzstätte Freiberg, Durchmesser 23–24 mm

Abb. 3: Markgraf Otto, Pfennige (Brakteaten), Münzstätte Leipzig, mit Umschriften, die ihn als Markgraf von Leipzig bezeichnen, Durchmesser 31–38 mm

wahrscheinlich kleine und relativ unbedeutende Orte, die über temporäre Münzstätten verfügten – nur, weil sie an Furten, Wegkreuzungen und anderen günstigen Stellen lagen oder einen Markt an einer Burg hatten. Eine königliche Münzstätte befand sich im 12. und 13. Jahrhundert in Altenburg. Die Bischöfe von Meißen, Merseburg und Naumburg sowie der Abt von Pegau betrieben ebenfalls Münzstätten. Sie alle waren aber sämtlich für Freiberg und dessen Silber nicht relevant. Es war also zwingend notwendig, unmittelbar mit dem Beginn des Bergbaus auf Silber in der hiesigen Region das ausgebrachte Silber auch hier zu vermünzen.

Ab um 1170 bis 1175 erfolgte die Errichtung einer Burg (Dominikale, [Herrenhaus, Herrengut]) auf einem Bergsporn mit Blick auf das Bergbaugebiet zum Schutz des „Reviers“ und der Münzstätte, in der Brakteaten geprägt wurden. Die jüngst durchgeführten Grabungen auf dem Gelände des Schlosses Freudenstein bestätigen das ausgehende 12. Jahrhundert als Periode für den Burgbau mitsamt eines mächtigen Rundturms. Die Schlussfolgerung lautet, dass 1170 bis 1172 die richtige Datierung für den Beginn der Münzprägung in Freiberg ist und dass diese unter Markgraf Otto und seinen Nachkommen fortgeführt wurde.

Die Münzen aus dieser Zeit existieren in reicher Zahl und großer Vielfalt und sind, da andere Quellen fehlen, umso gewichtigere Quellen für Informationen über die damaligen Geschehnisse, für die Erfolgsgeschichte dieser Zeit.

Wenn eine Region in der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts – aus naturalwirtschaftlichen Verhältnissen kommend – rasch einen wirtschaftlichen Aufschwung erlebte, so waren die neu entstehenden, regional hergestellten Münzen fast immer Brakteaten. Das ist eine aus heutiger Sicht schwer zu verstehende Form des Münzgeldes: Die Metallrohlinge waren zwischen 2 und 4 cm im Durchmesser groß, hatten eine Dicke von unter 1 mm und waren damit derart dünne Metallplättchen, dass eine zweiseitige Prägung – Vorder- und Rückseite mit je einem Stempel – gar nicht möglich war. Die Stempel hätten sich durch das dünne Metall hindurch gegenseitig zerstört. Die Prägung geschah folglich mit einem einzigen Stempel auf weicher Unterlage, so dass die auf der Oberseite erhabenen Prägepartien auf der Rückseite als Eintiefungen erscheinen; man spricht von einer

hohlen Prägung. Die größere Fläche der Münzen bot hingegen Platz für sehr verschiedenartige fantasievolle Prägebilder. Brakteaten waren das typische Geld von Regionen, die sich rasch wirtschaftlich entwickelten und in denen es vorher kein eigenes Münzgeld gegeben hatte. Sie kamen außer in der Mark Meißen im gesamten mittel- und norddeutschen Raum vor. Eine solche Münzprägung war derart unkompliziert und schnell realisierbar, dass das Verprägen des auf der Christiansdorfer Flur gefundenen Silbers an einem anderen Ort mit einer vorhandener Münzstätte nicht in Betracht zu ziehen ist. Der Ort dafür konnte nur Freiberg sein, wie schon begründet worden ist.

Die Brakteaten aus dem letzten Drittel des 12. Jahrhunderts der Mark Meißen zeigen einige bemerkenswerte Charakteristika, die jedoch nur für den östlichen Teil der Markgrafschaft typisch sind:

- Der Münzdurchmesser ist etwas kleiner im Vergleich zu den Brakteaten der Nachbarregionen,
- die Darstellungen der Prägebilder sind zwar technisch perfekt, aber weniger kunstvoll,
- das Gewicht derartiger Münzen liegt zwischen 0,4 und 0,6 g und ist damit erheblich geringer als bei Stücken aus benachbarten Wirtschaftsregionen.

Dies gilt, wie bereits erwähnt, nur für den östlichen Landesteil. Bereits im westlichen Grenzbereich mit Münzstätten wie Pegau, Groitzsch, dem zum Reich gehörenden Altenburg und insbesondere dem markgräflichen Leipzig galten andere Gegebenheiten. Hier waren die Münzen größer, schwerer und mit mehr handwerklicher sowie künstlerischer Sorgfalt gefertigt.

Die Brakteaten der östlichen Markgrafschaft sind sämtlich schriftlos, so dass sichere Zuordnungen zu bestimmten Münzstätten und Münzherren, auch an Freiberg, eigentlich nicht möglich sind. Dennoch belegen sie eine reiche, intensive Münzprägung in der verbleibenden Lebenszeit Markgraf Ottos und sind zugleich ein Indiz für den energisch vorangetriebenen Landesausbau.

Die Markgrafschaft Meißen war kein Flächenstaat im heutigen Sinne; viele Grenzziehungen ergaben sich erst in späterer Zeit. Im Landesausbau konkurrierte Otto mit dem Kaiser Friedrich I. Barbarossa, der mit dem Pleißenland ein größeres Gebiet wirtschaftlich erschloss und damit eine Expansion benachbarter Herrschaften zeitweise verhinderte. Innerhalb der Markgrafschaft existierten noch verschiedene andere Herrschaftsträger und geistliche Besitzungen, von denen nicht bekannt ist, ob sie ebenfalls Münzen prägten. Der Markgraf stellte sich auf seinen Münzen in typischer Weise dar: als gerüsteter Herrscher mit Helm, oftmals ausgestattet mit Schwert, Schild und einer Fahnenlanze sowie mit einem langen Kettenhemd.

Dass Freiberg einen erheblichen Münzausstoß auf der Basis des eigenen Silbers für sich beanspruchen kann, ist unstrittig. Eine Beweisführung, welche Gepräge hier entstanden sind, ist schwierig und muss sich an den Häufigkeiten von Typen, Varianten sowie den Münzfundorten orientieren.

Die Vielfalt an grundsätzlich verschiedenen Münztypen spricht aber auch für zumindest zeitweise und versuchsweise Prägeaktivitäten in Orten mit beginnenden städtischen Merkmalen. Sie sind Beleg für den engagiert betriebenen Landesausbau durch Markgraf Otto den Reichen.

Die Numismatiker Thomas Arnold, Hans Friebe und Thomas Uhlmann sowie der Historiker Michael Lindner arbeiten an einer differenzierteren Darstellung der Münzprägung in der Mark Meißen in Abweichung von bisherigen Publikationen, die in einen Katalog der Münzen ab 1156 bis um 1200 mit umfangreichen Literatur-und Bildverzeichnis sowie mit Karten, Urkunden und Münzstättenbeschreibungen münden wird. Die Tatsache, dass die zahlreichen verschiedenen Münzen schriftlos sind, aber – durch Funde belegt – in unserer Region entstanden sein müssen, erschwert die Forschung erheblich. Sichere Zuordnungen einzelner Münzen zu ihren Münzstätten lässt dieser Umstand nicht zu. Dennoch ist ein verbesserter Erkenntnisstand durch kritischen Abgleich der bisher bekannten Fakten und durch die wichtige Beachtung der Münzfüße, der Durchmesser und der Münzbilder erreichbar.

Chronik 2021

1171 – 850 Jahre

- 1171/75 Markgraf Otto lässt in der Nähe des Silberbergbaus eine Burg bauen (heute Schloss Freudenstein); das Burglehn zwischen Burg und Untermarkt wird angelegt.

1546 – 475 Jahre

- Neuorganisierung der Freiberger Bergknappschaft nach der Reformation. Die Knappschaft vereint die Bergleute des Freiberger Reviers, fördert das Zusammengehörigkeitsgefühl und ist ein Instrument zur Durchsetzung gemeinsamer Interessen.

1746 – 275 Jahre

- Carl Friedrich Zimmermann (1713–1747), Herausgeber von Henckels nachgelassenen Schriften, veröffentlicht seine Denkschrift „Ober-Sächsische Berg-Academie“ (Dresden/Leipzig 1746), in der er genaue Vorschläge über die Art der zu unterrichtenden Fächer und die Zahl der Dozenten macht („Von der Beschaffenheit, Einrichtung und Nutzen einer Akademie der Bergwerkswissenschaften“).
- (5. August) Johann Gottfried Schreiber geboren, Student 1771/73, 1776 Markscheider in Ilmenau, 1802 Direktor der Bergschule von Mont Blanc, Frankreich, 1824 General-Ehren-Inspektor der französischen Bergwerke

1771 – 250 Jahre

- Anton Albert Vergeel, Amsterdam, erster ausländischer Student an der Bergakademie

1796 – 225 Jahre

- Professor Wilhelm August Lampadius entdeckt den Schwefelkohlenstoff und führt Versuche zur Entgasung von Holz und Steinkohle durch.
- 1796/97 Neubau eines Metallurgischen Laboratoriums im Hofgebäude der Bergakademie durch Lampadius mit Unterstützung von A. G. Werner

1821 – 200 Jahre

- Neugründung des Studentencorps „Montania“ („Alte Montania“ von 1798 bis zum Verbot 1817)
- (1. März) erste Dampfmaschine im sächsischen Steinkohlenbergbau in Zauckerode in Betrieb genommen, Erbauer: Maschinendirektor Christian Friedrich Brendel (Student 1797/1801)
- (18. Mai) Carl Rudolf Bornemann geboren, Student 1839/43, Maschinenmeister und Oberkunstmeister im sächsischen Bergbau
- (19. Juni) Carl August Junge geboren, 1855/69 zweiter Professor für Mathematik, liest ab 1856 auch über darstellende Geometrie und ab 1859 über praktische Markscheidekunst, Straße in Freiberg nach ihm benannt
- (5. November) Manuel Ortigosa geboren, Student 1841/45, Bergdirektor in Sevilla

1846 – 175 Jahre

- (20. März) Johann Carl Freiesleben gestorben, Student 1790/92, 1799 Bergmeister in Johanngeorgenstadt, 1800 Direktor des Bergbaus von Eisleben, 1818 Bergrat am Oberbergamt Freiberg, 1838–1842 Sächs. Berghauptmann

- (2. Oktober) Georg Gottlieb Pusch gestorben, Student 1806/10, 1816–1826 Professor für Chemie und Hüttenkunde an der Universität Kielce in Polen, 1834–1842 Münzmeister, Leiter der polnischen Berg- und Hüttensektion

1871 – 150 Jahre
- S. T. Smith, USA, 1871/72 erste Gasthörerin an der Bergakademie
- (24. Februar) Julius Weisbach gestorben, Student 1822/26, 1833/1871 Lehrer, ab 1835 Professor für angewandte Mathematik, Bergmaschinenlehre und allgemeine Markscheidekunst, Oberbergrat, 1869–1871 Mitglied der Bergakademie-Direktion
- (15. März) Günther Heubel geboren, 1923 Ehrendoktor, Generaldirektor der F. C. Th. Heye Braunkohlenwerke GmbH, Annahütte/NL
- (19. März) Wilhelm Ritter von Haidinger gestorben, Student 1817/18, 1849 erster Direktor der Geologischen Reichsanstalt von Österreich, Autor mehrerer Bücher über Mineralogie
- (16. August) Ernst Rudolf von Warnsdorff gestorben, Student 1822/26, 1833 Oberstollnfaktor in Freiberg, 1852 Oberbergrat am Oberbergamt Freiberg
- (31. August) Aufhebung der 1869 mit Inkrafttreten des Allgemeinen Berggesetzes für das Königreich Sachsen gebildeten dreiköpfigen Bergakademie-Direktion und Einführung der Direktorats-Verfassung
- (10. September) Karl Hold geboren, Ehrensenator 1928, Generaldirektor mehrerer Steinkohlenzechen im Ruhrgebiet
- (5. November) Karl Richard Michael geboren, 1907/14 Bergamtsrat und Professor für Allgemeine Rechtskunde und Bergrecht
- (13. Dezember) Karl Büren geboren, 1926 Ehrendoktor, Generaldirektor und Vorstandsvorsitzender der Braunkohlen- und Brikettindustrie AG in Berlin
- (14. Dezember) Heinrich Krug, Halberstadt geboren, Student 1891/96, Ehrendoktor 1923, Generaldirektor der Gewerkschaft „Gottes Segen“ Lugau

1896 – 125 Jahre
- Modernisierung des Freiberger Theaters
- Bau des Schwanenschlösschens am unteren Kreuzteich
- (14. April) Fritz Mauersberger geboren, Student 1919/23, 1956/61 Dozent für technische Sicherheit und Arbeitsschutz, 1961 bis 1965 Lehrauftrag „Arbeitsschutz und Technische Sicherheit im Bergbau“
- (2. August) Walter Crafts gestorben, Student 1861/62, Berg- und Hütteningenieur in den USA

1921 – 100 Jahre
- 1921/22 Bau der Wärmewirtschaftlichen Abteilung des Braunkohlen-Forschungsinstituts auf der Reichen Zeche, ab 1935 „Technische Versuchsanlage Reiche Zeche“
- (2. Mai) Wolfgang Burkhardt geboren, 1959/65 Professor für Experimentalphysik am II. Physikalischen Institut und Institutsdirektor
- (27./28. Mai) Radiumkongress in Freiberg
- (30. Juni) Karl Stölzel geboren, stud. 1950/58, 1963/82 Professor für Gießereitechnik, 1966/68 Institutsdirektor
- (2. Juli) Grundsteinlegung Hauptgebäude Braunkohlen-Forschungsinstitut, Agricolastraße 1 (1953 Namensgebung „Karl-Kegel-Bau“)
- (30. Juli) Wilhelm Völker gestorben, Student 1888/94, Hütteningenieur und Direktor mehrerer Eisenwerke
- (12. Oktober) Joseph W. Richards gestorben, Student 1897/98, Professor für Hüttenkunde an der Lehigh-University in Bethlehem, Pennsylvania/USA
- (3. Dezember) Gründung der Gesellschaft der Freunde der Bergakademie e. V.; erster Vorsitzender Kurt Sorge (Student 1873/77, Ehrendoktor und Ehrensenator der Bergakademie)

1946 – 75 Jahre
- (15. Januar) Victor Tafel gestorben, Student 1903/06, Vorstand der metallhüttenmännischen Abteilung des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Neubabelsberg bei Potsdam, 1923/45 Professor für Metallhüttenkunde an der Technischen Hochschule Breslau
- (29. Januar) Otto Brunck gestorben, Student 1892/93, 1896/1934 Professor für Chemie, 1919/20 und 1930/31 Rektor der Bergakademie Freiberg
- (8. Februar) offizielle Wiedereröffnung der Bergakademie
- (8. April) Albert Rys gestorben, 1930 Ehrendoktor, Prokurist der Fa. Krupp, Essen
- (2. Juli) Friedrich Rittershausen gestorben, 1928 Ehrendoktor, Leitung aller Essener Stahlschmelzbetriebe sowie später als Abteilungsdirektor auch Leitung aller Essener stahlverarbeitenden Betriebe
- (11. Oktober) Carl F. W. Rys gestorben, Student 1898/1902, 1930 Ehrendoktor, Assistent des Präsidenten der Carnegie Steel Co., Pittsburgh, später Oberingenieur der Carnegie Illinois Steel Co.

1971 – 50 Jahre
- (22. Juni) Heinz Uhlitzsch gestorben, 1927/45 planmäßiger a. o., ab 1940 o. Professor für Eisenhüttenkunde, insbesondere Gießereiwesen, 1944/1945 Rektor der Bergakademie
- (Juli) Beginn der Bauarbeiten des Wohnheim-Zwillingsbaus Agricolastraße 14/16 (erbaut 1971/73)
- (1. Juli) Der historisch wertvolle Altbestand der Bibliothek wird unter Kustos Dr. Peter Schmidt (Student 1959/64) eine eigenständige Abteilung
- (23. Juli) Kurt Säuberlich gestorben, Student 1924/32, 1940/45 Dozent, ab 1943 a. o. Professor für Brikettierkunde und Bergbaukunde, 1942 Direktor der neu gegründeten Abteilung Mechanische Kohleveredlung des Braunkohlen-Forschungsinstituts, 1945 Entlassung aus politischen Gründen, Verhaftung und Internierung in Buchenwald bis 1948, 1949 Leiter der Forschungsstelle für Roheisenerzeugung in Unterwellenborn
- (22. Oktober) Hochschulvereinbarung mit der Russischen Staatlichen Universität für Erdöl und Erdgas „I. M. Gubkin“ Moskau
- (29. Dezember) Paul Beyersdorfer gestorben, 1954/66 Lehrbeauftragter für „Glashüttenkunde“, 1958 Verleihung Titel Professor

1996 – 25 Jahre
- Hochschulvereinbarungen mit dem Harbin Institute of Technology, China, der University of Waterloo, Dept. of Earth Sciences, Waterloo, Kanada, der Nationalen Metallurgischen Akademie der Ukraine, Dnipropetrowsk, Ukraine und der Technischen Universität Hanoi, Vietnam
- (30. März) Manfred Schoch gestorben, 1964/92 Dozent, ab 1965 Professor für Mathematik, ab 1969 Professor für Mathematische Methoden der Operationsforschung (Diskrete Optimierung), ab 1992 Professor für Mathematische Optimierung
- (29. September) Hans Prescher gestorben, Student 1946/52, Direktor des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie in Dresden
- (10. November) Gründung des IÖZ

■ **Roland Volkmer**

Neuberufungen ab November 2019

- Frau Dr. **Julia Kristin Hufenbach** zur Professorin für Werkstofffunktionalisierung an der Fakultät 5 zum 01.11.2019 (gemeinsame Berufung mit dem IFW Dresden)
- Herr Dr. **Björn Sprungk** zum Juniorprofessor für Angewandte Mathematik an der Fakultät 1 zum 01.02.2020
- Herr Dr.-Ing. **Alexandros Charitos** zum Professor für Hochtemperaturprozesse in der Metallurgie an der Fakultät 5 zum 01.03.2020
- Frau Dr. **Sindy Fuhrmann** zur Juniorprofessorin für Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie an der Fakultät 4 zum 01.03.2020
- Herr Prof. Dr. **Alexander Leischnig** zum Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Business-to-Business Marketing an der Fakultät 6 zum 01.03.2020
- Frau Dr. **Sabrina Hedrich** zur Juniorprofessorin für Mikrobiologie und Biohydrometallurgie an der Fakultät 2 zum 01.05.2020
- Herr Dr. rer. nat. **Conrad Jackisch** zum Juniorprofessor für Strömungs- und Transportmodellierung in der Geosphäre an der Fakultät 3 zum 01.09.2020
- Herr Jun.-Prof. **Roman Gumeniuk** zum Professor für Experimentelle Physik: Kristallphysik an der Fakultät 2 zum 01.10.2020
- Herr Jun.-Prof. Dr. rer. nat. **Martin Schneider** zum Professor für Angewandte Algebra an der Fakultät 1 zum 01.10.2020
- Herr Dr. rer. nat. **Maximilian Peter Lau** zum Juniorprofessor für Biogeochemie an der Fakultät 3 zum 01.10.2020

Neuer Honorarprofessor für Meeresbergbau (Marine Mining) an der TU Bergakademie Freiberg

Carsten Drebenstedt

Herr Professor Dr.-Ing. habil. Pavol Rybar wurde ab 1. April 2020 für die Dauer von vier Jahren zum Honorarprofessor für Meeresbergbau (Marine Mining) an die Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau bestellt. Das Fachgebiet „Meeresbergbau" wird traditionell durch die Professur Bergbau-Tagebau am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau in Lehre und Forschung vertreten, das auch den entsprechenden Antrag gestellt hatte.

Zum Fachgebiet Meeresbergbau an der TU Bergakademie Freiberg

Als Spezialgebiet des Bergbaus ist die Rohstoffgewinnung aus dem Meer spätestens seit dem Erscheinen des 1972 veröffentlichten Berichts des MIT „The Limits to Growth" (Die Grenzen des Wachstums) an den 1968 gegründeten „The Club of Rome" ein innovatives und interessantes Lehr- und Forschungsgebiet. *„Die Ziele des Club of Rome sind, die wichtigsten Zukunftsprobleme der Menschheit und des Planeten durch holistische, interdisziplinäre und langfristig ausgerichtete Forschung zu identifizieren, alternative Zukunftsszenarien und Risikoanalysen zu evaluieren, praktische Handlungsoptionen zu entwickeln und vorzuschlagen, neue Erkenntnisse und Trends gegenüber Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit zu kommunizieren und gesellschaftliche Debatten zur Verbesserung der Zukunft in Gang zu setzen"* [1]. Die Entkopplung von Wohlstandsentwicklung und Ressourcenverbrauch ist bis heute eines der wichtigen Ziele des Club of Rome.

An der TU Bergakademie Freiberg wurde bereits Ende der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts eine zentrale Forschungsstelle zum Thema Meeresbergbau eingerichtet. Am 1. April 1968 schrieb der damalige Direktor des Instituts für Tagebaukunde und Vorsitzende der Gruppe Geowissenschaften/Bergbau im Forschungsrat der DDR, Prof. Dr. Klaus Strzodka, einen Brief an das Institut für Meereskunde der Deutschen Akademie der Wissenschaften in Rostock, um auf das Thema und das Interesse der Bergakademie Freiberg aufmerksam zu machen. Im gleichen Jahr erschien ein Beitrag von Prof. Dr. Horst Bachmann (ebenfalls Bergakademie Freiberg) zu den Potenzialen der Bereitstellung mineralischer Rohstoffe, insbesondere aus dem Meer [2].

In Kooperation mit anderen Einrichtungen wurden in Freiberg bereits frühzeitig Möglichkeiten und Probleme des Auffindens, der Gewinnung, der Vertikalförderung, der Aufbereitung, des Transports und der Wirtschaftlichkeit des Meeresbergbaus, insbesondere auf Manganknollen und metallhaltige Schlämme von Tiefseeböden im Pazifik und im Indischen Ozean untersucht [3–7]. Diese Forschungen wurden im Zuge der politischen und wirtschaftlichen Veränderungen – auch für den Bergbau in Deutschland – 1990 eingestellt.

Das Thema „Meeresbergbau" wurde im Studiengang Geotechnik und Bergbau im Rahmen der Lehrveranstaltung „Steine-Erden Lockergestein" im Abschnitt „Nassgewinnung" weitergeführt, denn der Abbau unter Wasser, insbesondere von Sanden und Kiesen, nimmt bis heute mit ca. 100 Millionen Tonnen pro Jahr einen großen Raum in der deutschen Bergbaupraxis ein. 2008 wurden wichtige Erkenntnisse zu diesem Fachgebiet im Fachbuch „Der Nassabbau" beim Springer Verlag von Dr. Patzold, Professor Gruhn (TU Hamburg-Harburg) und Professor Drebenstedt (TU Bergakademie Freiberg) als Autoren veröffentlicht [8]. Mit dem 2004 beginnenden Rohstoffboom fand das Thema der Gewinnung von Rohstoffen aus alternativen Quellen wieder stärker Beachtung, auch das Thema „Meeresbergbau".

Am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau und anderen Forschungsstellen der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau sowie weiteren Struktureinheiten der Universität wird auch aktuell an Themen des Meeresbergbaus gearbeitet, z. B. im Rahmen des EU-Projekts „Blue Mining" oder im RFCS-Projekt „HydroCoal plus" (optimierte Airliftanlage).[9]

Das Engagement Professor Rybars für die TU Bergakademie Freiberg

Professor Rybar vertritt seit 2004 die Slowakei als Stellvertreter für den Mineralabbau vom Meeresboden im internationalen Konsortium „INTER OCEAN METAL" (Sitz in Stettin, Polen), das Lizenzgebiete im Pazifik zur Erkundung und zum Abbau von Manganknollen hält. Die Bundesrepublik Deutschland ist in der Clarion-Clipperton-Zone ebenfalls an der Aufsuchung und Vorbereitung der Gewinnung aktiv. Die Federführung dafür liegt bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Professor Rybar hat zum Thema Meeresbergbau vielfach publiziert, darunter zwei Fachbücher [10, 11]. Er ist Mitglied in Redaktionskomitees von Zeitschriften und der Russischen Akademie für Naturwissenschaften sowie in verschiedenen Kommissionen und Verbänden. Unter anderem war er 2004–2006 Präsident der Sozietät der Bergbaukunde/Society of Mining Professors, 2007–2010 Präsident der International Association for Geotourism (IAGt) in Krakow, Poland, und 2000–2007 Dekan der Fakultät BERG der TU Košice. Er ist des Weiteren seit 2006 Gastprofessor an der AGH Krakau, Polen, und seit 2012 Ehrendoktor der Universität Miskolc, Ungarn. Von 1988 bis 1990 arbeitete er als Experte für Bergbau in Kuba. Forschungsaufenthalte führten ihn u. a. auch nach Frankreich, Finnland und in die USA.

Professor Rybar forscht zu verschiedenen Themen wie Sprengtechnik, Schmelzen von Gestein, Geostatistik, Lagerstättenmodellierung und Bergbauplanung sowie Geotourismus. Aktuell erforscht er die Nutzung von Wasserstofftechnologien für den Tiefseebergbau. 32 Promotionsstudenten wurden von ihm ausgebildet.

Wegen der Aktualität des Themas Meeresbergbau wurde ihm von der TU Bergakademie Freiberg bereits 2008 ein Lehrauftrag für das Fachgebiet „Meeresbergbau" erteilt. Er unterstützt seitdem hier unter anderem thematisch einschlägige Promotionen als Berater und Gutachter, z. B. 2013 die Dissertationsarbeit von Ehab Gooma (Ägypten) zum Thema *„Environmental Balance of Mining from Seafloor"* und 2015 die von Taras Shepel (Ukraine) zum Thema *„Begründung der Parameter von Schürfkübeln für die Gewinnung von organisch-mineralischen Sedimenten aus großen Wassertiefen"*.

Inzwischen ist die Lehrveranstaltung „Deep Sea Mining" Bestandteil des Moduls „Steine-Erden-Erze" im Studiengang „Geotechnik und Bergbau". Der Umfang der Lehrveranstaltung beträgt 2 Semesterwochenstunden im Wintersemester.

2015 richtete die Professur Bergbau-Tagebau eine erste und seitdem jährlich

wiederholte internationale Sommerschule „From Dredging to Deep Sea Mining“ aus, bei der Professor Rybar ein wichtiger Referent ist. Zuhörer kamen zunächst aus den Schwarzmeer-Anrainerstatten Ukraine, Russland, Rumänien und Bulgarien sowie aus Polen und der Slowakei, später ergänzt um interessierte Studierende aus asiatischen und afrikanischen Ländern *(Abbildung 1)*. Vorausgegangen war ein gemeinsamer Projektantrag von Hochschulen und anderen Einrichtungen aus der Slowakei, Rumänien, Bulgarien, der Ukraine und Freiberg im Jahr 2015 im Rahmen des EU-Forschungsprogramms Horizon 2020 zum Thema *„Deep-sea mining of sapropel sediments in the Black Sea“* (Acronym: SAPROTECH). Sapropel ist ein wertvoller organisch-mineralischer Rohstoff, der im Schwarzen Meer bis zu einer Tiefe von 2.200 m an der Oberfläche des Meeresbodens in geringen Mächtigkeiten vorkommt.

2016 wurde Professor Rybar zum Gastprofessor für „Marine Mining“ an der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau ernannt.

Das weiterentwickelte Konzept der Sommerschule wurde für den Zeitraum 2020 bis 2022 als EIT International Summer School „From dredging to deep-sea mining“ bewilligt und befindet sich derzeit als Online-Angebot in Umsetzung. Auch hier ist Professor Rybar mit seiner Expertise beteiligt. Weitere Projektpartner sind: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), IHC Mining B.V., Montanuniversität Leoben, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Stichting Nederlandse Wetenschappelijk Onderzoek Instituten (The Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ)) und die Technische Universiteit Delft (Delft University of Technology).

Im Sommersemester bietet Professor Rybar im Rahmen des Seminars und der Übung „Tagebau“ eine weitere Lehrveranstaltung („Geotourismus“, im Umfang von zwei Semesterwochenstunden) an, bei der die touristische Erschließung historischen und aktiven Bergbaus sowie von geologischen Aufschlüssen im Vordergrund stehen. Professor Rybar vertritt dieses Fach seit 2003 an der TU Košice. Der Lehrinhalt wird auch ergänzend zu den Modulen „Reclamation“ (Master-Studiengänge „Sustainable Mining and Remediation Management“ und „Advanced Mineral Resource Development“) und „Rekultivierung“ (Studiengang „Geotechnik und Bergbau“) angeboten.

(c) TU Bergakademie Freiberg

Abb. 1: Teilnehmer der 1. Sommerschule „From Dredging to Deep Sea Mining“ 2015 in Freiberg, links Professor Rybar

Eine weitere Kooperation mit Professor Rybar betrifft die EIT-Sommerschule „Innovations in Raw Material Sector“, die am historischen Standort einer der ersten Bergbauhochschulen weltweit, Banská Štiavnica, 2017 und 2019 auf Initiative und unter Leitung von Professor Rybar stattfand. An der Sommerschule nehmen jeweils eine Gruppe Studierender und Wissenschaftler aus Freiberg und Hochschulen anderer europäischer Länder (Polen, Tschechien, Ungarn, Rumänien) teil.

2019 ist ein gemeinsames Fachbuch „Mining Investment“ erschienen, an dem Autoren der TU Košice und der TU Bergakademie Freiberg beteiligt waren [12].

Mit der Verleihung der Honorarprofessur findet der langjährige erfolgreiche Einsatz von Professor Rybar in der akademischen Lehre und in der Forschung an der TU Bergakademie Freiberg eine angemessene Würdigung. Ihm ist es zu verdanken, dass dieses attraktive Lehrgebiet wie auch der „Geotourismus“ an unserer Universität kompetent vertreten werden. Vergleichbare Professuren gibt es in Deutschland nicht, sodass unsere Universität über ein weiteres Alleinstellungsmerkmal auf dem Gebiet der Rohstoffgewinnung verfügt. Darüber hinaus stärkt diese Ernennung die strategische Partnerschaft mit der TU Košice, mit der die TU Bergakademie Freiberg bereits seit dem 19. Oktober 1963 ein Hochschulpartnerschaftsabkommen verbindet.

Zum Werdegang und zur Person

Professor Pavol Rybar wurde am 21. Februar 1950 in Kosice geboren. Er begann sein Studium 1976 an der TU Kosice im Studiengang „Mining – Mining Geology“. Ab 1986 promovierte er im Bereich „Mining and Geotechnics“, ebenfalls an der TU Kosice, und arbeitete dort nach seiner Promotion ab 1991 als Dozent, bevor er 1999 zum Professor für Mining and Geotechnics berufen wurde. Prof. Rybar ist verheiratet und hat zwei Töchter.

Literatur:

1 https://de.wikipedia.org/wiki/Club_of_Rome
2 Bachmann H (1968) Prognostische Aufgaben der Geologie bei der Bereitstellung mineralischer Rohstoffe, Ber. Deutsch. Ges. Geol. Wiss. A. Geol. Paläont. 13.4. S. 519–535, Berlin.
3 Wehrsig H (1970) Studie über die submarine Gewinnung von Mineralien, Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Bergakademie Freiberg, 45 Seiten (Auftraggeber: wie Anm. 2)
4 Wehrsig H (1971) Gewinnungstechnologien mariner Rohstoffe, Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Bergakademie Freiberg, 39 Seiten (Auftraggeber: Zentrales Geologisches Institut).
5 Wehrsig H (1972) Gewinnung submariner fester mineralischer Rohstoffe, Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Bergakademie Freiberg, 57 Seiten (Auftraggeber: wie Anm. 2).
6 Arbeitsgemeinschaft (1973) Technisch-ökonomische Untersuchungen zur Bewertung von Lösungsvarianten zur Hochförderung, Zwischenlagerung, zum Umschlag und Abtransport von Eisen-Mangan-Konkretionen und werthaltigen Schlämmen aus der Tiefsee, Abschlußbericht Forschungs- und Entwicklungsarbeit, VVB Schiffbau Rostock, 83 Seiten (Auftraggeber: Bergakademie Freiberg).
7 Arbeitsgemeinschaft (1975) Technisch-ökonomische Untersuchungen zum Auffinden und zur Bewertung von Lösungsvarianten für Gewinnung, Hochförderung, Transport und Aufbereitung von Fe-Mn-Konkretionen und erzhaltigen Schlämmen, Bergakademie Freiberg, 108 Seiten (Auftraggeber: Universität Rostock).
8 Patzold V, Gruhn G, Drebenstedt C (2008) Der Nassabbau. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 472 Seiten (ISBN 978-3540-49692-2).
9 Shepel T, Drebenstedt C (2019) Weiterentwicklungen im Bereich des Bohrlochbergbaus von festen mineralischen Rohstoffen, In: ACAMONTA, Freiberg, S. 32–33 (ISSN 2193-309X).
10 Domaracka L, Kosco J, Rybar P (2014) Polymetallic nodules, Treasure on the seabed, LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, (ISBN 978-3-659-21083-9).
11 Rybar P, Harmak H, Kosco J, Domaracka L, Domaracka D, Rybarova M (2011) Polymetalicke konkrecie bohatstvo na dne mori a oceanov, TU Košice, Košice (ISBN 978-80-553-0326-0).
12 Rybár P, Drebenstedt C, Celhár M, Domoracká L, Khouri S, Dietze T (2019) Mining Investments, Vydavatelstvi a nakladatelstvi Aleš Čeněk, s.r.o., Plzeň, pp 250 (ISBN 978-80-7380-759-79).

Ehrenpromotion Professor Dr. mont. Dipl.-Ing. Peter Moser

Carsten Drebenstedt

Am 23. September 2020 wurde Professor Dr. mont. Dipl.-Ing. Peter Moser zum Ehrendoktor der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau ernannt. Die TU Bergakademie Freiberg würdigt mit dem Vize-Rektor Professor Moser eine Persönlichkeit, die sich neben dem aktuellen und ehemaligen Leobener Rektoren – den Professoren Eichlseder, Fettweis und Wegscheider – in jüngerer Zeit besonders um die Zusammenarbeit zwischen der TU Bergakademie Freiberg und der Montan-Universität Leoben verdient gemacht haben.

Professor Mosers Bemühungen um eine aktive Kooperation zwischen den beiden montanwissenschaftlichen Institutionen sind und waren vielfältiger Art: So ist unser Ehrenpromovend ein aktiver Mitgestalter der Raw Material-Plattform der EU und des KIC Raw Materials. Hier arbeitet er mit verschiedenen Kollegen der TU Bergakademie Freiberg strategisch orientiert eng zusammen. Seitens der Montan-Universität Leoben unterstützte Professor Moser seit 2012 auch maßgeblich den Aufbau des Weltforums der Ressourcen-Universitäten für Nachhaltigkeit. Als Beispiel erfolgreicher Kooperation in der Lehre ist der gemeinsam von Leoben und Freiberg aufgebaute und geführte internationale Master-Studiengang (joint degree) Advanced Mineral Resource Development (AMRD) hervorzuheben. AMRD ging 2012 an den Start und ist im Verbund mit neun Partnerländern das weltweit größte Ausbildungsnetzwerk im Rohstoffbereich [1]. Im Jahr 2020 erfolgte die Erweiterung des Masterstudiengangs AMRD um die Vertiefung „Engineering Geoecology"/ „Environmental Engineering" in Kooperation zwischen den Partneruniversitäten in Leoben, Freiberg und St. Petersburg. Ein weiterer von Leoben und Freiberg gemeinsam eingerichteter englischsprachiger Masterstudiengang „Geomatik" wurde 2019 im Fach Markscheidewesen eingeführt. Das Markscheidewesen gehört zum Lehr- und Forschungsgebiet von Professor Moser.

Gemeinsam mit Professor Moser wurden zudem diverse Anträge zur Förderung von Forschungsprojekten gestellt. Aktuell in Bearbeitung befindet sich mit dem vom KIC Raw Material geförderten Projekt „MiRe Books" ein innovatives Vorhaben zur Integration digitaler Medien in die Ausbildung, das von Professor Moser initiiert wurde und an dem Professoren der TU Bergakademie Freiberg (Jung, Drebenstedt) maßgeblich beteiligt sind [2]. Eine weitere gemeinsame Initiative der Universitäten Leoben und Freiberg war die Etablierung einer „European Rock Excavation Group" im Jahr 2016, aufbauend auf den hier etablierten Kompetenzen auf dem Gebiet der mechanischen Gesteinszerkleinerung. Auch hierfür wird an gemeinsamen Forschungsanträgen gearbeitet, an denen sich auch das Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg beteiligt. Als Beispiel für eine erfolgreiche wissenschaftliche Kooperation ist die Untersuchung der Mechanismen der Mikrowellenvorschädigung von Gesteinsoberflächen zu nennen: Die Mikrowellenbestrahlung der Gesteine erfolgte in Leoben, die anschließenden Schneidversuche an diesen Gesteinen dann in Freiberg. Die Ergebnisse sind in gemeinsam verfassten Publikationen veröffentlicht [3].

Ein weiteres gemeinsames Arbeitsfeld sind die Probleme der gesellschaftlichen Akzeptanz des Rohstoffsektors. Hier wurde 2018 ein Graduiertenkolleg mit Promovenden beider Institutionen aufgebaut und die in diesem Rahmen entstehenden Arbeiten kooperativ betreut (derzeit u. a. die Promotion von Susanna Feiel, MUL, in Betreuung durch Professor Drebenstedt). Der erfolgreiche Antrag zur Etablierung einer European University im Jahr 2020 geht maßgeblich auf das Engagement von Professor Moser zurück. Leoben, Freiberg und die Hochschule Mittweida arbeiten in diesem Projekt gemeinsam mit Partner-Universitäten in Griechenland, Rumänien, Spanien und Polen an der Entwicklung innovativer Studienangebote im Sinne des Entwicklungsziels 12 der Vereinten Nationen „Responsible Production and Consumption". Das Projekt eröffnet Perspektiven für alle Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg.

Professor Moser wird sich auch in Zukunft für den weiteren Ausbau der Kooperation zwischen der Montanuniversität Leoben und der TU Bergakademie Freiberg einsetzen. Beispielhaft seien Projekte genannt, an deren Umsetzung bereits gearbeitet wird:

- Weiterentwicklung des Studiengangs AMRD und seines Netzwerks, inbegriffen Afrika und Lateinamerika
- Mitwirkung an der Entwicklung des UNESCO-Zentrums für Ausbildung im Bergbausektor in St. Petersburg
- Weiterentwicklung des Graduiertenkollegs „Rohstoffbewusstsein" zum internationalen wissenschaftlichen Zentrum
- Aufbau der Option einer Doppelpromotion

Neben den laufenden Forschungskooperationen im Bereich der Digitalisierung und der Gesteinszerkleinerung werden weitere gemeinsame Anträge zu neuen Forschungsprojekten vorbereitet.

Außer bei der Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie war und bleibt Professor Moser in Lehre und Forschung international aktiv und ist u. a.

- seit 2016: Adjunct professor an der School of Chemistry, Trinity College Dublin, Irland,
- seit 2016: Visiting professor an der National Mineral Resources University (Mining University), St. Petersburg, Russland,
- von 2016 bis 2018: Member of the advisory board of CAMM2 Centre of Advanced Mining and Metallurgy, Lulea, Schweden,
- seit 2015: zunächst Vize- und dann Präsident des Komitees für Internationale Angelegenheiten im Rahmen der Österreichischen Hochschulkonferenz,
- seit 2015: Präsident des Regional Innovation Center on Raw Materials for East and South East Europe (RIC ESEE inside EIT Raw Materials), Leoben,
- seit 2013: High Level Steering group member of the European Innovation Partnership on Raw Materials, Brussels, Belgien,
- von 2008 bis 2014: Board member of the World Energy Council Austria.

Professor Moser hat sich über seine Bemühungen zur Vertiefung der internationalen Austauschbeziehungen zwischen montanwissenschaftlichen Institutionen hinaus auch national um die Entwicklung der Aus- und Weiterbildung sowie die Forschung im Bergfach verdient gemacht und hohe Anerkennung erworben, wie aus seiner beruflichen Vita abzulesen ist.

Der damit skizzierte wissenschaftliche Werdegang Peter Mosers weist auf ein stets strategisch ausgerichtetes Vorgehen und unbedingte Ergebnisorientierung hin, basierend auf tiefem Vertrauen in das eigene Handeln. Dank seiner offenen und ehrlichen Art ist es ihm fast immer gelungen, Partner für die Umsetzung seiner Pläne und Visionen in Wirtschaft,

Wissenschaft und Verwaltung zu finden. Die Übernahme verantwortungsvoller Aufgaben an seiner Universität (derzeit als Vize-Rektor) und in der Gesellschaft sprechen für Uneigennützigkeit, gepaart mit dem Denken in größeren, komplexen Zusammenhängen – zum Wohle der Universität und der Gesellschaft. Die ausgewählten Beispiele machen deutlich, wie eng Professor Moser mit unserer Universität in Lehre und Forschung verbunden ist.

ARMIN RUSSOLD FOTO FREISINGER

Professor Dr. mont. Dipl.-Ing. Peter Moser

Beruflicher Werdegang

Moser studierte von 1978 bis 1983 in der Studienrichtung Bergwesen und erwarb den akademischen Grad eines „Dipl.-Ing.“. Das Thema seiner Diplomarbeit lautete: Entwicklung einer wirksamen und kostengünstigen Methode zum Versetzen von Mörtelankern in wasserführenden Gebirgszonen. Nach dem Studienabschluss arbeitete Peter Moser als Tunnelbauingenieur bei der Firma Stuag in der Tiefbauabteilung. Im April 1984 nahm er eine Tätigkeit als Universitätsassistent an der Montanuniversität Leoben auf. In der Zeit seiner Assistententätigkeit absolvierte er von 1984 bis 1989 ein Doktoratsstudium am Institut für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft an seiner Heimatuniversität, das er im März 1989 mit dem Grad „Dr. mont.“ erfolgreich beendete. Das Thema der Dissertation lautete: Untersuchungen über den Einfluss der Topographie, der Lagerstättenteufe, der Gebirgsverhältnisse sowie der Betriebsgröße auf die Ausrichtung von Lagerstätten von der Tagesoberfläche aus.

Von 1989 bis 1996 leitete er als Post Doc-Assistent am Bergbaukundeinstitut in Leoben die Arbeitsgruppe „Bergtechnisches Prüfwesen“. In diese Zeit fielen auch seine Mitwirkung an mehreren heimischen und den EU-Forschungsprojekten „Brite Euram“ aus dem 3. und 4. EU-Forschungsrahmenprogramm, die inhaltlich den Themen „Mechanischer Gesteinsabbau mit Vortriebsmaschinen“ und „Sprengtechnik“ gewidmet waren.

Im Rahmen eines großen Forschungsprojekts, unterstützt vom Österreichischen Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung (FWF) zu Fragen des Aufschlusses und der Ausrichtung von Lagerstätten habilitierte sich Peter Moser und erhielt 1998 als Universitätsdozent die Lehrbefugnis für das Fach Bergbaukunde. Im Zuge der Forschungsarbeiten zur Habilitation unternahm Peter Moser zahlreiche Studienreisen zu mehr als 300 untertägigen Festgesteinsbergwerken weltweit, um deren Planung und Zuschnitt zu analysieren. Nach Abschluss seiner Habilitation erfolgte 1998 seine Bestellung zum Außerordentlichen Professor an der Montanuniversität Leoben.

Von 1998 bis 2008 bearbeitete und leitete Peter Moser zahlreiche Forschungsprojekte in den EU-Forschungsrahmenprogrammen Brite Euram, Growth, Tacis und Amadeus. Inhaltlich betrafen die Projekte vornehmlich Fragestellungen zur Sprengtechnik, zu Grundfragen des Zerkleinerungsverhaltens von Festgestein und zu Korngrößenverteilungen. In diese Zeit fiel auch sein Gastaufenthalt (1998 bis 1999) als Visiting Professor am “Centre de Géotechnique et d’exploitation du sous-sol, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Fontainebleau”. Dort hat er eine neue Forschungsinitiative zur Gesteinszerkleinerung und zu Sprengarbeiten aufgebaut und an Projekten zur Bergbauplanung und zur Wetterführung mitgewirkt.

Im Zeitraum von 2006 bis 2010 leitete Peter Moser an der Montanuniversität Leoben das Department Mineral Resources & Petroleum Engineering mit sieben Lehrstühlen und rund 120 Beschäftigten. Hauptaufgabe in dieser Funktion war die Umstellung der Diplomstudien im Bergbau- und Erdölbereich auf den Bologna-Prozess und die Einführung von Englisch als Unterrichtsprache in den Masterstudien.

Im Jahr 2008 wurde Peter Moser an der Montanuniversität Leoben zum Universitätsprofessor für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft und zum Leiter des gleichnamigen Lehrstuhls bestellt. Seine Arbeiten als Lehrstuhlleiter umfassen seither Fragestellungen zu Sprengarbeiten, zum Festgesteinsabbau mit elektromagnetischen Wellen, zur Bergbausicherheit und betrafen in den letzten Jahren vermehrt auch Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Rohstoffversorgung, zur Europäischen Rohstoffpolitik und zur Einführung Digitaler Technologien im Bergbau. Seit 2011 bekleidet Peter Moser das Amt eines Vizerektors an der Montanuniversität Leoben mit Zuständigkeit für die Infrastruktur und internationale Aktivitäten. Die fachlichen Schwerpunkte seiner Tätigkeit lassen sich wie folgt benennen:

- Europäische und internationale Rohstoffpolitik, Nachhaltige Rohstoffversorgung,
- Lagerstättenbewertung,
- Bewertung der Planung und Entwicklung des untertägigen Festgesteinsabbaus (u. a. Befahrung von ca. 300 Bergbaubetrieben),
- Festgesteinszerkleinerung mittels Sprengtechnik (Grundlagen- und angewandte Forschung); Sprengtechnik im Tagebau, Sprengerschütterungen; Schneidtechnik, neue Methoden der Gesteinszerkleinerung,
- F&E-Projekte zur Optimierung von Bohr- und Sprengarbeiten (Kostenreduktion, Erhöhung Sicherheit), zur Bergbauplanung im Tiefbau (Gesamtkonzept), zur Betriebskontrolle, zu Betriebsvergleichen, zur Entwicklung von Strategien zur Produktionssteigerung, zu CCS und zum Energieeinsatz in Industrieunternehmen, wie Sandvik, Atlas Copco, Omya, Imerys, Areva, Rio Tinto Minerals, Holcim, RHI, W&P, VA Erzberg, LKAB, Dyno Nobel, Westspreng, Austin Powder, Alpine Mayreder, Strabag, DCM, ONA Managem, CMT, Montanwerke Brixlegg, Leube, Heidelberger, OMV, RAG ...,
- Experte für Projektbewertung bei der EU und anderen internationalen Organisationen (DFG, Kanadische Regierung, ...),
- Externes Mitglied bei Berufungskommissionen in Aachen, Oulo/Finnland, Lulea/Schweden, University of New South Wales/Australien,
- Mitglied von akademischen Bewertungskommissionen der AQ Österreich und des OEAD,
- Ca. 130 wissenschaftliche Publikationen, zahlreiche Patente.

Literatur

1 Drebenstedt C (2019) Internationaler Masterstudiengang Advanced Mineral Resource Development – weltweit größtes Ausbildungsnetzwerk im Rohstoffsektor, In: ACAMONTA, Freiberg, S. 123-124 (ISSN 2193-309X)

2 Shepel T, Drebenstedt C, Jung B, Eger-Passos D (2019) Mixed Reality-Technologien unterstützen Aus- und Weiterbildung, In: ACAMONTA, Freiberg, S. 114-116 (ISSN 2193-309X)

3 Hartlieb P, Grafe B, Drebenstedt C (2016) Alternative Method in Hard Rock Cutting. In: 13th International Symposium Continuous Surface Mining, FineGraf, Belgrade, p. 115-126 (ISBN 978-86-83497-23-2)

Markscheider Kurt Beyer – Glückwunsch zum 100. Geburtstag

© Sachsenbambus, https://de.wikipedia.org/wiki/Curt_Beyer

Kurt Beyer bei einerTagung im Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgeb.

Die Berufswahl eines Menschen ist oft durch das in dessen Jugendjahren gegebene Umfeld bedingt: Kurt Beyer wurde am 5. September 1920 als Sohn des auf der Mariengrube im Bergbaurevier Altenburg-Zeitz tätigen Vaters geboren und verlebte seine Jugend unter dem täglichen Einfluss der Aktivitäten des aufblühenden Braunkohlenbergbaus.

Nach dem Abitur 1939 mussten persönliche Vorhaben zurückstehen: Kurt Beyer wurde am 1. Dezember 1939 zum Wehrdienst bei der Luftnachrichten-Truppe einberufen und im Rahmen einer Offiziersausbildung mit der damals modernen Funkmesstechnik vertraut gemacht. Gegen Kriegsende geriet er im Bereich Berlin-Tiergarten in russische Gefangenschaft. Beim Marsch in ein Gefangenenlager gelang es ihm, in seine Heimatstadt Altenburg zu fliehen.

Als Bergarbeiter und gelegentlicher Messgehilfe im Braunkohlentiefbau des Zeitzer Reviers bekam er Einblicke in die Tätigkeit eines Markscheiders, was ihn bewog, als 26jähriger (!) das Studium in der Fachrichtung Markscheidewesen an der Bergakademie Freiberg aufzunehmen, was er 1951 als Diplomingenieur erfolgreich abschloss. Ein Angebot von Professor Neubert zur wissenschaftlichen Assistenz nahm C. Beyer an; aus dieser Zeit sind die Ergebnisse seiner Untersuchungen zum *„Einfluss der Grubenwetter auf den Verlauf des Zielstrahles“*[1] bekannt.

1953 wechselte Kurt Beyer zurück in die Bergbauindustrie. Nach Absolvenz der markscheiderischen Probezeit unter Aufsicht der Technischen Bergbauinspektion Berlin wurde er am 29. Oktober 1954 als Markscheider für die „Ausführung markscheiderischer Arbeiten in den Bergbaubetrieben auf dem Staatsgebiet der DDR“ zugelassen. Anfang 1954 übernahm Beyer die Leitung der Gruppenmarkscheiderei im sächsischen Steinkohlenrevier Lugau-Oelsnitz und war damit verantwortlich für die markscheiderischen Arbeiten in den Steinkohlenwerken „Karl Liebknecht“ in Lugau, „Deutschland“ in Oelsnitz sowie mehrere Jahre auch im Revier Freital-Döhlen bei Dresden. Mit einer Belegschaft von über zehntausend Beschäftigten waren die Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenwerke ein bedeutendes Großunternehmen der Bergbauindustrie der DDR. Die – durch kleintektonische Gebirgsverhältnisse und Restkohlenabbau bedingten – zahlreichen Betriebspunkte unter Tage stellten auch für das markscheiderische Fachpersonal bei der bergschadenmindernden Abbauplanung, Abbauführung, Betriebskontrolle und Dokumentation im bergmännischen Risswerk eine besondere Herausforderung dar, die unter Leitung von Kurt Beyer über einen Zeitraum von zwanzig Jahren hervorragend gemeistert wurde. In dieser Zeit veröffentlichte er seine Erfahrungen in Fachzeitschriften der DDR und bei Vortragsveranstaltungen auch international.

Nach dem Ende des Steinkohlenbergbaus im Revier Lugau-Oelsnitz nahm K. Beyer 1974 für die nachfolgenden elf Jahre eine Tätigkeit als Gruppenleiter „Vermessung“ im Unternehmen Baugrund Berlin auf, in dem er für die Tunnelvermessung verantwortlich zeichnete. Für die Tunnelvortriebe mit Schildtechnik führte er die Laser-Orientierung ein.

Parallel zur Arbeit im Tunnelbau war Beyer aufgrund seiner umfangreichen Kenntnisse aus dem sächsischen Bergbau mit der Ausarbeitung von der Obersten Bergbehörde der DDR gesetzlich geforderter bergschadenkundlicher Analysen beauftragt, die als Grundlage für die Einschätzung und Beseitigung der Gefährdungen der Tagesoberfläche durch stillgelegte Betriebe des Steinkohlen- und Erzbergbaues dienten.

Neben seiner beruflichen Tätigkeit arbeitete Kurt Beyer in der Ingenieurorganisation der „Kammer der Technik“ mit. Sieben Jahre hatte er den Vorsitz des Fachausschusses Markscheidewesen inne und war Mitglied der Fachunterausschüsse Standardisierung und Steinkohle. In dieser Zeit wurde die TGL 6429 „Bergmännisches Risswerk“ in weitgehender Anlehnung an die bundesdeutsche DIN 21900 erarbeitet.

Im Jahr 1986 endete für den Markscheider Beyer ein außerordentlich bewegtes, aber erfolgreiches Berufsleben – jedoch nicht sein Interesse am Markscheidewesen und dessen weiterer Entwicklung. So nahm er an den vom Markscheide-Institut der Bergakademie Freiberg veranstalteten Fachtagungen, insbesondere seit dem Jahr 2000 an den „Geokinematischen Tagen“ teil. Seine Verbundenheit mit der Bergakademie Freiberg kommt durch seine langjährige Mitgliedschaft im Verein der Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg zum Ausdruck.

Schon als Praktikant während der Beflissenenzeit 1954/55 im Steinkohlenwerk „Deutschland“, später als Mitarbeiter im Fachunterausschuss Standardisierung und langjähriger Angehöriger des Markscheide-Instituts der Bergakademie Freiberg hat sich für den Unterzeichneten ein besonderes Verhältnis zu Kurt Beyer entwickelt, das von Achtung vor dessen Lebensleistung als praktisch tätiger Markscheider und von Dankbarkeit für dessen Engagement für das deutsche Markscheidewesen, insbesondere auch für die Förderung des markscheiderischen Nachwuchses, geprägt ist.

Dem Jubilar Kurt Beyer mögen noch viele schöne Jahre vergönnt sein!

Glück auf!
Prof. Jürgen Fenk

Siehe zu Kurt Beyer auch: Zeitschrift für Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg Jg. 2000, S. 87–88; ACAMONTA 17 (2010), S. 198.

1 Freiberger Forschungsheft A 57, Freiberg 1957

Wir trauern um unsere Vereinsmitglieder

† Dr.-Ing. Horst Kulke, Freiberg
13.03.1934–04.01.2020
† Dr. Dietrich Bechstein, Delitzsch
08.01.1936–07.01.2020
† Dipl.-Ing. Manfred Hagelüken, Erftstadt-Bliesheim
29.05.1923–20.01.2020
† Dipl.-Geologe Günther Waltemate, Eichwalde
17.12.1931–24.01.2020
† Dr.-Ing. Heiner Träger, Büdingen
12.09.1931–03.02.2020
† Prof. Dr. Edwin Weber, Freiberg
02.08.1946–12.02.2020
† Dr. rer. nat. Oskar Burghardt, Krefeld-Bockum
05.06.1935–22.02.2020
† Dipl.-Ing. Reinhardt Horezky, Dresden
05.11.1948–10.03.2020
† Prof. Dr. Fritz Wickenhäuser, München
14.08.1944–26.03.2020
† Siegfried Flach, Damme
24.03.1927–19.05.2020
† Oberlehrer i. R. Ernst Menzel, Freiberg
18.10.1935–10.07.2020
† Dr.-Ing. habil. Harald Kohlstock, Freiberg
25.07.1938–17.07.2020
† Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Budde, Wiesbaden
10.03.1935 - 01.08.2020
† Dipl.-Geophys. Konrad Heinze, Freiberg
30.11.1943–28.09.2020
† Prof. Dr. em. Joachim Hofmann, Großschirma
07.07.1932–08.11.2020
† Prof. i. R. Dr. oec. habil. Dieter Slaby, Freiberg
06.11.1938–22.11.2020

Bereits 2019 verstorben

† Dr. rer. nat. Günter Zänker, Wolmirstedt
15.04.1937–04.03.2019
† Dipl.-Ing. Otto Hülsenbeck, Leipzig
14.12.1929–09.06.2019
† Prof. Dr.-Ing. habil. Claus Martin Schmidt, Berlin
30.09.1927–09.10.2019
† Dr. Stefan Hein, Freiberg
11.02.1937–01.11.2019
† Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Bilkenroth, Hohenmölsen
11.08.1933–22.11.2019
† Prof. Dr.-Ing. habil. Armin Krauße, Freiberg
30.08.1935–06.12.2019

Nachruf auf Prof. Dr.-Ing. habil. Armin Krauße

Am 6. Dezember 2019 starb – für alle völlig unerwartet – Prof. Armin Krauße im Alter von 84 Jahren in seiner Freiberger Wohnung.

Armin Krauße wurde am 30. August 1935 in Leipzig geboren, erwarb dort sein Abitur und studierte, nach einem einjährigen Vorpraktikum in verschiedenen Bergbauzweigen, von 1954 bis 1959 an der Bergakademie Freiberg Bergbau-Tiefbau. Unmittelbar nach dem Studium wurde er wissenschaftlicher Assistent von Prof. Gimm, der seine fachliche und persönliche Entwicklung wesentlich prägte. In die fünf Jahre währende Assistentenzeit fällt auch die Familiengründung; er heiratete 1960 seine Frau Ingrid, Sohn Uwe wurde 1961 und Tochter Claudia 1968 geboren.

Nach seiner Assistentenzeit am Institut für Bergbau-Tiefbau der Bergakademie Freiberg, wo er sich vorwiegend mit Abbauverfahren im Erzbergbau und Fragen der Stabilität beschäftigte, verstärkte er das interdisziplinäre Team der Arbeitstelle für Geomechanik der Akademie der Wissenschaften zu Berlin mit Sitz in Freiberg und Prof. Gimm als Leiter. Seine Aufgabe war die Entwicklung der Modelltechnik mit äquivalenten Materialien. Daraus entsprang auch das Promotionsthema: „Einsatz äquivalenter Materialien bei der Lösung geomechanischer Aufgaben und ihrer speziellen Anwendung für ein dreidimensionales Talsperrenmodell“. Die Promotion zum Dr.-Ing. erfolgte im Jahre 1978. Inzwischen führten staatliche Reformen bei der Akademie der Wissenschaften und im Hochschulwesen zu weitreichenden strukturellen Veränderungen. Die Arbeitsstelle für Geomechanik wurde der Bergakademie zugeordnet, die Institute der Bergakademie wurden in Wissenschaftsbereiche umgewandelt, und Prof. Gimm gründete die Fachrichtung Geotechnik. In all dieser Zeit blieb Armin Krauße bei Prof. Gimm und unterstützte diesen wirksam beim Aufbau des Wissenschaftsbereiches Geomechnik. Er übernahm Lehrverpflichtungen auf den Gebieten Modelltechnik, Abbauverfahren und Grubenausbau. Unterbrochen wurde seine Tätigkeit am Wissenschaftsbereich Geomechanik nur in der Zeit von 1979-1982, während der er als Geomechaniker, Haupttechnologe bzw. Produktionsleiter im Steinkohlenbergbau von Moatize in Mosambik tätig war. Nach seiner Rückkehr wurde er am 1. Februar 1982 zum Hochschuldozenten für die Fachgebiete Abbauverfahren und Grubenausbau berufen. Mit der Arbeit *„Zur Klassifizierung und Anwendung von Abbauverfahren im Bergbau unter Berücksichtigung geomechanischer Aspekte“* habilitierte er und wurde im Jahre 1987 zum außerordentlichen Professor berufen. Nach der politischen Wende wechselte er 1993 vom Institut für Geotechnik zum Bergbauinstitut der TU Bergakademie Freiberg. Als dort die Fachrichtung Spezialtiefbau gegründet wurde, trug er wesentlich zur Gestaltung der Lehrpläne für diese neue Fachrichtung bei.

Die Studenten des Bergbaus und der Geotechnik schätzten Prof. Krauße nicht nur wegen der Art seiner Wissensvermittlung, sondern auch wegen seines offenen und kameradschaftlichen Verhältnisses zum bergakademischen Nachwuchs. Das zeigte sich auch während seiner Gastprofessur an der TH Berlin in den Jahren 1991 bis 1994.

Prof. Armin Krauße war ein ausgewiesener Experte für Abbauverfahren und Grubenausbau und auf diesen Gebieten ein gefragter Sachverständiger, wie die große Zahl seiner Gutachten zeigt. In der letzten Phase des aktiven Berufslebens befasste er sich mit dem Entsorgungs- und Sanierungsbergbau.

In mehr als 30 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie in zahlreichen Vorträgen hat Armin Krauße über seine wissenschaftlichen Arbeiten berichtet. Er war bei zwölf Promotionen Gutachter, und sein Fachwissen war in Arbeitskreisen, Expertenkommissionen und Normausschüssen gefragt – auch noch als Pensionär ab dem Jahre 2000. Im Rahmen der akademischen Selbstverwaltung war Armin Krauße zeitweise als Fachrichtungsleiter und Direktor des Institutes für Geotechnik und in der kritischen Zeit der politischen Wende als Sektionsdirektor bzw. Dekan des Fachbereichs Geotechnik und Bergbau tätig.

Mit Armin Krauße haben wir einen der letzten Freiberger Hochschullehrer verloren, die die enge Verbindung zwischen Bergbau und Geotechnik in Lehre und Forschung stets betonten und methodisch hervorragend in der Ausbildung vermittelten.
Wir werden sein Andenken in ehrender Erinnerung behalten.

■ **Horst Gerhardt, Götz P. Rosetz**

Nachruf auf den Ehrensenator der TU Bergakademie Freiberg Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Bilkenroth

Carsten Drebenstedt

Klaus-Dieter Bilkenroth wurde am 11. August 1933 in Deutzen (Sachsen) geboren und legte nach den Kriegswirren 1951 in Halle sein Abitur ab. Nach einjähriger Beflissenenzeit nahm er 1952 ein Studium an der Bergakademie Freiberg auf, das er 1957 als Diplom-Ingenieur in der Fachrichtung Bergbau erfolgreich abschloss. Neben einem fleißigen Studium bescheinigt ihm sein Lehrer, Tagebauprofessor Helmut Härtig, die angemessene Anteilnahme an den Freuden der akademischen Jugend. Seine Studienkollegen kennen ihn als guten Schwimmsportler, und in einigen Gastwirtschaften hatte er Kredit wegen häufigen und ausgiebigen Erscheinens. Zum Rosenmontag 1956 bricht Professor Erich Rammler sein Brikettierpraktikum entnervt ab und gibt Bilkenroth 100 Mark zur „außeruniversitären Weiterbildung" an diesem Tag. Einer Vorstellung unter Kommilitonen bedurfte Bilkenroth nicht, *„da der Jüngling in akademischen Kreisen ob seines flotten Studentenlebens sich einen nahezu legendären Ruf erworben hatte"*, so das Zitat seines Wegbegleiters.

Nach seinem Studium arbeitete Klaus-Dieter Bilkenroth bis 1963 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tagebaukunde insbesondere an der ingenieurmäßigen Durchdringung der Prozesse und des Geräteeinsatzes im praktischen Bergbau mit dem Ziel der Erhöhung der Verfügbarkeit von Anlagen und deren Automatisierung. 1962 promovierte er bei Prof. Härtig zu Problemen der Mehrflöztagebaue zum „Dr.-Ing.".

1963 wechselte Dr.-Ing. Bilkenroth an das neu geschaffene Wissenschaftlich-Technische Institut der Braunkohlenverwaltung Halle als Leiter „Betriebsuntersuchungen und Fahrbetrieb". Tätigkeitsschwerpunkt war zunächst die Erarbeitung einer Methode zur verlässlichen Bestimmung der Kapazität von Fördersystemen. Es wurden erste Simulationen durchgeführt und Berechnungsalgorithmen sowie rechnerbasierte Programme entwickelt. Dies klingt reichlich nüchtern und wissenschaftlich korrekt. Wie viel Leben aber wirklich dahinter steckte, mag das Beispiel „Zugbetriebssimulation" verdeutlichen. So wurden zeitgleich 40 Studenten für Betriebsmessungen über vier Monate mobilisiert und

die Nutzung einer Telefonzentrale für die Simulation ermöglicht. Dahinter stehen Fachkompetenz, Einfallsreichtum, Organisationstalent, Praxisverbundenheit, Improvisationsvermögen, Ausdauer und viele andere Tugenden eines Ingenieurs, die der junge Bilkenroth in besonderer Weise verkörperte.

Beispielhaft erwähnt sei auch der „Winterkampf". Der junge Bilkenroth erhielt den Auftrag, den Winter 1962/63 auszuwerten und erarbeitete so als Erster – basierend auf einer gründlichen Analyse – ein wirksames Maßnahmekonzept. Der Winterkampf blieb solange ein selbstgemachtes Problem, wie man meinte, den Auswirkungen dieser Jahreszeit auf den Betrieb mit vielen Menschen und viel Material begegnen zu müssen. Bilkenroth zeigte, dass kluges, vorausschauendes und zielgerichtetes Handeln an ausgewählten Punkten effektiver sein kann. Selbst der harte Wintereinbruch 1978, der die DDR praktisch lähmte, traf die Mitteldeutsche Braunkohle weniger.

1966 habilitierte sich Dr.-Ing. Bilkenroth an der Bergakademie Freiberg und erhielt hier 1980 eine Honorardozentur und 1983 eine Honorarprofessur für Tagebautechnik. Von 1966 bis 1980 war Dr.-Ing. habil. Bilkenroth Technischer Direktor des Braunkohlenwerks Deuben, später des Vereinigten Werks Deuben/Profen. Zu seinen besonderen Leistungen in dieser Zeit zählen die Umstellung des Zugbetriebs auf Normalspur bei laufender Produktion und der Einsatz einer Förderbrücke F34 mit reversierbarem Vorschüttstützkippenband im Tagebau Profen-Nord und später dann mit Zubringerbrücke zur sicheren Beherrschung der komplizierten geologischen Verhältnisse. Weitere Herausforderungen waren der Aufschluss des Tagebaus Profen-Süd mittels Großbandanlage, die Auskohlung und Verkippung tiefer Mulden sowie die Beherrschung mächtiger Quarzitbänke im Abraum. Neben dem Tagebau war die Rekonstruktion des Kraftwerks- und Veredlungssektors ein wesentlicher Gegenstand seiner Arbeit.

1980 wurde Dr.-Ing. habil. Bilkenroth zum Hauptingenieur im neugebildeten Braunkohlekombinat Bitterfeld berufen. Zu seinen Aufgaben gehörte die Neuordnung der Tagebauprojekte zur Gewährleistung einer sicheren, umweltgerechten und wirtschaftlichen Rohkohlebereitstellung. Für diese Zeit zu erwähnen sind auch der Einsatz einer Abraumförderbrücke F34 mit Eimerkettenbagger Es 3150 im Tagebau Delitzsch und die Planung des Einsatzes von Direktversturzkombinationen. Es wurden neue Wege bei der Wiederurbarmachung, bei der Nutzung von Begleitrohstoffen, bei der Deponiesicherung mit Montanwachs und bei der Modellierung hydrologischer Großräume beschritten, um die Umweltauswirkungen des Bergbaus zu minimieren. So entstand das Programm PCGEOFIM, nach dem bis heute erfolgreich im mitteldeutschen Raum und darüber hinaus gearbeitet wird. Bereits 1985 wurde auf dieser Grundlage die erste Grundwasserinfiltrationsanlage in Deutschland zum Schutz der Stadt Leipzig vor Bauschäden durch Grundwasserabsenkung in Betrieb genommen.

Als Vorgesetzter verstand es Professor Bilkenroth, seine Mitarbeiter zu motivieren und für die Aufgaben zu begeistern, aber auch ehrlich Kritik zu üben. Als Nicht-Genosse zeigte er sich politischen Phrasen durch wissenschaftlich-praktische Argumentation stets überlegen.

Mit den politischen und wirtschaftlichen Veränderungen 1989/90 setzte sich Professor Bilkenroth intensiv für die Zukunft der Braunkohlenindustrie in Mitteldeutschland ein. 1990 wurde er beauftragt, im Zeitraum vom 1. April bis 20. Juni 1990, das Braunkohlenkombinat Bitterfeld in eine Kapitalgesellschaft, die MIBRAG, umzuwandeln. Er wurde deren

erster Vorstandsvorsitzender. Welche besondere Leistung dies darstellte wird deutlich, wenn man beachtet, dass der Auftrag zur Umwandlung innerhalb von nur zehn Wochen zu realisieren war. Ohne weitsichtige Vorarbeiten wäre dies nicht möglich gewesen.

Wie sehr sich Professor Bilkenroth für die Mitteldeutsche Braunkohle verantwortlich fühlte und sich bis zur letzten Konsequenz auch durchzusetzen vermochte, soll ein typisches Beispiel verdeutlichen: Als Sprecher des Vorstands der MIBRAG lehnte er den vorgeschlagenen Aufsichtsratsvorsitzenden ab. Auf der anderen Seite arbeitete er eng mit dem Betriebsrat und der Gewerkschaft zusammen und vereinbarte den ersten Sozialplan in Ostdeutschland!

Die Aufgabe der wirtschaftlichen sowie sozial- und umweltverträglichen Anpassung des Mitteldeutschen Braunkohlenreviers an die neuen Rahmenbedingungen stellte eine neuartige, große Herausforderung dar. In kurzer Zeit wurden Konzepte zur Stilllegung der meisten Betriebsanlagen erarbeitet und dabei Beschäftigungsprojekte entwickelt, Gesellschaften ausgegründet und zukunftsweisende Investitionsentscheidungen getroffen, z. B. zum Bau des Industriekraftwerks Wählitz mit Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis des Wirbelschichtverfahrens. Dieses Projekt war bereits zwischen den Regierungen der Bundesrepublik Deutschland und der DDR vor 1990 vereinbart, aber in der Zeit des Umbruchs als unter den neuen Bedingungen nicht mehr umsetzbar eingestuft worden. Doch Professor Bilkenroth hatte seine eigenen Erfahrungen mit dem deutschen Beamtentum und wusste, dass es zwar schwierig ist, Geld für Projekte in die Bücher zu bekommen, aber nicht so ganz einfach, es wieder herauszunehmen. So erinnerte er den damaligen Umweltminister Klaus Töpfer an die alten Verträge, und das Projekt wurde wie geplant realisiert.

Weitere Beispiele für technische Erneuerung und mutige, nach vorn gerichtete Innovation waren der Bau einer modernen Staubfabrik und die Entwicklung eines Verfahrens zur Nutzung schwefelhaltiger Kohle für die Briketterzeugung, die bereits totgesagt war. Dieses sogenannte „grüne Brikett“ sollte noch bis 2004 erfolgreich produziert werden. Übrigens erfolgten diese Arbeiten in enger Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg.

Es schien, als sei das Schicksal der Mitteldeutschen Braunkohle entschieden, als eine im Auftrag der Treuhandanstalt arbeitende Expertengruppe zu dem Schluss kam, dass nur die Lausitz eine Zukunft als Energiestandort in Ostdeutschland habe. Tatsächlich befanden sich hier an den Standorten Jänschwalde und Boxberg auch die moderneren Kraftwerke mit 500-MW-Blöcken. Prof. Bilkenroth ließ nicht locker; schließlich gab es in Mitteldeutschland die vom Heizwert her überlegenere Kohle bei einem deutlich günstigeren Abraum-zu-Kohle-Verhältnis; diese Vorteile sollten die Nachteile z. B. eines höheren Schwefelgehalts der mitteldeutschen Kohle aufwiegen. Es gelang, die MIBRAG als erstes Energieunternehmen erfolgreich an ein anglo-amerikanisches Konsortium zu übertragen und so zu privatisieren. Langfristige Kohlelieferverträge bildeten die Grundlage für die Errichtung der neuen Kraftwerke Schkopau und Lippendorf.

Zuvor gab es bereits feste Pläne in Schkopau ein Steinkohlekraftwerk zu errichten. Die Bedeutung des Erhalts der Kohleunternehmen MIBRAG und ROMONTA nebst Kraftwerken wird deutlich, wenn man die herausragende Stellung dieser Unternehmen in der Region als wichtige Arbeitgeber beachtet. Dieser unermüdliche Kampf um das Überleben der Braunkohle – aus der Überzeugung von den realen Möglichkeiten der Region heraus – ist untrennbar mit dem Namen Klaus-Dieter Bilkenroth verbunden. Mit hoher sozialer Kompetenz setzte sich Professor Bilkenroth für den Fortbestand von Arbeit und Wohlstand in Mitteldeutschland ein.

Mit der Spaltung der MIBRAG 1993 in das aktive Bergbauunternehmen MIBRAG mbH und in ein Sanierungsunternehmen wurde Professor Bilkenroth Geschäftsführer Technik und Sprecher der Geschäftsführung der Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (MBV) und widmete sich in dieser Position bis 1996 dem Sanierungsbergbau. Als erster erkannte und nutze er die Chance der Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen (ABM) und überführte 8.000 Bergleute in eine neue Berufsperspektive, u. a. bei der Sanierung der Goitsche. Von Professor Bilkenroth wurde die Strategie entwickelt und vertreten, dass der Sanierungsbergbau den aktiven Bergbau und den Bergmann braucht. Bundesarbeitsminister Norbert Blühm und EU-Kommissare lud er zu Vor-Ort-Besuchen ein und erläuterte seine stets auf dem Boden der Realität stehenden Visionen. Dabei wollte er nie Almosen für den nächsten Tag, sondern eine solide Finanzierung für eine klare Zukunft.

Auch nach seinem Ausscheiden aus dem aktiven Dienst engagierte sich Professor Bilkenroth weiter als Mitglied des Aufsichtsrates der MIBRAG, als Berater und in Ehrenämtern für den Braunkohlenbergbau für ein lebendiges Traditionsbewusstsein, die Regionalentwicklung und den akademischen Nachwuchs. Er war z. B. Mitgründer des Rings Deutscher Bergingenieure e. V. in Mitteldeutschland und führte 1990 die Barbarafeier wieder ein. Ebenso war er eines der ersten Mitglieder im VFF der TU Bergakademie Freiberg und dort lange Jahre im Vorstand aktiv.

Über 60 Jahre lang war Professor Bilkenroth der TU Bergakademie Freiberg eng verbunden – zuerst als deren Schüler, später als Lehrer und Wissenschaftler sowie Förderer. Während seiner über 40-jährigen Tätigkeit in der Braunkohlenindustrie hat er unzählige studentische und wissenschaftliche Arbeiten zu allen für diesen Industriezweig relevanten Fragestellungen in enger Kooperation mit der TU Bergakademie Freiberg initiiert und teilweise betreut. Das Spektrum reichte dabei von der Geotechnik und der Wasserwirtschaft über den Bergbau, die Kohleveredlung und -verstromung bis hin zur Umwelttechnik, zum Management und zur Bergwirtschaft.

Für seine herausragenden Leistungen wählte man ihn zum Mitglied der Leibniz-Sozietät, erhielt er die Goldene Medaille der IHK und wurde im Jahr 2000 mit dem Bundesverdienstkreuz 1. Klasse geehrt. Im Jahr 2005 wurde Professor Bilkenroth in Anerkennung seiner hervorragenden Verdienste um die Förderung der TU Bergakademie Freiberg als Hochschullehrer, Industriepartner und im Ehrenamt sowie für seinen unermüdlichen, hohen persönlichen Einsatz zum Wohle der Universität und deren Entwicklung die Ehrensenatorwürde der TU Bergakademie Freiberg verliehen.

Professor Bilkenroth ist am 22. November 2019 in Hohenmölsen verstorben. Mit ihm verliert unsere Universität einen treuen Freund, einen wichtigen Unterstützer und guten Makler. Wir vermissen ihn. Seine unvergesslichen Spuren[1] werden ihn in unserer lebendigen Erinnerung halten.

Literatur

1 Carsten Drebenstedt (Herausgeber): Klaus-Dieter Bilkenroth – Spuren in der Mitteldeutschen Braunkohle, TU Bergakademie Freiberg, 2006 (ISBN 3-86012-270-3).

Nachruf auf Prof. Dr. Edwin Weber

Die Technische Universität Bergakademie Freiberg trauert um Prof. Dr. habil. Edwin Weber, der am 12. Februar 2020 im Alter von 73 Jahren nach kurzer schwerer Krankheit verstarb.

Edwin Weber wurde am 2. August 1946 in Mönchröden/Coburg geboren. Nach seinem Abitur studierte er Chemie an der Bayrischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg. Diplom- und Promotionsarbeit absolvierte er unter der Leitung von Prof. Dr. Fritz Vögtle am Organisch-Chemischen Institut in Würzburg sowie am Institut für Organische Chemie und Biochemie der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn. 1979 promovierte er dort mit einer Arbeit zum Thema „Kronenether". Unterbrochen von einem Forschungsaufenthalt bei Prof. Dr. Barry M. Trost, University of Wisconsin, USA, in dem er sich dem Thema „Chirale Katalyse" widmete, war E. Weber von 1976 bis 1984 als wissenschaftlicher Assistent an der Universität Bonn tätig, an der er sich 1984 mit einer Arbeit auf dem Gebiet der „Supramolekularen Chemie" habilitierte. In der Folgezeit war er bis 1992 als Privatdozent, als Professor auf Zeit sowie als außerplanmäßiger Professor an der Universität Bonn tätig und nahm danach eine Lehrstuhlvertretung (C4) am Institut für Organische Chemie und Biochemie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel für ein Jahr wahr. 1993 nahm E. Weber den Ruf an die Technische Universität Bergakademie Freiberg an. Als Lehrstuhlinhaber für Organische Chemie hat er hier sowohl die Studentenausbildung als auch die Forschung über viele Jahre nachhaltig geprägt und sich insbesondere um die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses verdient gemacht. Sein Wirken trug maßgeblich zur wissenschaftlichen Anerkennung unserer Universität bei und ihm gelang mit engagiertem Einsatz die erfolgreiche Neuausrichtung des Instituts in der Nachwendezeit. Auch nach seiner Emeritierung im Jahr 2011 baute er seine wissenschaftliche Reputation noch weiter aus und erreichte bis zuletzt mit über fünfhundert referierten Publikationen zu den Themen Supramolekulare Chemie, Crystal Engineering und Chemische Sensorik ein selbstgesetztes Ziel.

Mit Professor Edwin Weber verliert die Technische Universität Bergakademie Freiberg einen menschlich und fachlich hochgeschätzten Kollegen, dessen Andenken wir stets in Ehren halten werden.

■ **Wilhelm Seichter, Rolf Pollex und Monika Mazik**

Der Isotopengeochemiker Prof. Dr. habil. Joachim Pilot ist mit 91 Jahren verstorben

Prof. Joachim Pilot leitete von 1959 bis 1993 das Isotopengeochemische Labor am Institut für Mineralogie der TU Bergakademie Freiberg. Er verstarb am 3. Februar 2020 in Leipzig im Alter von 91 Jahren.

Joachim Pilot wurde 1928 in Eintrachtshütte (Oberschlesien) geboren. Nach dem Krieg siedelte sich die Familie in Sachsen an. Nach seinem abgeschlossenen Studium der Physik wurde Joachim Pilot als promovierter Doktor der Physik mit dem Aufbau eines Isotopenlabors an der Bergakademie (am heutigen Institut für Mineralogie) in Freiberg beauftragt. Die Isotopengeochemie war zu dieser Zeit ein vollkommen neues Forschungsfeld, das weltweit noch in den Kinderschuhen steckte. Noch im gleichen Jahr (1959) wurde das erste Massenspektrometer nach Freiberg geliefert und Joachim Pilot führte die Methode der Untersuchung der Schwefelisotope ein. Damit war Freiberg (neben Leipzig) einer der frühesten Standorte in der ehemaligen DDR, an dem Joachim Pilot den damals noch kaum bekannten Forschungszweig der Isotopengeochemie etablierte. Schon 1969 konnte Joachim Pilot an der Bergakademie Freiberg seine Habilitation mit dem Titel „Isotopengeochemie: Situation, Konzeptionen, Entwicklung, Möglichkeiten" erfolgreich verteidigen.

Trotz oftmals schwieriger Rahmenbedingungen gelang es Joachim Pilot immer wieder, verschiedenste Isotopenmethoden auf hohem wissenschaftlichen Niveau im Freiberger Labor anzusiedeln und zu etablieren. Neben dem Gebiet der stabilen Isotope (Schwefel- und Sauerstoffisotope) kamen auch geochronologische Methoden, mit denen das Alter von Gesteinen ermittelt werden kann (z. B. die Ar-Ar-Datierungsmethode) zur Anwendung. Eine derart breite Palette von Isotopen-Methoden konnten zu dieser frühen Zeit nur sehr wenige Labore im deutschsprachigen Raum aufweisen. Das Freiberger Labor war dadurch auch schon zu DDR-Zeiten in den alten Bundesländern bekannt und geachtet.

Joachim Pilot war der wissenschaftliche Austausch mit Kollegen immer sehr wichtig, besonders der Briefaustausch mit Wissenschaftlern aus Ost und West. So wurde es ihm möglich, Kopien brandneuer Veröffentlichungen der Kollegen aus aller Welt zu bekommen. In den 1970er und 1980er Jahren veranstaltete Joachim Pilot etwa alle drei Jahre das Freiberger Isotopenkolloquium, an dem jeweils ca. 100 Wissenschaftler, vorrangig aus den osteuropäischen Ländern, teilnahmen. Darüber hinaus ist es Joachim Pilot gelungen, hochrangige Geochemiker aus den alten Bundesländern zum Erfahrungsaustausch

nach Freiberg zu locken (beispielsweise den damaligen führenden Geochemiker im deutschsprachigen Raum, K.-H. Wedepohl aus Göttingen). Im vereinten Deutschland fand an der TU Bergakademie Freiberg 1991 das letzte dieser Isotopenkolloquien statt, an denen neben den stark vertretenen Wissenschaftlern aus Osteuropa schon auch zahlreiche renommierte Isotopen-Geochemiker aus den alten Bundesländern (Braunschweig, Bremen, Hannover, Heidelberg, Göttingen, Mainz, München, Münster) sowie der Schweiz (ETH Zürich) teilnahmen.

Mit ausgeprägter wissenschaftlicher Neugier und Beharrlichkeit gelang es Joachim Pilot, auf detektivischen Wegen in der Umbruchszeit 1989/90 den Gerätebestand des Labors zu komplementieren und zu modernisieren. Mit dem neu erworbenen Massenspektrometer, beantragt zu DDR-Zeiten im Jahr 1989 und geliefert über die Schweiz 1990, war das Freiberger Isotopenlabor modern ausgestattet. Ab den 1990er Jahren warb Joachim Pilot mehrere DFG- und BMBF-Projekte – gemeinsam mit Kollegen aus den alten Bundesländern – ein, um die methodisch-analytische Arbeit im Bereich der Isotopengeochemie an der TU Bergakademie Freiberg voranzutreiben. Für seine Verdienste erhielt Joachim Pilot 1991 den Titel eines apl. Professors für Isotopengeochemie und Geochronologie. In seinen Ruhestandsjahren beteiligte sich Joachim Pilot maßgeblich an den Abendveranstaltungen des Novalis-Forums in den Räumen des Instituts für Mineralogie.

Auf der XII. Tagung der „European Society of Isotope Research“ (ESIR) im Jahr 2013 wurde Prof. Joachim Pilot mit damals 85 Jahren für seine außerordentlichen Leistungen auf dem Gebiet der Isotopengeochemie und der Geochronologie mit dem Preis dieser Gesellschaft geehrt.

Wir verlieren mit Joachim Pilot einen wissenschaftlich profilierten Pionier der Isotopengeochemie sowie einen persönlich freundlichen und bescheidenen Kollegen, der sein Leben lang zielstrebig, neugierig und mit innerer Ruhe und Freude den einschlägigen wissenschaftlichen Fragestellungen nachgegangen ist.

■ **Marion Tichomirowa (Leiterin des isotopengeochemischen Labors am Institut für Mineralogie)**

Nachruf für Prof. Dr.-Ing. habil. Gottfried Gneipel

Am 11. März 2020 verstarb unser hochgeschätzter Kollege Prof. Dr.-Ing. habil. Gottfried Gneipel. Dies hat uns alle sehr berührt. Wir möchten ihm hiermit unsere Ehre erweisen, seine wichtigsten Lebensetappen aufzeigen und das Augenmerk auf das lenken, was man sein Vermächtnis nennen kann und somit für uns lange in Erinnerung bleiben wird.

Am 6. Juni 1938 kam der erste und einzige Sohn des kaufmännischen Angestellten Rudolf Ernst Gneipel und seiner Frau Helene in Zwickau zur Welt. In diesen stürmischen Zeiten gaben sie ihm den hoffnungsvollen, friedlich anmutenden Namen Gottfried. Von 1944 bis 1952 besuchte Gottfried die Grundschule in Zwickau und von 1952 bis 1956 die Käthe-Kollwitz-Oberschule in Zwickau und schloss das Abitur mit „sehr gut“ ab. 1956 nahm er das Studium an der TU Dresden an der Fakultät für Technologie, Fachrichtung Papiertechnik auf und wechselte 1958 zur Fachrichtung Maschinenbau. Am 29. Januar 1959 erfolgte seine Inhaftierung in Dresden wegen Verdachts der Agententätigkeit. Die Gründe laut Verfügung waren: *„Gneipel ist hinreichend verdächtig, seit ca. 1956 einer illegalen und bewaffneten Studentenorganisation an der Technischen Hochschule Dresden anzugehören, die sich das Ziel setzte, durch planmäßige Untergrabung anhand eines vorher festgelegten Programms die Gesellschaftsordnung der DDR zu beseitigen. Er hatte glaubhaft Kenntnis von Verbindungen dieser Gruppe zu Westberliner Feindzentralen sowie von geplanten Flugblattaktionen gegen die DDR“.* Nach

Haftentlassung nahm er im Mai 1959 eine Tätigkeit als Lagerarbeiter im VEB Sachsenring Automobilwerk Zwickau auf. 1960 erfolgte die Wiederaufnahme seines Studiums an der TH Dresden. Er schloss im April 1963 seine Diplomprüfung mit „gut“ ab.

Anschließend arbeitete er als Entwicklungsingenieur im ZEK für Armaturen in der Zweigstelle Herzberg. Ab Juli 1963 war er Projektierungsingenieur im VEB Kraftwerke „Artur Becker“ Trattendorf, danach Maschineningenieur und später stellvertretender Bereichsleiter für Maschinenbetrieb.

Nach Vorsprache Prof. Christians vom Institut für Maschinenkunde beim Prorektorat für wissenschaftlichen Nachwuchs konnte Gottfried Gneipel 1967 eine Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent an der Bergakademie Freiberg aufnehmen.

In seiner langjährigen Tätigkeit bearbeitete er u. a. Forschungsprojekte auf dem Gebiet der Kreiselpumpen hinsichtlich ihrer bei der Gemischförderung in geschlossenen Kreisläufen veränderten Charakteristiken. Er fertigte Gutachten für die Industrie an – zu Problemen der Wirbelstrombremsen auf Bohranlagen, des Einsatzes von Ventilatoren für Industrieöfen und zu Kolbenexpansionsmaschinen. Weitere Schwerpunkte seiner Arbeit waren der Einsatz von Indizierverfahren bei Hubkolbenverdichtern, die Nutzung der Kühlluftenthalpie bei Schraubenverdichtern sowie Wärmebilanzen bei schnelllaufenden Verdichtern.

1977 promovierte er zum Dr.-Ing. an der Bergakademie Freiberg mit dem Thema *„Untersuchung eines 2-stufigen Hubkolbenverdichters für Luft mit Innenkühlung“*. Ab 1985 hielt er eigene Vorlesungen über „Verbrennungsmotoren, Lüftungs- und Klimatechnik“ sowie Maschinen und Anlagen zur Wasser- und Luftreinhaltung. Ab 1989 hielt er Vorlesungen über Kraft- und Arbeitsmaschinen an der Ingenieurschule „Rudolf Diesel“ Meissen. 1989 erhielt er die Facultas docendi für das Fachgebiet Fluidenergiemaschinen. Im gleichen Jahr folgte seine Habilitation zum Dr.-Ing. habil. mit dem Thema *„Berechnung der Partikelbahnen in Kreiselpumpen bei der Förderung von Fluid-Feststoffgemischen“.* 1992 folgte für ihn die Verleihung des Titels eines außerplanmäßigen Professors für Fluidenergiemaschinen. 1993 bis 1995 war er mit der Wahrnehmung der Geschäfte des Institutsdirektors für das Institut Fluidmechanik und Fluidenergiemaschinen beauftragt.

Prof. Gottfried Gneipel hat sich sowohl um die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses als auch um die Forschung verdient gemacht. National und international war er ein anerkannter Wissenschaftler. Er leistete wertvolle Mitarbeit in den Arbeitsgruppen der Industrie für Hubkolben- und Radialmaschinen.

Hervorzuheben ist seine über das Fachwissen weit hinausgehende, außergewöhnlich hohe Allgemeinbildung. Aus seiner langjährigen Tätigkeit stammen 31 Zeitschriftenartikel, 22 Vorträge, zwei Patente und sechs Gutachten.

Nach einem arbeitsreichen Leben trat Gottfried Gneipel am 30. Juni 2003 in den Ruhestand. Er starb im März 2020 und fand seine Ruhestätte auf dem Friedhof in Mulda im Erzgebirge.

Wir werden sein Andenken bewahren und stets in Ehren halten.

■ **Gerd Grabow**

Nachruf Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Willmann

Im Mai 2020 ist Herr Professor Dr.-Ing. habil. Werner Willmann im Alter von 83 Jahren verstorben. Sein Name ist eng verbunden mit dem Lehrstuhl für Mess- und Sensortechnik, den es bis zu seinem altersbedingten Ausscheiden 2002 am Institut für Elektrotechnik der TU Bergakademie Freiberg gab.

In Magdeburg geboren, hat er 1961 sein Studium der Schwachstromtechnik am Institut für allgemeine Elektrotechnik der TH Dresden erfolgreich mit dem Diplom abgeschlossen. Danach war er als Entwicklungsleiter in der Produktionsgenossenschaft Funkmechanik Freiberg/Sa. tätig, bevor er im Oktober 1962 als wissenschaftlicher Assistent in das Institut für Elektrotechnik der Bergakademie Freiberg eintrat.

Weltweit stand in den 1970er Jahren die weitere Automatisierung durch Elektronik und Informationstechnik im Fokus. Heute wird diese Phase der industriellen Entwicklung mit Industrie 3.0 bezeichnet. Dem Rechnung tragend, wurde am Institut für Elektrotechnik die Abteilung für Automatisierungstechnik neu gegründet, an deren Aufbau Herr Willmann maßgeblich beteiligt war.

Wissenschaftlich beschäftigte sich Herr Willmann insbesondere mit der messtechnischen Nutzung des Barkhausen-Effekts

und verteidigte dazu 1968 erfolgreich seine Dissertation (A) und mit einem neuen Messverfahren zur Prüfung ferromagnetischer Werkstoffe 1985 die Dissertation (B). Im September 1969 wurde Herr Dr.-Ing. Willmann zum Hochschuldozenten für das Fachgebiet Elektrische Messtechnik im Wissenschaftsbereich „Elektrotechnik und Automatisierung“ berufen. In dieser Rolle hat er seine eigenen Vorlesungen und gemeinsam mit seiner Arbeitsgruppe richtungweisende Laborpraktika neu entwickelt.

Den Studierenden der Bergakademie wurden von ihm die Vorlesungen Elektronik, Elektrische Messtechnik, Messtechnik, Geräte der Automatisierungstechnik und Prozessmesstechnik angeboten. In der Zeit von 1985 bis 1990 war er mit dem Aufbau und der Leitung der hochschulzentralen Abteilung „Wissenschaftlicher Gerätebau“ beauftragt. Diese Abteilung entwickelte messtechnische Geräte für Hochschulen, Institute der Akademie der Wissenschaften sowie der Industrie und fertigte sie in Kleinserie.

In der politischen Wendezeit hat sich Herr Prof. Willmann sehr verdient um die Hochschulerneuerung in Freiberg gemacht. Er war ab 1991 Dekan des Fachbereichs Technische Informatik, zu dem das Institut für Elektrotechnik in dieser Zeit gehörte. 1992 wurde er zum C4-Professor für Mess- und Sensortechnik an der Bergakademie Freiberg berufen.

Herr Prof. Willmann war ein ausgezeichneter Wissenschaftler, der es immer verstand, seine Studierenden für die Elektronik und Elektrische Messtechnik zu begeistern.

Die Professorin, die Mitarbeiter und Angestellten des Instituts für Elektrotechnik werden dem Verstorbenen ein ehrendes Andenken bewahren.

■ **Jana Kertzscher**

Nachruf für den Ehrensenator Dr.-Ing. habil. Harald Kohlstock

Harald Kohlstock war ein bergakademisches Urgestein. Mehr als 60 Jahre hat er an der Bergakademie studiert, geforscht und gearbeitet. Als Direktor, später Dezernent für Technik, ist sein Name mit allen Baumaßnahmen und Neubauten der Bergakademie seit 1970 verbunden – viele davon wären ohne seine legendäre und weithin bekannte Tatkraft nicht entstanden.

Am 17. Juli 2020 ist er kurz vor Vollendung seines 82. Lebensjahres gestorben.

Harald Kohlstock wurde am 25. Juli 1938 als viertes und jüngstes Kind des Arztes Walter Kohlstock und seiner Frau Anita in Steinbach-Hallenberg/Thüringen geboren. Er verbrachte seine Kindheit und Jugend in Friedrichroda/Thüringen, wo sein Vater 1939 eine Arztpraxis eröffnet hatte. Schon in seiner Schulzeit bildeten sich dank der Erziehung in seinem Elternhaus Charakterzüge aus, die wir später an ihm kennenlernten: Selbstbewusstsein und Tatendrang.

Auf Empfehlung seines Onkels aus Hamburg, der den Nahen Osten sehr gut kannte, entschied er sich für ein Ingenieurstudium im Rohstoffsektor, mit der Absicht, während oder nach dem Studium in die Bundesrepublik zu gehen, wie es viele Jugendliche in der damaligen DDR machten. So bewarb er sich 1956 für die Fachrichtung „Bergbau-Tiefbau“ an der Bergakademie und absolvierte das Vorpraktikum im Kali-, Erz- und Steinkohlenbergbau. Nach dem Vordiplom wechselte er in die damals neugegründete Fachrichtung „Tiefbohrtechnik, Erdöl- und

Erdgasgewinnung“, in der er 1962 das Diplom erwarb.

Unterdessen war am 13. August 1961 die Berliner Mauer gebaut worden, so dass ihm der Weg in den Westen versperrt war. So begann er seine berufliche Laufbahn im damaligen Betrieb „Erdöl-Erdgas Mittenwalde“ als Montageingenieur. Schon in dieser ersten Stelle stachen sein Organisationstalent und seine oftmals unkonventionellen, aber wirksamen Leitungsmethoden heraus, so dass er bereits nach kurzer Zeit zum Leiter der Bohrgeräteumbau und -montage ernannt wurde.

Es gab jedoch zwei gute Gründe, die Kohlstock bewogen, schon 1964 nach Freiberg zurückzukehren. Einmal hatte er familiäre Bande hier, zum anderen hatte ihm Professor Werner Arnold, der Direktor des Instituts für Tiefbohrtechnik und Erdölgewinnung, der seine organisatorischen und anderen Fähigkeiten schätzte, eine Stelle als Mitarbeiter und Doktorand angeboten. Außerdem verschob sich damit die Wehrpflicht in der Nationalen Volksarmee, der er letztlich entging. Als Assistent von Arnold hatte er eine Fülle von Aufgaben zu bewältigen und daneben seine Dissertation zu Bohrlochzementen zu schreiben. Zu seinen Aufgaben gehörte auch der Neubau des Instituts-Labortrakts an der Agricolastraße – letztlich eine ungewöhnliche Leistung eines Doktoranden.

Die damalige Leitung der Bergakademie hatte die organisatorischen Fähigkeiten von Harald Kohlstock ebenfalls erkannt und übernahm ihn nach der Promotion zunächst in die Abteilung Grundfondswirtschaft, später stieg er zum Verantwortlichen für die gesamte Technik an der Hochschule auf. Das war damals, in der Zeit der DDR-Mangelwirtschaft, eine der zentralen Aufgaben an einer Hochschule, die sie selbst, ohne auswärtige Dienstleister, erfüllen musste – nichts ging ohne Technik bei allen Neubauten, kein Hörsaal ohne Technik, kein Labor, kein Arbeitszimmer, kein Betriebsferienheim, ja auch keine Toilette ohne das Direktorat für Technik.

Als Direktor für Technik der Bergakademie unterstanden Harald Kohlstock nahezu 250 Mitarbeiter: Ingenieure für Bau und Instandhaltung, Mechaniker, Elektriker, Maurer, Kraftfahrer, aber auch alle Heizer und Reinigungskräfte. Er kannte alle Institute und Gebäude der Hochschule im Detail und war ein gesuchter und umworbener Ansprechpartner für Professoren und Mitarbeiter.

Er war rund 40 Jahre eine wichtige Stütze der Verwaltung der Universität, nach der Wiedervereinigung als Dezernent Technik. An allen Bauten, die seit den 1960er Jahren an der Bergakademie errichtet wurden, hatte er maßgeblichen Anteil. Das sind u.a. das Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, die Neue Mensa, die Bibliothek, das Studentenwohnheim Agricolastraße und die Technika Tagebautechnik, Warmwalzen und Neue Werkstoffe. In Mittweida und Magdeburg brachte er als Bevollmächtigter des DDR-Hochschulministers ins Stocken geratene Bauabläufe von Mensen und Bibliotheken wieder zum Laufen. Nach der Wiedervereinigung leitete er die Erneuerung der Gebäude der Bergakademie, seine Erfahrungen und Beziehungen halfen auch, den Weg zur terra mineralia zu ebnen.

Schließlich sind ihm persönlich die engen Beziehungen der Universität zur Atlantik-Brücke, dem bedeutenden deutsch-US-amerikanischen Netzwerk, zu verdanken. Diese Verbindungen führten zu zahlreichen Besuchen national und international hochstehender Persönlichkeiten an der Universität, wie u.a. der Bundestagspräsidentin Rita Süßmuth, des Heeresinspekteurs und späteren brandenburgischen Innenministers Jörg Schönbohm und der US-Außenministerin Madeleine Albright.

Harald Kohlstock hatte während seines ganzen Berufslebens großen Respekt vor der Wissenschaft und ihren herausragenden Vertretern an der Bergakademie. Er unterstützte sie mit all seinen Mitteln. In den 80er Jahren arbeitete er neben seiner Tätigkeit als Technischer Direktor intensiv an einer Dissertation B (Habilitationsschrift) zum Deponiebau. Er war sehr stolz, dass der angesehene Bodenmechaniker Wolfgang Förster seine Betreuung übernahm.

Harald Kohlstock wurde im Jahr 2004 auf Antrag von Rektor Georg Unland für seine großen Verdienste um die Bergakademie und sein eigenes wissenschaftliches Wirken zum Ehrensenator der TU Bergakademie berufen. Im Pressenachruf des Rektorats und des Personalrats der Bergakademie vom 1.8.2020 (Freie Presse) heißt es: *„Er prägte in der Zeit von 1970 bis 2004 die bauliche Entwicklung unserer, seiner Universität und leistete damit einen maßgeblichen Beitrag zu ihrer Forschungs- und Lehrtätigkeit sowie ihrer Bedeutung als Ressourcenuniversität.“*

Die Unterzeichnenden haben gemeinsam mit Christel-Maria Höppner ein Buch über das Leben von Harald Kohlstock in der und für die Bergakademie geschrieben *(Abbildung 1)*, das sowohl sein Wirken beschreibt als auch zahlreiche Geschichten und Anekdoten von und über ihn enthält, so dass er unvergessen bleibt.

Wir werden sein Andenken in Ehren halten.

■ **Frieder Häfner, Dietrich Stoyan, Georg Unland**

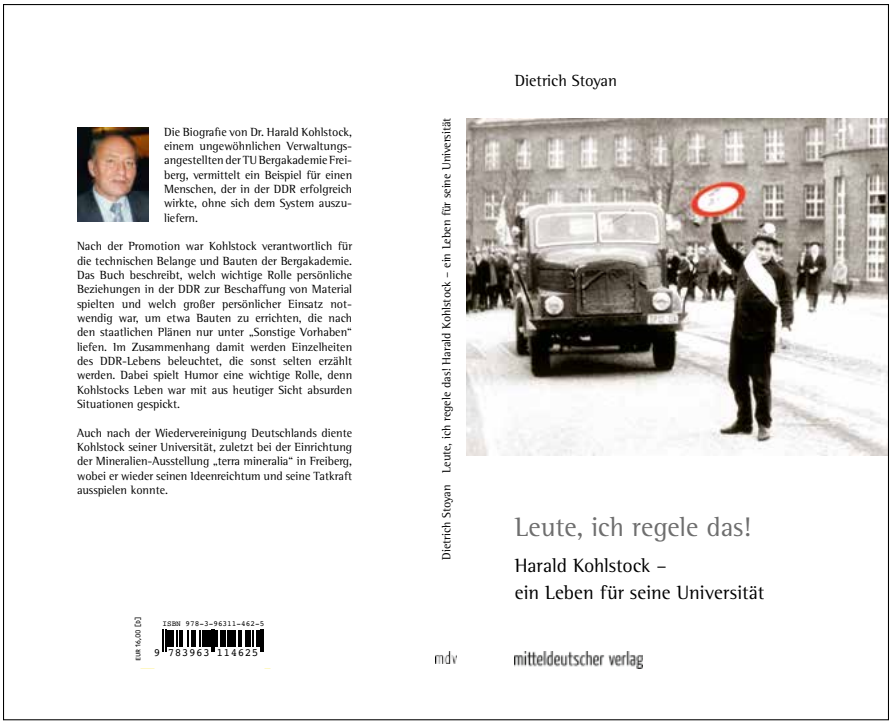


Abb. 1: Die „Kohlstock-Biografie“ ist am November 2020 erschienen. Leider hat Harald Kohlstock die Veröffentlichung nicht mehr erleben können.

Nachruf für Alt-Oberbürgermeister Konrad Heinze

Der erste frei gewählte Oberbürgermeister nach 1989, Konrad Heinze, ist am 28. September 2020 verstorben. Mit ihm verliert die TU Bergakademie einen echten Freund und Förderer. Gerade in den politisch turbulenten Monaten und Jahren vor und nach der Wiedervereinigung war er als Oberhaupt der Stadt eine hilfreiche Stütze bei der Neuformierung der Hochschule.

Konrad Heinze studierte an der Bergakademie in den 1960er Jahren Geophysik und engagierte sich als Mitglied und Vertrauensstudent in der Evangelischen Studentengemeinde.

Im Dezember 1989 suchte er mit anderen Bergakademie-Angehörigen den Kontakt mit der CDU, in die er im Frühjahr 1990 eintrat, um bei der Erneuerung dieser Partei mitzuwirken. Er wurde im Mai 1990 in der ersten freien Kommunalwahl mit großer Mehrheit zum Bürgermeister Freibergs gewählt.

Als 1991 in unserer Hochschule die im Sächsischen Hochschulerneuerungsgesetz vorgeschriebene Überprüfung aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf Menschenrechtsverletzungen in der DDR-Zeit beginnen sollte, war Konrad Heinze sofort bereit, als ständiges Mitglied der Personalkommission seine Kenntnisse einzubringen. Er hat in dieser Funktion mit Würde und christlich gebundener Menschlichkeit agiert.

In seiner gesamten Amtszeit hielt Konrad Heinze als Oberbürgermeister der Stadt einen engen persönlichen Kontakt zu Rektor Dietrich Stoyan und seinen Nachfolgern. Das wirkte sich sehr positiv auf manches Vorhaben der Universität aus, insbesondere auf die zahlreichen neuen Bauvorhaben. Wir erinnern uns mit Dankbarkeit an sein würdevolles Auftreten und seine eindrucksvollen Reden zur Eröffnung der jährlich stattfindenden Berg- und Hüttenmännischen Tage und anderer wissenschaftlicher Konferenzen in unserer Stadt.

Konrad Heinze war als Absolvent der Bergakademie und später als Oberbürgermeister der Stadt eine herausgehobene Persönlichkeit, deren Andenken die TU Bergakademie in Ehren halten wird.

■ **Frieder Häfner**

Nachruf für Prof. Dr. habil. Joachim Hofmann

Am 8. November 2020 verstarb unser Kollege Prof. Dr. habil. Joachim Hofmann. Er begründete und vertrat über mehr als 20 Jahre die geologische Antarktis-Forschung an der Bergakademie Freiberg und in internationalen Gremien.

Joachim Hofmann wurde am 7. Juli 1932 in Schweinsburg/Pleiße in Sachsen geboren. Nach dem Abitur 1951 begann er ein Praktikum im Dachschieferbergbau in Ostthüringen. Dieser Region blieb er auch während seines Studiums treu, er schloss seine Diplomarbeit zur Tektonik des Halbhorstes von Netschkau 1957 an der Bergakademie Freiberg ab. Nach bestandener Diplomprüfung begann seine Zeit als Wissenschaftlicher Assistent mit Lehrauftrag. Seine Assistenz-Zeit nutzte Jochen Hofmann zu einem dreisemestrigen Zusatzstudium am Lehrstuhl für Petrographie der Universität Leningrad und am Akademieinstitut für Geologie des Präkambriums. Das postgraduale Studium in der Sowjetunion war verbunden mit Expeditionen in die hochmetamorphen Einheiten Kareliens und in das Fergana-Becken in Zentralasien. Der Studienaufenthalt war in mehrfacher Hinsicht richtungsweisend für Jochen Hofmann. Er kam mit einer etwas anderen Sicht auf metamorphe Gesteinsserien nach Freiberg zurück. Diese Erfahrungen flossen in seine Dissertation zur Petrotektonik des Freiberger Gneiskomplexes und später in seine Habilitation zur Lithostratigraphie, Tektonik, Metamorphose und Gefügeentwicklung der Gneise des Osterzgebirges ein.

Wichtig waren für Jochen Hofmann die russischen Sprachkenntnisse. Diese verschafften ihm die Möglichkeit, die reichhaltige russische Fachliteratur in die akademische Lehre einzuführen, er verstand sich als wissenschaftlicher Mittler, anknüpfend an große Vorbilder wie Serge von Bubnoff. So hielt er auch Kontakt zu den Kollegen des Akademie-Institutes in Leningrad. Dadurch war es ihm möglich, als erster DDR-Geologe im Winter 1973/74 an der 19. Sowjetischen Antarktisexpedition teilzunehmen, es folgten die Teilnahme an der 23. und 30. Antarktisexpedition. Jochen Hofmann wurde damit zum Begründer und Vertreter der Antarktisgeologie in der DDR, er bahnte den Weg für die Kollegen des ZIPE in Potsdam und für Kollegen und Studenten der Bergakademie. Jochen Hofmanns Projekt, die erste deutsche geowissenschaftliche Promotion in der Antarktis an die Bergakademie zu holen, hat sich 1985 erfüllt. Während seine Kollegen und Schüler die Geländeforschung in der Antarktis fortsetzen, vertrat Jochen Hofmann seit 1981 die DDR-deutsche Antarktisforschung als Mitglied des „Scientific Comitee on Antarctic Research“, 1991 trat er der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung bei. Viele Jahre hielt er Verbindungen zu russischen wie auch amerikanischen und australischen Kollegen.

1975 wurde Jochen Hofmann an der Bergakademie zum Dozenten für Strukturgeologie, 1981 zum ordentlichen Professor für Strukturgeologie berufen. Jochen Hofmann war ein Wissenschaftler der „alten Schule“. Er verlangte Leistung und vollen Einsatz im Studium der Geologie, er lebte diesen Einsatz täglich vor. Seine Vorlesungen deckten die Felder der Strukturgeologie, Geotektonik, der Feldgeologie und Mikrogefüge ab. Eine engagierte Vortragsweise und klare Formulierungen, gewürzt mit Anekdoten aus seiner Auslandstätigkeit, wurden von den Studenten geschätzt. Prof. Jochen Hofmann hat mehr als 30 Studienjahrgänge unterrichtet. Seinen mehr als 70 Diplomanden und 25 Doktoranden war er stets ein engagierter Ratgeber, teilweise väterlicher Freund. Den meisten Studenten sind die mehrwöchigen Geländepraktika im Erzgebirge und vor allem im Schiefergebirge Thüringens in Erinnerung geblieben. Während und nach der politischen Wende an der Bergakademie organisierte Jochen Hofmann als neu-berufener Professor für Regionale und Strukturgeologie die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit den Universitäten in Darmstadt und Mainz. Mit einem Kompendium zum Dachschieferbergbau in Mitteleuropa schloss Jochen Hofmann seine wissenschaftliche Tätigkeit vor wenigen Jahren ab.

■ **Klaus Stanek, Christoph Breitkreuz, Jörg Schneider**

Geburtstage unserer Vereinsmitglieder

60. Geburtstag
- Prof. Dr. Amro, Mohammed, Freiberg
- Dipl.-Ing. Balke, Dietmar, Neuhausen/Spree
- Prof. Dr.-Ing. Dahlhaus, Frank, Freiberg
- Frau Grafe, Romy, Freiberg
- Frau Hellweg-Schlömann, Elke, Freiberg
- Dr. rer. nat. Hüttl, Regina, Oberschöna
- Herr Ickelsheimer, Henry, Reinsdorf
- Dipl.-Ing. Jonek, Rainer, Sommersdorf
- Prof. Dr.-Ing. habil. Konietzky, Heinz, Freiberg
- Dr.-Ing. habil. Lychatz, Bernd, Freiberg
- Prof. Dr. Nindel, Reinhardt, Chemnitz
- Frau Pirner, Roswitha, Burglengenfeld
- Dr. Richter, Thomas, Großschirma
- Dipl.-Ing. Rieper, Holger, Freiberg
- Univ.-Prof.Dr.rer.pol. Rogler, Silvia, Freiberg
- Prof. Dr. Schiermeyer, Ingo, Gehren
- Dipl.-Ing. Schulze, Dietmar, Freiberg
- Dipl.-Ing. Skora, Stefan, Hoyerswerda
- Prof. Dr. Vogt, Carla, Freiberg

65. Geburtstag
- Prof. Dr. phil. habil. Albrecht, Helmuth, Freiberg
- Prof. Dr. Breitkreuz, Christoph, Freiberg
- Frau Engel, Marianne, Starnberg
- Prof. Dr.-Ing. Eßlinger, Hans Michael, Freiberg
- Dipl.-Ing. Grabner, Hanjürgen, Rhade
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jacob, Dieter, Berlin
- Dipl.-Ing. Jechel, Thomas, Waiblingen
- Dipl.-Ing. Kronbügel, Jörg, Borsdorf
- Dipl.-Ing. Lagerpusch, Karlheinz, Freiberg
- Dr.-Ing. Lippmann, Günter, Freiberg
- Dr.-Ing. Schmidt, Olaf, Radebeul
- Herr Schwinger, Andreas, Zug
- Dipl.-Ing. Stary, Matthias, Bautzen
- Dr. Strzodka, Michael, Maust
- Frau Unland, Renate, Freiberg
- Herr Voigt, Christof, Meißen
- Prof. Dr. Wegert, Elias, Chemnitz
- Dr.-Ing. Zeiß, Hartmuth, Senftenberg

70. Geburtstag
- Dipl.-Chem. Böhme, Rainer, Königsbrück
- Dipl.-Ing. oec. Böhme, Barbara, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Eckenigk, Heinz, Winsen/Aller
- Prof. Dr.-Ing. habil. Groß, Ulrich, Oberschöna
- Dr. oec. Heuse, Hans-Joachim, Floh-Seligenthal
- Prof. Dr. Kuna, Meinhard, Oberschöna
- Dr.-Ing. Morgenstern, Rolf, Zwickau
- Prof. Dr. Otto, Matthias, Oberschöna
- Dr.-Ing. Schink, Dietrich, Weischlitz
- Dr.-Ing. Stöcker, Horst, Voerde
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Wagner, Steffen, Freiberg
- Dipl.-Ing. oec. (TU) Weber, Horst, Freiberg
- Prof. Dr. Wolf, Rainer, Dresden
- Dr.-Ing. Wollenberg, Ralf, Brand-Erbisdorf

75. Geburtstag
- Dipl.-Ing. Behrendt, Hans-Peter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Beutler, Dietmar, Heideblick
- Dipl.-Ing. Buschmann, Bernd, Döbeln
- MtA Fischer, Irmtraud, Dannenberg
- Prof. Dr. Gillo, Martin, Dresden
- Dipl.-Buchhandelswirt Hackel, Barbara, Freiberg
- Prof. Dr. Helbig, Rolf Falk, Dresden
- Dipl.-Ing. Hentze, Dieter, Leipzig
- Dr.-Ing. habil. Hunger, Hans-Jörg, Erftstadt
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Kohaupt, Ludwig, Berlin
- Dr. e. h. Middelschulte, Achim, Essen
- Dr. Richter, Klaus, Oberschöna
- Dr.-Ing. Serrano, Carlos, Potosí
- Dipl.-Ing. Taffelt, Peter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Vielmuth, Walter, Rückersdorf
- Dr. rer. nat. Voigt, Reinhard, Krefeld

80. Geburtstag
- Dr.-Ing. Benedix, Volker, Freiberg
- Frau Brückner, Johanna, Freiberg
- Dipl.-Ing. Eckhardt, Dieter, Essen
- Dr. rer. nat. Erler, Klaus, Berlin
- Prof. Dr. rer. nat. Forkmann, Bernhard , Nossen
- Prof. Dr.-Ing. habil. Häfner, Frieder, Freiberg
- Prof. Dr. rer. nat. habil. Heegn, Hanspeter, Freiberg
- Dipl.-Ing. Heinrich, Claus, Bernburg
- Dr.-Ing. Hofmann, Walter, Freiberg
- Prof. Dr. Jäckel, Gottfried, Freiberg
- Prof. Dr. Kausch, Peter, Brühl
- Dipl.-Ing. Krakau, Bernhard-Rolf, Wittenförden
- Dr. rer. nat. Kühn, Peter, Berlin
- Dr.-Ing. Kühne, Wulf, Frauenstein
- Prof. Dr.-Ing. habil. Kuhnert, Gerd, Flöha
- Dr.-Ing. Mühl, Peter, Berlin
- Univ.-Prof. Dr. habil. Naumann, Friedrich, Chemnitz
- Prof.i.R.Dr.-Ing. habil. Naundorf, Wolfgang, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. hc. Oettel, Heinrich, Freiberg
- Dipl.-Ing. Petrasch, Wolfram, Leipzig
- Prof. Dr.-Ing. habil. Pusch, Gerhard, Freiberg
- Prof. Dr.-Ing. habil. Schubert, Gert, Freiberg
- Dipl.-Ing. Schulze, Helmut, Oranienburg
- Dr.-Ing. Schüttoff, Michael, Dresden
- Frau Steinmetz, Hella, Freiberg
- Prof. Dr. h. c. Stoyan, Dietrich, Freiberg
- Frau Tetzner, Ruth, Freiberg
- Prof. Dr. Thomas, Berthold, Dresden
- Dr. rer. nat. Vogel, Jochen, Steinach
- Dr.-Ing. Wiesner, Herbert, Lindwedel
- Prof. Dr. Woditsch, Peter, Krefeld

81. Geburtstag
- Dr. rer. oec. Breiter, Bernhard, Erfurt
- Dipl.-Ing. Bretschneider, Conrad, Rudolstadt
- Dipl.-Ing. Götze, Dieter, Weißenfels
- Prof. Dr. Henkel, Egon Hermann, Essen
- Dipl.-Ing. oec. Bauing. Hensel, Horst, Berlin
- Dipl.-Ing. Herrmann, Rolf, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Jähnig, Klaus, Freiberg
- Dipl.Verw.wirt Karner, Karl, Burglengenfeld
- Dipl.-Ing. (FH) Klinger, Horst, Markkleeberg
- 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
– 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. Schirrmeister, Ekkehard, Ballenstedt
– Dr. Schmid, Karl, Berlin
– Dr.-Ing. Schütter, Wieland, Markkleeberg
– Dr.-Ing. Seifert, Günter, Hoyerswerda
– Dipl.-Ing. Sierich, Volker, Saalfeld
– Dipl.-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

82. Geburtstag
– Dr.-Ing. Bayer, Manfred, Oberschöna
– Dipl.-Ing. Berger, Klaus, Fulda
– Dr.-Ing. Bittner, Horst, Wilsdruff
– Dipl.-Ing. Bormann, Frank, Großpösna
– 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. sc. oec. Kretzer, Johannes, Freiberg
– Dipl.-Ing. Link, Joachim, Freiberg
– Prof. Dr.-Ing. habil. Michel, Wolfgang, Magdeburg
– Dr. Pälchen, Werner, Halsbrücke
– Dr.-Ing. Papendick, Gero, Freiberg
– Dr. Dipl.-Geol. Richter, Horst, Freiberg
– Dipl.-Ing. Schneider, Klaus, Berlin
– Dr.-Ing. Seifert, Harald, Freiberg
– Dr. oec. Trillhose, Andreas, Freiberg
– Dr.-Ing. Wehrsig, Hartmut, Freiberg
– Dr.-Ing. Zichel, Joachim, Markkleeberg
– Dipl.-Ing. Dr. oec. Zinke, Hans-Georg, Freiberg

83. 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, Rimbert, Saarbrücken
– 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

84. Geburtstag
– Dr.-Ing. habil. Altmann, Walter, Leipzig
– 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. Oehlstöter, Gerhard, Magdeburg
– Dr. oec. Piprek, Hans-Jürgen, Berlin
– Dipl.-Ing. Redlich, Hans, Freiberg
– Dr.-Ing. Rühlicke, Dietrich, Freiberg
– Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Schlegel, Ernst, Freiberg
– Dr.-Ing. Schmidt, Joachim, Halsbrücke
– Prof. i. R. Dr.-Ing. Schulle, Wolfgang, Freiberg
– Dr.-Ing. habil. Siegert, Wolfgang, Leipzig
– Dipl.-Ing. Skolik, Horst, Schöneiche b. Berlin
– Dipl.-Ing. Tobies, Alfred, Freiberg
– 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

85. Geburtstag
– Dr. rer. nat. Gärtner, Karl-Heinz, Freiberg
– Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Gerhardt, Horst, Freiberg
– Dipl.-Ing. Hofmann, Lothar, Leipzig
– Dipl.-Ing. Lehmann, Rudolf, Borna
– Dr.-Ing. Müller, Helmut, Freiberg
– Dipl.-Ing. Schulze, Hans-Joachim, Berlin
– Prof. Dr.-Ing. Wegerdt, Christian, Freiberg
– Dr. Hildmann, Eckart, Fulda
– Dipl.-Ing. Ök. Richter, Heinz, Großschirma
– Dr.-Ing. Winter, Siegfried, Dippoldiswalde

86. Geburtstag
– Prof. Buhrig, Eberhard, Dresden
– Dr.-Ing. Ebel, Klaus, Ingersleben
– Dipl.-Ing. Gottschalk, Jürgen, Hamburg
– Dipl.-Ing. oec. Hofmann, Johannes, Freiberg
– Dr.-Ing. John, Manfred, Freiberg
– Prof. Dr.-Ing. habil. Kochs, Adolf, Lichtentanne
– Prof. Dr.-Ing. habil. Köpsel, Ralf, Dresden
– 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

87. Geburtstag
– Dipl.-Geophys. Albin, Siegfried, Leipzig
– Dr.-Ing. Denecke, Albrecht, Buchholz
– 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
– Dipl.-Ing. Lemke, Heinrich, Leipzig
– 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

88. Geburtstag
– 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
– Dr.-Ing. Strasse, Wolfgang, Berlin

89. 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. Schaef, Hans Jürgen, Dresden
– Dipl.-Ing. Vielmuth, Alfred, Gera

90. Geburtstag
– Prof. Dr.-Ing. Engshuber, Manfred, Ilmenau
– Prof. i. R. Dr. Franeck, Heinzjoachim, Dresden
– Prof. Dr. Heyne, Karl-Heinz, Leipzig
– Dipl.-Ing. Knickmeyer, Wilhelm, Essen
– 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

91. Geburtstag
– Dr. rer. nat. Heeg, Klaus, Ravensburg
– Prof. Dr. Dr. h. c. Kolditz, Lothar, Fürstenberg/Havel
– Dipl.-Ing. Schubert, Wolfgang, Bad Elster
– Dr. rer. nat. Dipl.-Geophysiker Hiersemann, Lothar, Leipzig

92. Geburtstag
– Dipl.-Ing. Bannert, Horst, Neuhof
– Dr.-Ing. Klepel, Gottfried, Markkleeberg
– Dr.-Ing. Severin, Gerd, Dresden

93. Geburtstag
– Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Kratzsch, Helmut, Berlin
– Prof. Dr.-Ing. habil. Schmidt, Claus Martin, Berlin

94. Geburtstag
– Dr.-Ing. Löhn, Johannes, Freiberg

95. Geburtstag
– Dr.-Ing. Bartelt, Dietrich, Essen
– Prof. i. R. Köhler, Johannes, Olbersdorf

96. Geburtstag
– Prof. Dr. Dr. h. c. Heitfeld, Karl-Heinrich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

100. Geburtstag
– Markscheider Dipl.-Ing. Beyer, Kurt, Dresden

Herzliche Glückwünsche und Glückauf allen Jubilaren!

Autorenverzeichnis

- Barbara Abendroth, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Leila Ajjabou, M. Sc., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Thomas Arnold, Dr., Geithain
- Benjamin Aust, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Kai Bachmann, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Klaus-Dieter Barbknecht, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Matthias Bauer, Dr., Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH Peine
- Hanka Becker, Dr.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Jörg Benndorf, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Benz, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Bertau, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Horst Biermann, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Anna-Victoria Bognár, Dr., Justus-Liebig-Universität Gießen
- Ralph-Uwe Börner, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Constance Bornkampf, Dr., VFF
- Andreas Bräuer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Christoph Breitkreuz, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Annette C. Cremer, Dr., Justus-Liebig-Universität Gießen
- André Dietrich, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Yulia Dolganova, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Carsten Drebenstedt, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Otto Dreier, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Margit Enke, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Christoph Faist
- Jürgen Fenk, Prof. Dr., Dresden
- Tobias Fieback, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Holger Finken, Dr., Deutscher Akademischer Austauschdienst e. V. Bonn
- Hans Friebe, Freiberg
- Gero Frisch, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Björn Fritzke, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg

- Michael Gäbelein, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Birgit Gaitzsch, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Valentin Garbe, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Horst Gerhardt, Prof. Dr., Freiberg
- Richard Gloaguen, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Thomas Grab, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Gerd Grabow, Prof. Dr., Freiberg
- Jens Grigoleit, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Andrea C. Guhl, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Franziska Günther, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Jens Gutzmer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Frieder Häfner, Prof. Dr., Freiberg
- Brigitte Haist-Gulde, Dr., DVGW Karlsruhe
- Peter Hauschild, Dipl.-Ind. Arch., Freiberg
- Gerhard Heide, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Martin Heinrich, Dr.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Johannes Heitmann, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Alexander Hesse, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Michael Höck, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Matthias Hort, Prof. Dr., Univeristät Hamburg
- Lisa Jarosch, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Yvonne Joseph, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Bernhard Jung, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Manuela Junghans, Dipl.-Geol., TU Bergakademie Freiberg
- Susanne Kandler, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Rudolf Kawalla, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Christin Kehrer, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Kevin Keller, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Jana Kertzscher, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Moritz Kirsch, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Kirstin Kleeberg, Dipl.-Geoökol., TU Bergakademie Freiberg
- Marianna Klescinska, TU Bergakademie Freiberg
- Ilja Kogan, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Przemysław Kowalski, Dr., TU Krakau
- Michael Krenz, KunstMetallGestaltung
- Hans-Jürgen Kretzschmar, Prof. Dr., VFF
- Matthias Kröger, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Patrick Krolop, Dipl.-Geol., TU Bergakademie Freiberg
- Peter Kühn, Dr., Berlin
- Ingrid Lange, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Lisa Lange
- Alexander Leischnig, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Theresa Lemser, Ass. jur., TU Bergakademie Freiberg
- Gero Licht, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Holger Lieberwirth, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Hannes Lippke
- Tom Lorenz, Dr., Chemnitz
- Isabel Luther, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Andreas Massanek, Dipl.-Min., TU Bergakademie Freiberg
- Monika Mazik, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Angela Mensing-de Jong, Prof. Dr., TU Dresden
- Dirk C. Meyer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Margarita Mezzetti, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Helmut Mischo, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Rabea Muhrez, M. Sc., DVGW Karlsruhe
- Andreas Müller
- Stefanie Nagel, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Friedrich Naumann, Prof. Dr., Chemnitz
- Knut Neumann, Freiberg
- Lukas Oppelt, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Werner Pälchen, Dr. ,Halsbrücke
- Lucas Pereira, M. Sc., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Urs Peuker, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Norman Pohl, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Rolf Pollex, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Matthias Poralla
- Sebastian Pose, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Stefanie Preißler, Dipl.-Ind. Arch., VFF
- Kinga Racoń-Leja, Prof., TU Krakau
- Yamna Ramdani, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Karin Rank, Dipl.-Geol., Oberschöna
- Andreas Rehkopf, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Stefan Reitmann, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Nasrin Rezaei-Abadchi, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Luisa Rischer, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Christian Röder, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Eric Röder, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Silvia Rogler, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Götz-Peter Rosetz, Dipl.-Min., Freiberg
- Galina Rudolf, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Frank Sacher, Dr., DVGW Karlsruhe
- Judith Sachse, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Paul Scapan, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Traugott Scheytt, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Michael Schlömann, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Schmalz, Dipl.-Ing., Studentenwerk Freiberg
- Alexander Schmid, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Reinhard Schmidt, Prof. Dr., Freiberg
- Carolin Schneider, M. Sc., Hamburg
- Jörg Schneider, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Isabel Schulze, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Rüdiger Schwarze, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Alexander Schweren, M. Sc., Mittweida
- Wilhelm Seichter, Dr., Dresden
- Sarah Seidel, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Birgit Seidel-Bachmann, Dipl.-Slaw., TU Bergakademie Freiberg
- Thomas Seifert, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Karina Sopp, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Klaus Spitzer, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Björn Sprungk, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Klaus Stanek, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Hartmut Stöcker, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Dietrich Stoyan, Prof. Dr., Freiberg
- Jens Then, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Emanuel Thom, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Marion Tichomirowa, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Raimon Tolosana-Delgado, Dr., Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
- Jonas Treumer, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Andre Uhlmann, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Ulrike Unger, Ass.jur., TU Bergakademie Freiberg
- Georg Unland, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Gerald van den Boogaart, Prof. Dr., Freiberg
- Antje Vanhoefen, M. A., Schloßmuseum Arnstadt
- Sebastian Varga, M. Sc., TU Bergakademie Freiberg
- Roland Volkmer, Dipl.-Archiv., Freiberg
- Ralph Watzel, Prof. Dr., Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Anja Weidner, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Anja Weigl, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Ellen Weißmantel, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Miriam Willger, Dipl.-Ing., TU Bergakademie Freiberg
- Lara Windler
- Maximilian Wormit, Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Annett Wulkow Moreira da Silva, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Willem Zank, M. A., TU Bergakademie Freiberg
- Jana Zdrahálová, Dr., TU Prag
- Henning Zeidler, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg
- Sebastian Zug, Prof. Dr., TU Bergakademie Freiberg

Der Verein Freunde und Förderer der TU Bergakademie Freiberg gibt bekannt, dass die kommende 100-Jahr-Feier des Vereins mit eingebundener Mitgliederversammlung/Barbarafeier am Donnerstag und Freitag, 2. und 3. Dezember 2021, stattfindet.

Einladungen an die Mitglieder werden im September 2021 versandt.
Eine frühzeitige Unterkunftsbuchung wird sehr empfohlen.

Wir freuen uns auf ein interessantes Programm unserer 100-Jahr-Feier.

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Kretzschmar, Geschäftsführer

Mit diesem Aquarell unseres Mitglieds Dr. Peter Czolbe
wünschen wir allen Vereinsmitgliedern, Leserinnen und Lesern unserer ACAMONTA
eine besinnliche Weihnachtszeit und ein gesundes neues Jahr 2021!

Peter Czolbe: Eingangsbereich der ehemaligen Maschinenfabrik Münzner in Obergruna, Aquarell, 2007